

## Literatur

- BESLER, H. (1972): Klimaverhältnisse und klimageomorphologische Zonierung der zentralen Namib (Südwestafrika). Stuttgarter Geogr. Stud. 83, 209 S.
- BESLER, H. (1977): Untersuchungen in der Dünen-Namib (Südwestafrika) — Vorläufige Ergebnisse des Forschungsaufenthaltes 1976. J. SWA Wiss. Ges. 31, 1976/77, Windhoek, S. 33—64.
- BLACKWELDER, E. (1933): The insolation hypothesis of rock weathering. American J. of Sci. 26, S. 97—113.
- EVANS, J. S. (1969—70): Salt crystallization and rock weathering: a review. Rev. de Géom. Dyn. 19, no. 4, Paris, S. 153—178.
- FÜCHTBAUER, H., und G. MÜLLER (1970): Sedimente und Sedimentgesteine. Sediment-Petrologie Teil II, Stuttgart, S. 114.
- GEVERS, T. W. (1936): The morphology of western Damaraland and the adjoining Namib Desert of South West Africa. South African Geogr. J. 19, S 61—80.
- GOUDIE, A. S. (1972): Climate, weathering, crust formation, dunes and fluvial features of the Central Namib Desert, near Gobabeb, South West Africa. Madoqua, Ser. II, 1, No. 54—62, Windhoek, S. 15—31.
- GRIGGS, D. T. (1936): The factor of fatigue in rock exfoliation. J. of Geology 44, Chicago, S. 783—796.
- HABERLAND, W. (1975): Untersuchungen an Krusten, Wüstenlacken und Polituren auf Gesteinsoberflächen der nördlichen und mittleren Sahara (Libyen und Tschad). Berliner Geogr. Abh. 21, 71 S. + Anh.
- HABERLAND, W., und O. FRÄNZLE (1975): Untersuchungen zur Bildung von Verwitterungskrusten auf Sandsteinoberflächen in der nördlichen und mittleren Sahara (Libyen und Tschad). In: Dynamische Geomorphologie, Hrsg. J. Büdel u. H. Hagedorn = Würzburger Geogr. Arb. 43, S. 148—163.
- HOFFMANN, C. (1977): Granite intruding into granodiorite: an example from the Damara belt, South West Africa. Geol. Rdsch. 66, S. 465—477.
- HUNT, C. B. (1954): Desert Varnish. Science 120, S. 183—184.
- JÄKEL, D., und H. DRONIA (1976): Ergebnisse von Boden- und Gesteinstemperaturmessungen in der Sahara. Berliner Geogr. Abh. 24, S. 55—64.
- KAISER, E. (1923): Abtragung und Auflagerung in der Namib, der südwestafrikanischen Küstenwüste. Geol. Charakterbilder 27/28, 16 Taf. Berlin.
- KAISER, E. (1926): Die Diamantenwüste Südwestafrikas. 2 Bde., Berlin, 321 und 535 S.
- KLUTE, F., und L. M. KRASSER (1940): Über Wüstenlackbildung im Hochgebirge. Petermanns Geogr. Mitt. 86, S. 21—22, 208.
- LAUDERMILK, J. D. (1931): On the origin of desert varnish. American J. of Sci. 21, S. 51—66.
- LESER, H. (1977): Zum Problem der Namib-Südgrenze in der südafrikanischen Kap-provinz. J. SWA Wiss. Ges. 31, 1976/77, S. 7—31, Windhoek.
- LOGAN, R. F. (1960): The central Namib desert, South West Africa. Foreign Field Res. Progr., Nat. Acad. of Sci., Nat. Res. Council, Washington, 162 S.
- MECKELEIN, W. (1959): Forschungen in der zentralen Sahara. I. Klimageomorphologie. Braunschweig, 181 S.
- MECKELEIN, W. (1971): Zum Problem der klimageomorphologischen Gliederung der Wüste. In: C. RATHJENS (Hrsg.), Klimatische Geomorphologie, Darmstadt, S. 394—401.
- SCHIEFFER, F., B. MEYER und E. KALK (1963): Biologische Ursachen der Wüsten-lackbildung. Z. f. Geomorph. 7, S. 112—120.
- WILHELMY, H. (1974): Klimageomorphologie in Stichworten. Kiel, 375 S.

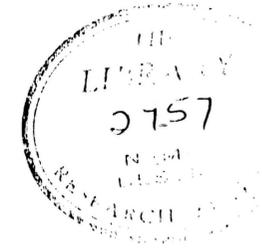
BES

Sonderdruck aus

## STUTTGARTER GEOGRAPHISCHE STUDIEN

Herausgegeben von Wolfgang Meckelein und Christoph Borchardt  
Schriftleitung: Jürgen Hagel

Band 93



## Festschrift für Wolfgang Meckelein

Herausgegeben von Christoph Borchardt und Reinhold Grotz

*SWA - geom d  
D. Namib - geom.  
log.  
Weathering - phys.*

## Feldversuche zur aktuellen Granitverwitterung und Rindenbildung in der Namib (Südwestafrika/Namibia)

Von HELGA BESLER, Stuttgart<sup>1</sup>

*Summary: Field experiments on granite weathering and desert patina in the Namib Desert (South West Africa/Namibia)*

At the Namib Desert Research Station Gobabeb in the central Namib Desert a flat granite boulder during half a year was repeatedly sprayed with water. The resulting changes in surface temperature and the drying velocity were investigated in relation to atmospheric parameters and their combinations by regression analysis:

1. The lowering of surface temperatures on rocks by precipitation is an almost linear function of the air temperature. 2. The drying velocity is a parabolic function of the combined parameters air temperature, wind speed, and relative humidity. 3. The additional moisture changes on the rock resulted in measurable decomposition (desquamation) and in the formation of a pseudo desert patina which is common in the eastern part of the Namib Desert. The absence of this patina in the foggy western part is explained by the fact that for the formation per wetting process a minimum amount of water ( $\sim 2$  mm) is needed which the fog does not provide. According to X-ray spectrography and micro section analysis true desert patina or desert varnish is not found in the Namib Desert. But the investigations indicate the probability of pseudo desert patina being the initial stage in the development of true desert varnish.

*Résumé: Etude expérimental sur la désagrégation de granit et sur les patines de désert dans le Namib (Afrique de Sud-Ouest/Namibia)*

Maintes fois pendant une demi-année au Namib Desert Research Station Gobabeb dans le Namib central on a aspergé de l'eau un bouclier de granit. Une investigation par l'analyse de régression est faite sur les variations de température à la surface et sur le temps à sécher en rapport avec des paramètres atmosphériques et leurs combinaisons:

1. L'abaissement de la température à la surface du rocher par les précipitations est une fonction presque linéaire de la température de l'air. 2. Le temps à sécher est une fonction parabolique de la combinaison des paramètres: température de l'air, vitesse du vent, humidité relative. 3. Les variations additionnelles de l'humidité dans le rocher causaient une décomposition mesurable (desquamation) et la formation d'une patine de désert fausse, de règle dans le Namib oriental. L'absence de cette patine dans le Namib occidental aux brouillards est expliquée par le fait que pour la formation une quantité minimum d'eau ( $\sim 2$  mm) par mouillage est nécessaire que les brouillards ne peuvent pas fournir. D'après des investigations micrographiques et radiospectrographiques les patines de désert ou les vernis de désert véritables sont absents dans le Namib. Mais ces investigations indiquent la probabilité que dans le Namib on trouve la phase initiale dans le développement des vernis de désert véritables.

<sup>1)</sup> Die Autorin dankt der Division of Nature Conservation and Tourism, SWA Administration, für die Erlaubnis, im Namib Desert Park zu arbeiten, dem Council for Scientific and Industrial Research of South Africa und dem Transvaal Museum in der Person von Dr. M. K. SEELY für Unterstützung in Gobabeb und Dr. W. HABERLAND (Berlin) für die Dünnschliff-Untersuchungen an Namib-Proben. Nicht zuletzt gilt dem Jubilar, Professor Dr. W. MECKELEIN, aufrichtiger Dank für Ansporn und ständige Ermutigung.

## Einführung

### 1. Lage und Geologie

Die Namib — wie die Wüsten in Chile (Atacama), Peru (Sechura, Nazca, Tacna) und Baja California in Mexiko eine Küstenwüste — erstreckt sich über mindestens 15 Breitengrade von der Republik Südafrika südlich des Oranje (zur Südgrenze der Namib siehe LESER 1977) über ganz Südwestafrika bis nördlich Mossamedes in Angola. Am Wendekreis des Steinbocks trennt das Trockenbett des Kuisieb die Dünen-Namib im Süden von der Flächen-Namib im Norden. In diesem zentralen Teil der Namib liegt die Namib Desert Research Station Gobabeb (Fig. 1). Während eines halbjährigen Forschungsaufenthaltes 1976 wurden neben den Hauptuntersuchung zur Entstehung und Dynamik des Namib Ergs (vorl. Ergebnisse bei BESLER 1977) auf dem Stationsgelände auch Feldversuche und Messungen zur aktuellen Granitverwitterung durchgeführt.

Die schiefe Ebene der Namib-Rumpffläche steigt recht gleichmäßig mit 1‰ Neigung von der Küste bis auf 1000 m am Fuße der Südafrikanischen Randstufe an. Wird die östliche Flächen-Namib (Fig. 1: Zone III) noch durch zahlreiche Inselberge belebt, so weist die eintönige mittlere Flächen-Namib (Zone II) bei Gobabeb nur einige Granitbuckelfelder auf, die in der Nähe episodischer oder periodischer Gerinne exhumiert worden sind und von denen eines teilweise auf Stationsgelände liegt.

Geologisch gesehen handelt es sich um die grobkörnigen Salem-Granite<sup>2</sup> aus Phasen des Post-Damara-Ultrametamorphismus im ausgehenden Proterozoikum (vor  $\pm 520$  Millionen Jahren). Diese Granite sind eingebettet in die noch älteren, stark variierenden Dolomite, Marmore, Schiefer, Tillite und Quarzite des proterozoischen Damara-Systems.

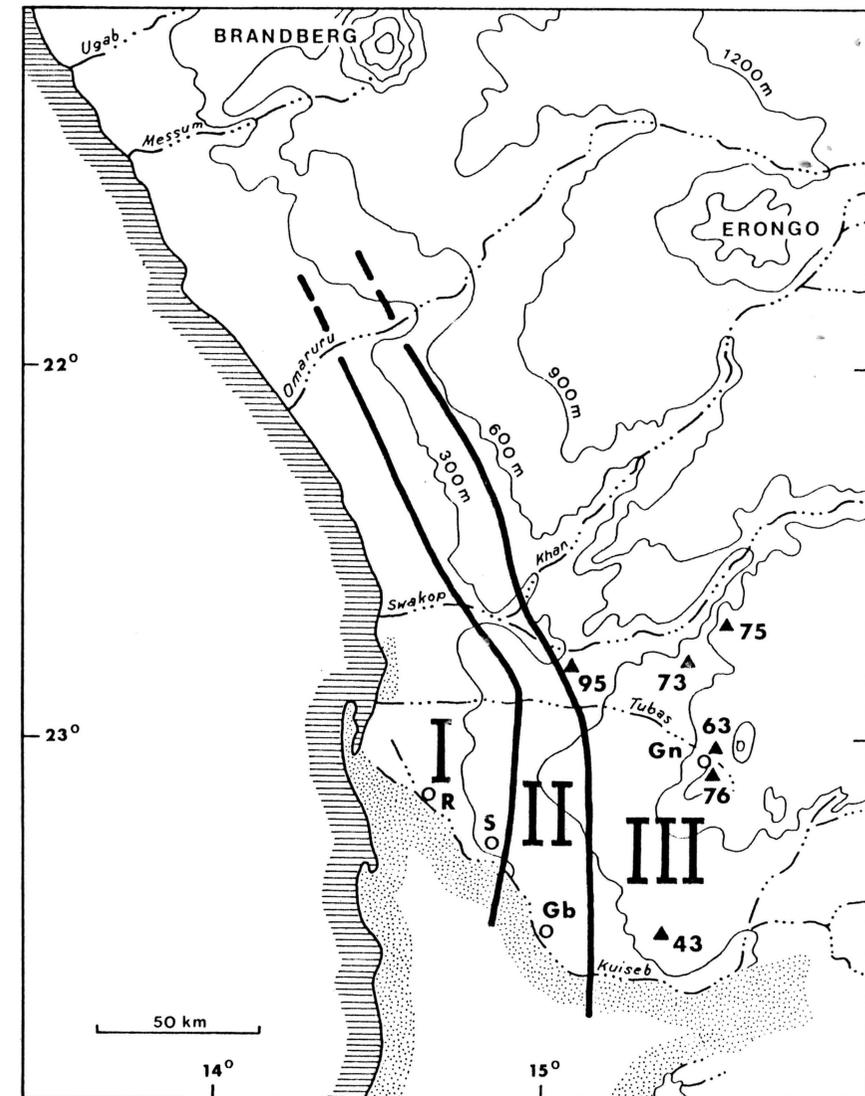
### 2. Klima und Befund früherer Untersuchungen

Trotz ihrer geringen Breite weist die Namib — zumindest im zentralen Teil — deutliche klimatische Unterschiede auf. Untersuchungen zur klimageomorphologischen Zonierung der zentralen Namib (BESLER 1972) führten zu einer küstenparallelen Dreiteilung in die kühle Nebelwüste (Bw kln) an der Küste, die Wüstensteppe (BW hw) am Fuße des Escarpments und die Nebelwechsel-Wüste (BW hn) im mittleren Teil um Gobabeb (Fig. 1).

Die Nebelwechsel-Wüste wird charakterisiert durch besonders große Tagesamplituden der Temperatur und der relativen Luftfeuchte. Häufig herrscht am Morgen bei 100% RF dichter Nebel, aus dem es an etwa 60 Tagen im Jahr zu Nebel-Niederschlag kommt, während am Nachmittag die Luftfeuchte auf unter 30% absinkt. Die mittlere Temperatur-Amplitude beträgt an solchen Tagen über 20°C. Derartige Wechsel führen bei einer potentiellen Evaporation von 3500 mm/a zu starker Gesteinsbeanspruchung und schneller Verwitterung. Daß es sich hierbei nicht

Fig. 1: Übersichtsskizze der zentralen Namib mit klimageomorphologischen Zonen, Klimastationen und Entnahmeorten von Rindenproben.

<sup>2</sup> Nach HOFFMANN (1977) handelt es sich beim Salem-Granit der Namib der petrographischen Nomenklatur entsprechend um einen Granodiorit, der sich jedoch nur wenig von Granit unterscheidet und der selbst auf der amtlichen geologischen Karte von Südwestafrika als Granit eingetragen ist. Vor allem aber zeigt dieses Gestein die für Granit typischen Verwitterungs- und Abtragungerscheinungen.



- |     |                                           |     |           |
|-----|-------------------------------------------|-----|-----------|
| I   | Kühle Nebelwüste (BW kln)                 | Gb: | Gobabeb   |
| II  | Nebelwechsel-Wüste (BW hn)                | Gn: | Ganab     |
| III | Wüstensteppe (BW hw)                      | R:  | Roobank   |
| ▲   | Entnahmeort von untersuchten Rindenproben | S:  | Swartbank |
| 73  |                                           |     |           |

um Insolationsverwitterung handelt, sondern um Feuchteverwitterung, konnte anhand von Feldversuchen 1969 demonstriert werden (BESLER 1972).

### 3. Grundlegende Gedanken zum Experiment 1976

1969 hatte vier Monate lang (August—Dezember) nur die natürliche Nebelfeuchte auf den Versuchsfelsen eingewirkt (kein Regen). Da aber August bis Oktober die nebelhäufigsten Monate in dieser Zone sind, kam es in dieser kurzen Zeit zu einer meßbaren Verwitterung in Form von Desquamation und Exfoliation am Granit.

1976 wurde über sechs Monate (März—August) ein weiterer Feldversuch zur Granitverwitterung unternommen, diesmal mit wiederholter künstlicher Beregnung. Dabei war ein stärkerer Verwitterungseffekt zu erwarten. Schon 1933 berichtete BLACKWELDER von Experimenten, nach denen Befeuchtung Ausdehnung und Austrocknung Zusammenziehung von Gesteinen bewirkte, und zwar in größerem Maße als durch Temperaturschwankungen. Ihm ging es dabei wie den meisten Autoren um die Insolationshypothese, zu deren Bestätigung man Laborversuche durchführte. Um im Labor die entsprechenden Temperaturminima zu erzielen, wurden die Felsproben zunächst im trockenen Luftstrom abgekühlt, wobei nach über 80 000 Zyklen auch mikroskopisch noch keinerlei Veränderungen festgestellt werden konnten. Erst als in einer zweiten Versuchsreihe durch Besprühen mit kaltem Wasser abgekühlt wurde, waren bereits nach wenigen Tagen Spalten-erweiterungen und Exfoliationserscheinungen zu beobachten (GRIGGS 1936).

Viele Autoren machen auf die Problematik der Übertragbarkeit von Laborergebnissen auf natürliche Verwitterungsvorgänge aufmerksam, wobei besonders der stark komprimierte Zeitfaktor eine Rolle spielen soll. Schwerer wiegt wahrscheinlich die Mitwirkung einer Reihe von Parametern, die noch nicht erkannt sind und sich daher auch nicht simulieren lassen. Deshalb wird in der Literatur immer wieder auf die Notwendigkeit von Feldversuchen in natürlicher Umgebung hingewiesen (z. B. EVANS 1969—70), die noch relativ selten sind (neuere Messungen im Tibesti z. B. bei JÄKEL/DRONIA 1976).

### Granitbeanspruchung und resultierende Verwitterung

#### 1. Versuchsanordnung und Messungen

Als Versuchsfelsen wurde ein leicht gewölbter Granitschild von 3,2 m Länge WSW, 2,4 m Breite NNW und 0,15—0,2 m Höhe ausgewählt. Die geringe Erhebung über den Boden sollte Expositionsunterschiede ausschalten. Der Felsen wurde abgeklopft und abgebürstet; die Oberfläche war nun relativ fest und glatt. Um möglichst viele Trocken/Feucht-Wechsel zu erzielen, wäre eine Beregnung pro Woche optimal gewesen; doch ließen sich wegen der häufigen Abwesenheit von der Station (Expeditionen in den Namib-Erg) nur zwölf Beregnungen durchführen. Diese verliefen folgendermaßen:

1. Messung der Wassertemperatur und der Oberflächentemperatur des trockenen Felsens;
2. Beregnung der ENE-Hälfte mit dem Äquivalent von 2 mm Niederschlag, der eine völlige Benetzung gewährleistete;
3. sofortige Messung der Oberflächentemperatur des feuchten Felsens;
4. Messung der Abtrocknungszeit.

Für die Beregnung wurde das Trinkwasser der Station Gobabeb verwendet, das

Tab. 1: Meßdaten am Beregnungsfelsen

Datum	T <sub>0</sub> trock. Oberfl.	T <sub>H<sub>2</sub>O</sub> Wasser	T <sub>f</sub> feucht. Oberfl.	T <sub>L</sub> Luft	RF rel. Feuchte	Wind- rich- tung	v Wind- stärke	t Ab- trockn.- zeit
1976	°C	°C	°C	°C <sup>1)</sup>	%		km/h	min
27. 3.	40,5	26,0	35,5	34,5	11	W	24,1	15
17. 4.	31,9	21,0	29,1	25,0	25	C	0,9	27
24. 4.	34,0	25,5	29,3	33,8	17	NNE	20,4	10
1. 5.	28,2	21,0	23,8	24,0	17	N	9,3	15
8. 5.	28,3	22,8	24,5	28,5	15	N	13,0	10
16. 5.	33,2	23,7	27,3	31,4	19	NE	27,8	10
11. 6.	26,2	21,0	22,8	25,5	16	N	24,1	18
19. 6.	19,8	17,2	18,7	15,6	64	NNE	35,2	22
3. 7.	26,3	21,5	21,5	25,8	<sup>2)</sup>	E	<sup>2)</sup>	15
10. 7.	17,5	18,0	15,7	17,3	26	E	50,0	15
17. 7.	16,8	19,2	17,9	16,5	27	C	1,9	25
8. 8.	24,9	20,3	23,3	24,4	8	WSW	25,9	20

<sup>1)</sup> gemittelt aus Anfangs- und Endtemperatur während der Beregnungs- und Abtrocknungszeit

<sup>2)</sup> Schreiber hatte ausgesetzt

dem Grundwasser der Kuiseb entnommen wird und nur 212 ppm enthält. Anschließend wurden aus den automatischen Aufzeichnungen des Thermohygrographen und des Windschreibers der Station die Lufttemperatur, die relative Luftfeuchte, die Windrichtung und -geschwindigkeit zum Zeitpunkt der Messungen entnommen (Tab. 1). Der Versuchsfelsen war von diesen Meßinstrumenten nur wenige Meter entfernt. Neben der resultierenden Verwitterung interessierten auch die Korrelationen zwischen den jeweiligen Meßdaten.

#### 2. Auswertung der Meßergebnisse

Für die Beanspruchung des Gesteins durch atmosphärische Einflüsse sind die Temperatur- und Feuchtwechsel am Objekt als maßgebend anzusehen, die allerdings nur an der Oberfläche gemessen werden konnten. Die naheliegende Vermutung, daß die Temperaturschwankungen am Gestein besonders stark von dessen Aufheizungsgrad vor der Beregnung abhängig seien, erwies sich als falsch. Daraufhin wurde die Oberflächentemperatur-Schwankung  $y$  in Relation zu allen Meßgrößen systematisch untersucht. Für jedes Koordinatenpaar  $x$ ,  $y$  (Tab. 2) wurde aus den Meßpunkten im Achsenkreuz durch Regressionsanalyse die Korrelationskurve als Parabel 2. Ordnung angenähert und gezeichnet. Die einzelnen Regressionsanalysen wurden einer Korrelationsanalyse vorgezogen, da nicht so sehr die Rangordnung der Korrelation interessierte, sondern vor allem die Art der Abhängigkeit, also z. B. linear oder parabelförmig. Für /4/, /5/ und /7/ ergab sich keine Korrelation, für /8/ eine nur sehr mangelhafte, für /6/ eine mäßige. Die Tendenz zur linearen Abhängigkeit stieg von /1/ nach /2/ nach /3/ (Tab. 3). Temperaturschwankungen an der Oberfläche von Gesteinen bei Benetzung hängen damit in erster Linie von der Lufttemperatur ab, und zwar nimmt pro Grad Lufttemperatur-Erhöhung die Abkühlung der Gesteinsoberfläche um etwa 0,4°C zu (Fig. 2).

Neben den bei Beregnung und Abtrocknung auftretenden Temperaturschwankungen werden die Feuchte-Unterschiede am Gestein in erster Linie für die Verwitterung wirksam. Aus diesem Grunde wurde auch die Abhängigkeit der *Abtrocknungszeit* von den gemessenen atmosphärischen Parametern untersucht. Wieder wurde für jedes Koordinatenpaar (Tab. 4) durch Regressionsanalyse eine Parabel 2. Ordnung angenähert und gezeichnet. Für /2/, /4/ und /6/ ergab sich keine Korrelation, für /1/, /3/ und /5/ nur eine sehr mangelhafte. Erst die Kombination /7/ von Lufttemperatur, Windstärke und relativer Feuchte lieferte eine den Meßwerten relativ gut angenäherte Parabel der Gleichung:  $y = 29,832 x^0 - 1,017 x^1 + 1,545 \cdot 10^{-2} x^2$  (Fig. 3).

3. Die resultierende Verwitterung

Nach fünf Monaten Versuchsdauer wurde der Granitschild wie zu Beginn behandelt. Dabei zeigte sich, daß von der berechneten Seite deutlich mehr Schutt anfiel als von der unberechneten (Fig. 5). Diese Gesteinstrümmer stammten vor allem von Desquamations-Schuppen bis maximal 20 cm Durchmesser, die sich während der fünf Monate gebildet bzw. so stark gelockert hatten, daß sie beim Abklopfen zerstört werden konnten. Der gegenüber den natürlichen Verhältnissen erhöhte Feuchte-wechsel hatte zu dieser *Gesteinszerstörung* geführt. Die bei der Beregnung aufgetretenen kurzfristigen Temperaturänderungen betrug maximal 6°C und sind nicht mit den bedeutend stärkeren Temperaturschwankungen bei den erwähnten Laborexperimenten (mit negativem Ausgang) zu vergleichen. Frostwirkungen sind

Tab. 2: In Relation zur Gesteinstemperatur-Schwankung y untersuchte Parameter x

/1/ : $y = T_0 - T_f^1)$ , $x = T_0$	/5/ : $y = T_0 - T_f$ , $x = v$
/2/ : $y = T_0 - T_f$ , $x = T_{H_2O}$	/6/ : $y = T_0 - T_f$ , $x = T_0 - T_{H_2O}$
/3/ : $y = T_0 - T_f$ , $x = T_L$	/7/ : $y = T_0 - T_f$ , $x = x T_0 - T_L$
/4/ : $y = T_0 - T_f$ , $x = RF$	/8/ : $y = T_0 - T_f$ , $x = T_L - T_{H_2O}$

1) Erläuterung siehe Tab. 1

Tab. 3: Gleichungen der Parabeln 2. Ordnung für  $y = T_0 - T_f$

/1/ : $y = -10,460 x^0 + 0,796 x^1 - 1,023 \cdot 10^{-2} x^2$
/2/ : $y = -27,432 x^0 + 2,290 x^1 - 3,960 \cdot 10^{-2} x^2$
/3/ : $y = -8,408 x^0 + 0,684 x^1 - 8,413 \cdot 10^{-3} x^2$
/6/ : $y = 0,934 x^0 + 0,609 x^1 - 2,418 \cdot 10^{-2} x^2$
/8/ : $y = 1,524 x^0 + 0,583 x^1 - 1,973 \cdot 10^{-2} x^2$

Tab. 4: In Relation zur Abtrocknungszeit  $y = t$  untersuchte Parameter x

/1/ : $y = t$ , $x = v^1)$	/5/ : $y = t$ , $x = RF - v$
/2/ : $y = t$ , $x = RF$	/6/ : $y = t$ , $x = T_L - v$
/3/ : $y = t$ , $x = T_L$	/7/ : $y = t$ , $x = T_L + v - RF$
/4/ : $y = t$ , $x = T_f$	

1) Erläuterung siehe Tab. 1

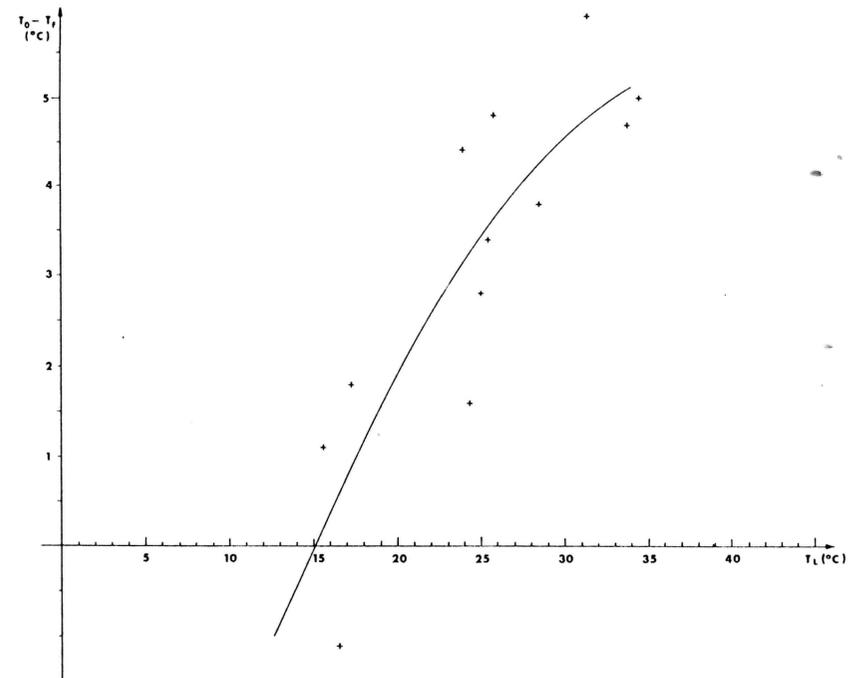


Fig. 2: Die Oberflächentemperatur-Erniedrigung am Felsen ( $T_0 - T_f$ ) in Abhängigkeit von der Lufttemperatur  $T_L$ : durch Regressionsanalyse aus den Meßpunkten angenäherte Parabel 2. Ordnung.

auszuschließen, da das absolute Temperatur-Minimum während der Versuchsdauer + 2,7°C betrug.

Neben der Gesteinszerstörung machte sich am grauen Versuchsgranit noch eine andere Veränderung bemerkbar, die allerdings auf der Abbildung nur sehr schwer zu erkennen ist (Fig. 4): die *Bildung von Pseudorinden*. Schon vor der Lockerung und Entfernung der Desquamationsteile fielen auf der berechneten Hälfte zwei große (bis zu 40 cm lange) und mehrere kleine rostbraune Flecken auf, die sich bevorzugt an den Stellen gebildet hatten, wo zu Beginn der Versuchsreihe lockere Gesteinsschuppen entfernt worden waren. Diese braunen Überzüge erinnerten sofort an Wüstenrinden, wie sie aus vielen Trockengebieten bekannt sind (z. B. MECKE-LEIN 1959, 1971), und wie sie auch aus der Namib von mehreren Autorengenerationen beschrieben werden (z. B. KAISER 1923 und 1926, GEVERS 1936, LOGAN 1960, GOUDIE 1972).

Schon während des Forschungsaufenthaltes 1969 (BESLER 1972) waren zum Problem der Rinden in der Namib Untersuchungen angestellt worden, wovon zwei wichtige Ergebnisse festgehalten werden müssen: 1. Die „Rinden“ treten nur in der Wüstensteppe der östlichen Namib auf; sie fehlen in der küstennahen kühlen Nebelwüste und sind in der mittleren Nebelwechsel-Wüste bei Gobabeb nur aus-

nahmsweise zu finden. 2. Nach röntgenspektrographischen Untersuchungen handelt es sich in allen Fällen nur um montmorillonitartige Verwitterungsprodukte ohne Eisen- oder Manganoxide, also um Pseudorinden.

Im Anschluß an den Aufenthalt 1976 wurden weitere Proben nach dem Dünnschliffverfahren von HABERLAND auf Rindenbildung untersucht. Im Gegensatz zu den echten Rinden<sup>3</sup> der Sahara, wo Plasmawanderungen sowie Konkretions-, Anreicherungs- und Magerhorizonte nachgewiesen werden konnten (HABERLAND 1975, HABERLAND/FRÄNZLE 1975), war auch dieser Befund für die Namib-

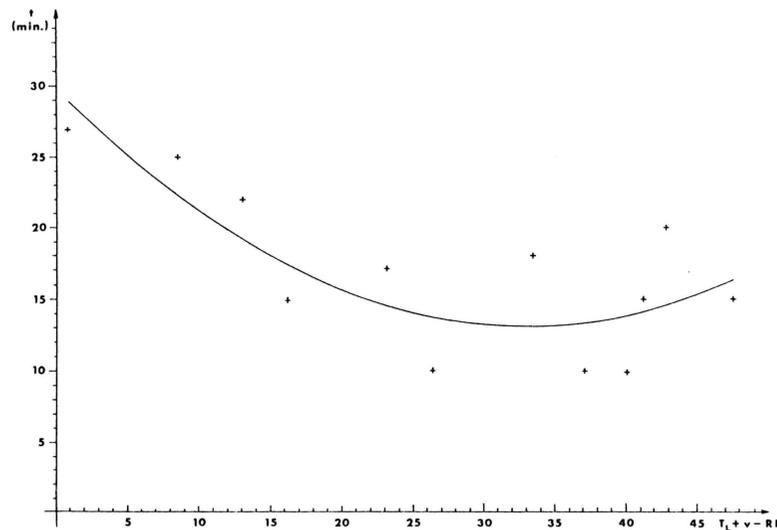


Fig. 3: Die Abtrocknungszeit ( $t$ ) der Felsoberfläche in Abhängigkeit von den Parametern  $T_L + v - RF$ : durch Regressionsanalyse aus den Meßpunkten angenäherte Parabel 2. Ordnung.

proben negativ. 1977 wurden von HABERLAND drei Granitproben untersucht (in Fig. 1 Entnahmeorte 63, 73, 76), die nach dem optischen Eindruck deutliche rotbraune oder schwarzgefleckte Rinden besaßen; alle erwiesen sich jedoch als taub. Dagegen konnten auf fast allen Proben durch Eisenverbindungen und/oder Tonbeläge braun verfärbte Humusaufgaben nachgewiesen werden, die direkt über Biotiten besonders mächtig waren (80–100  $\mu\text{m}$ ). Aus Biotiten kann besonders leicht Eisen freigesetzt werden, was die Besiedelung mit eisenbevorzugenden Mikroorganismen erleichtert.

Da auch andere Gesteinsarten der Namib, z. B. Quarzite und Marmore, manchmal den Eindruck einer Rindenbedeckung machen, wurden hiervon die auffälligsten

<sup>3</sup>) HABERLAND (1975) spricht von Krusten. Diese Bezeichnung wird nach WILHELMY (1974) u. a. Nachschlagewerken jedoch für Überzüge verwendet, die Lockermaterial miteinander verbinden.

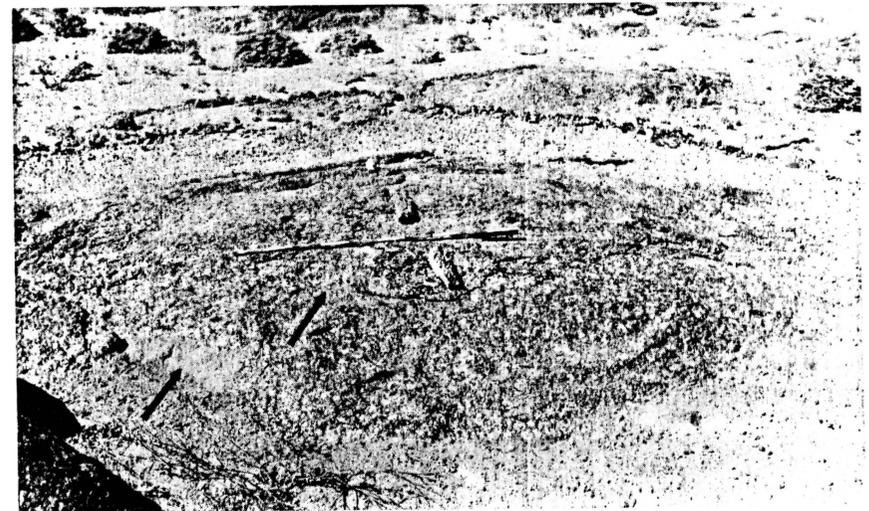
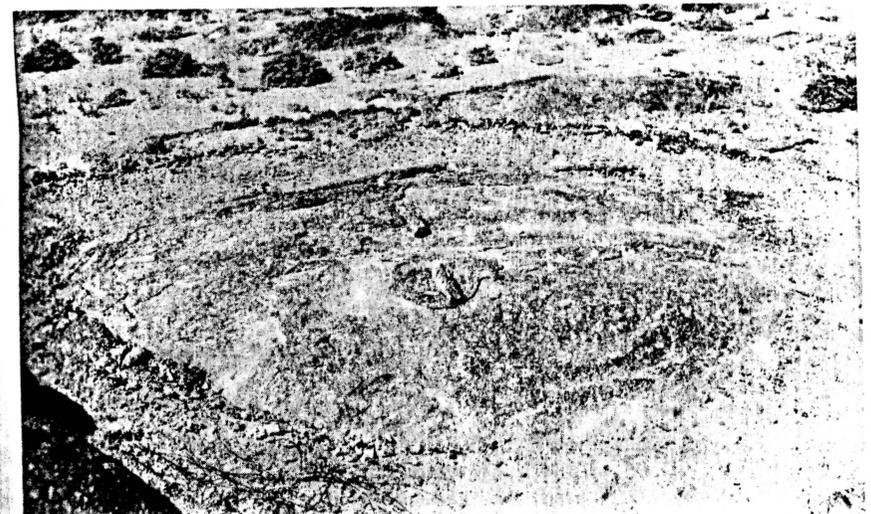


Fig. 4: Nach fünf Monaten mit wiederholter Beregnung ist der Versuchsfelsen unverändert bis auf braune Flecken der Pseudorindenbildung (Pfeil; im Hintergrund das vor Versuchsbeginn entfernte Lockermaterial als Schuttkranz). Aufn.: H. BESLER 11. 8. 1976, Blickrichtung S.

Fig. 5: Nach Entfernung der gelockerten Gesteinspartikel bei Abschluß der Versuchsreihe zeigt die beregnete ENE-Hälfte deutlich stärkeren Schuttanfall. Die Stellen der Desquamation sind als hellere, staubig erscheinende Flecken zu erkennen. Aufn.: H. BESLER 11. 8. 1976, Blickrichtung S.



Vorkommen untersucht. Die Probe eines Marmors (95) war ebenfalls taub (Humusaufgabe in Mulden). Auch bei Zementquarziten (43, 75) Benennung nach FÜCHTBAUER/MÜLLER (1970), die optisch dunkel-orange leuchtende und polierte Überzüge besaßen, konnten im Dünnschliff lediglich fleckenhafte Humusaufgaben von etwa 30 µm Mächtigkeit nachgewiesen werden.

#### *Zusammenfassung und Interpretation*

##### *1. Die Abhängigkeit der Temperatur- und Feuchteschwankungen am Gestein von atmosphärischen Parametern und die Auswirkungen der Schwankungen auf Granit*

Über ein halbes Jahr wurde auf der Forschungsstation Gobabeb in der zentralen Namib ein Granitschild zur Hälfte wiederholt künstlich berechnet. Die bei der Berechnung auftretenden Oberflächentemperaturschwankungen und die anschließenden Abtrocknungszeiten wurden in ihrer Beziehung zu fünf bzw. vier weiteren atmosphärischen Parametern und deren Kombinationen einzeln mittels Regressionsanalysen untersucht. Danach hängt die Oberflächentemperatur-Erniedrigung bei Niederschlägen vor allem (fast linear) von der Lufttemperatur ab; sie steigt jeweils um etwa  $\frac{2}{5}$  der Lufttemperatur-Zunahme. Luftfeuchten und Windgeschwindigkeiten (Verdunstung!) erwiesen sich als irrelevant; auch der Aufheizungsgrad der Gesteinsoberfläche unmittelbar vor Befeuchtung war von untergeordneter Bedeutung. Die Abtrocknungszeit feuchter Gesteinsoberflächen hängt parabelartig von der Kombination der Parameter Lufttemperatur, Windgeschwindigkeit und relativer Luftfeuchte ab; sie zeigte keine Korrelation zu den Parametern im einzelnen. Die Feuchtwechsel führten zu einer meßbaren Gesteinszerstörung durch Desquamation sowie zur fleckenhaften Ausbildung von Pseudorinden.

##### *2. Voraussetzungen für die Bildung von Pseudorinden*

Mit verschiedenen Untersuchungsmethoden konnte bewiesen werden, daß in der Namib keine echten Wüstenrinden auftreten. Zu beantworten wäre die Frage, warum die Pseudorinden nur in der küstenfernen Wüstensteppe vorkommen. Bei sehr ähnlichen Graniten und vergleichbaren Temperaturverhältnissen (zumindest zwischen Wüstensteppe und Nebelwechsel-Wüste) sind Unterschiede allein durch die Niederschlagsverhältnisse gegeben. Während in der nebelfreien Wüstensteppe 90—200 mm Regen saisonal fallen, bezieht die Nebelwechsel-Wüste ihre Feuchtigkeit neben nur 20 mm Regen aus etwa 60 Nebeltagen im Jahr (etwa 30 mm). Dazu kommen noch die küstenwärts zunehmenden Nebeltage ohne meßbaren Niederschlag (BESLER 1972). Daher wurde das Fehlen der Pseudorinden in den küstennäheren Zonen durch die häufigeren Nebel erklärt.

Der Befund der Feldstudie 1976 zeigt dagegen deutlich, daß hier die natürliche Feuchtigkeit nicht zur Bildung der Pseudorinden ausreicht. Demnach scheint nicht der häufige Wechsel zwischen Befeuchtung und Austrocknung für die Rindenbildung maßgebend zu sein, sondern vielmehr eine bestimmte Mindestmenge an Wasser pro Befeuchtungsvorgang. In der küstennahen Nebelwüste und in der Nebelwechsel-Wüste wird dieser Grenzwert (um 2 mm) offensichtlich bei den Nebelniederschlägen nicht erreicht, sicher dagegen in der Wüstensteppe (in Ganab z. B. 90 mm an 18 Tagen im Jahr). Bezeichnenderweise hatten sich beim Feldversuch 1969 keine Pseudorinden gebildet, obwohl die Desquamation sogar stärker war als 1976: Ein häufiger Feuchtwechsel führt zur Desintegration (1969: 35 Tau- und Nebeltage; 1976: 12 künstliche und 5 natürliche Benetzungen). Aber erst bei Mindestmengen von 2 mm bilden sich dabei auch Pseudorinden.

In allen Fällen, bei denen in der Literatur auf die Bedeutung des häufigen Feuchtwechsels für die Wüstenlackbildung hingewiesen wird, geht aus Situationsbeschreibungen hervor, daß die Bedingung der Mindestwassermenge ohnehin erfüllt ist (z. B. HUNT 1954, oder KLUTE/KRASSER 1940). Nicht in allen Fällen (HUNT z. B.) ist jedoch bewiesen, ob es sich dabei tatsächlich um echten Wüstenlack oder auch nur um Pseudobildungen handelt.

##### *3. Ursachen für die Abwesenheit echter Rinden in der Namib*

Aus verschiedenen Blickwinkeln betrachtet, besteht eine gewisse Wahrscheinlichkeit, daß es sich bei den Pseudorinden der Namib um Vorstadien einer echten Rinden- oder Wüstenlackbildung handelt.

1. Nach SCHEFFER/MEYER/KALK (1963) sind an der Bildung von Wüstenlack Blaualgen beteiligt, deren Stoffwechselprodukte Eisen aus Silikatverbindungen mobilisieren. Die organischen Eisenkomplexe bilden auf mikroskopisch rauhen Oberflächen zusammenhängende Filme, auf glatten Kristallen (Quarz) an Störungsstellen Flecken. — Die in den Dünnschliffen der Namib-Proben sichtbaren, durch Eisenverbindungen und/oder Tonbeläge braun bis schwarz verfärbten Humusaufgaben bestehen aus niederer Vegetation. Sie sind besonders stark auf den rauen Oberflächen der biotitreichen Granite und fleckenhaft über ausbeißenden Rißstrukturen (bis 150 µm lang) auf den glatten Oberflächen der Quarzite. Während nach SCHEFFER/MEYER/KALK bei den echten Wüstenlacken die organische Komponente oxidativ abgebaut und Eisenoxid abgeschieden wird, was auch die Befunde von LAUDERMILK (1931) bestätigen, überwiegt bei den Namibproben noch der organische Anteil.

2. Nach HABERLAND/FRÄNZLE (1975) liegt das Kieselsäureplasma in den Rindenhorizonten der untersuchten Saharaprobe eher in Quarz- als in Chalcedonphase vor. Daraus schließen die Autoren, daß nicht ausreichende Wasserdampf-mengen eindringen und die Rinden unter feuchteren Verhältnissen entstanden seien. — An einer der Quarziteproben aus der Namib (43) lassen sich in trichterförmig ausgeweiteten Rissen Opal-Chalcedon-Verfüllungen erkennen, die möglicherweise Stadien einer aktuell ablaufenden Kieselsäuremobilisation darstellen. An einer der Granitproben (76) lassen sich oberflächenparallel angeordnete Opal-Chalcedon-Aggregate feststellen. Diese Probe steht optisch den Pseudorindenflecken am Versuchsganit am nächsten.

Es sind also Indizien vorhanden, die es nicht ausgeschlossen erscheinen lassen, daß zur Zeit in der östlichen Namib die Rinden- und Wüstenlackbildung initiiert wird. Auf die Frage, warum die Folgestadien nicht vorhanden sind, wären zwei Antworten denkbar: 1. Die für Rindenbildung günstigen Verhältnisse herrschen noch nicht lange genug, was eine graduelle Klimaänderung vor nicht allzu langer Zeit beinhaltet und wahrscheinlich ausgeschlossen werden kann. 2. Die klimatischen Verhältnisse liefern den notwendigen, aber nicht den optimalen Rahmen, so daß die Vorgänge gehemmt ablaufen.