

R. GANSSEN



SÜDWEST-  
AFRIKA

BÖDEN UND  
BODENKULTUR

REIMER BERLIN







# SÜDWEST-AFRIKA

Böden und Bodenkultur

Versuch einer  
Klimapedologie warmer Trockengebiete

VON

ROBERT GANSSEN

Professor an der Universität Freiburg i. Br.

*Mit 25 Textabbildungen nach Zeichnungen des Verfassers.  
3 Kartenskizzen, 4 Farbbildern und 32 Photos*

1963

---

VERLAG VON DIETRICH REIMER IN BERLIN

*Umschlagzeichnung nach einer Idee des Verfassers*



*Gedruckt mit Unterstützung der Deutschen Forschungsgemeinschaft  
© 1963 Dietrich Reimer (Andrews & Steiner) Berlin*

DEM GEDENKEN ALLER,  
die in *friedlicher, aufbauender Arbeit*  
Südwestafrika durchforschten und erschlossen  
zum Wohle aller seiner Bewohner

## I N H A L T

Vorwort .....	9
1 Die allgemeinen geographischen Grundlagen für die Bodenbildung in SWA ..	11
11 Größe und Grenzen von Südwestafrika .....	12
12 Das Klima in SWA als wichtigste Grundlage für Bodenbildung und Boden- kultur .....	13
121 Die Niederschläge in SWA .....	13
122 Der Temperaturverlauf in SWA .....	16
13 Die Gesteine in SWA als anorganisches Ausgangsmaterial der Bodenbildung	16
131 Feste Gesteine .....	17
132 Lose und lockere Gesteine .....	17
133 Klimabedingtes kalkhaltiges Ausgangsmaterial in SWA .....	17
14 Zuschußwasser als Faktor der Bodenbildung in SWA .....	18
141 Formen des Zuschußwassers .....	18
142 Die Bedeutung des Zuschußwassers für die Bodenbildung im ariden Klima von SWA .....	20
15 Die Vegetation in ihrer allgemeinen Beziehung zur Bodenbildung in SWA. Böden und Tierwelt .....	20
151 Die Hauptvegetationsformen in SWA .....	21
152 Die Bedeutung der Vegetationsformen an der Trockengrenze der Bodenbildung .....	22
16 Der allgemeine Einfluß des Reliefs auf die Bodenbildung in SWA .....	23
161 Landschaft und Relief in SWA .....	23
162 Bodencatenen und Bodenkomplexe in SWA .....	24
17 Schlußbetrachtung und Folgerungen .....	24
2 Grundsätzliches zur Bodenbildung in warm-ariden Gebieten .....	27
21 Die Gesteinsverwitterung in ariden Gebieten als eine Vorstufe der Boden- bildung .....	27
22 Allgemeine Bodeneigenschaften in warm-ariden Gebieten .....	30
23 Die Stellung der Böden im ariden SWA zu denen Gesamtafrikas .....	33
3 Die einzelnen Hauptbodentypen in SWA .....	37
31 Die überwiegend klimabedingten „Zonalen Bodentypen“ .....	37
311 Die Trockenwaldböden .....	39

312	Die Böden der Baumsavannen und die Braunen und Grauen Böden der Halbwüsten und trockneren Buschsavannen .....	40
	3121 Böden der Baumsavannen S. 40 — 3122 Braune und Graue Böden der Halbwüsten S. 40	
313	Die Wüstenböden .....	43
32	Subtypen und Varianten der Zonalen Böden .....	46
	321 Gebirgsböden an Hängen .....	46
	322 Subtypen als Folge bestimmter Gesteine .....	46
	323 Subtypen als Folge von Verkalkung im Bodenuntergrund .....	49
	324 Subtypen mit versalztem Untergrund .....	57
33	Intrazonale und Halbzonale Böden .....	52
	331 Graue Böden schwerer Textur .....	54
	332 Braune Böden schwerer Textur .....	56
	333 Sehr arme Böden aus rötlichen Quarzsanden .....	57
	334 Graue Böden leichter Textur aus Kalken .....	58
	335 Andere Böden aus Kalken und Dolomit .....	59
	336 Solontschake und solonezartige Böden .....	61
	3361 Definition und Entstehung S. 61 — 3362 Vorkommen S. 64	
	337 Böden aus fossilen Rotlehmresten .....	68
34	Bodencatenen und Bodenkomplexe als Kombination Zonaler und Intrazonaler Böden in SWA .....	69
	341 Beispiele für Bodencatenen .....	70
	342 Beispiele für Bodenkomplexe .....	73
	343 Klimatische Bodenlehre und Bodencatenen in SWA .....	75
35	Vergleiche zwischen Böden in Mitteleuropa und in SWA .....	76
4	Lockermassen ohne Bodenbildung und bodenähnliche Formen in SWA .....	83
	41 Oberflächenformen extremer Wüstengebiete der Namib .....	84
	42 Bodenfreie Gebiete außerhalb der Namib .....	85
	43 Takyartige Formen .....	86
	44 Zusammenhänge zwischen Böden und bodenartigen Formen in SWA .....	87
	45 Zusammenfassung über Böden und bodenartige Formen in SWA .....	92
5	Bodennutzung und Bodenkultur in SWA .....	95
	51 Bodennutzung durch Beweidung und Ackerbau .....	95
	52 Bodenkulturelle Maßnahmen .....	97
	521 Die Bodendüngung in SWA .....	97
	5211 Schwierigkeiten bei der Wahl der Düngemaßnahmen S. 99 —	
	5212 Bodenentwicklung und Nährstoffgehalt in SWA S. 100 —	
	5213 Zur Frage der Stalldünger S. 100	
	522 Die Bodenbewässerung in SWA .....	101
	5221 Vergleiche von Bodenbewässerung in humiden und ariden Gebieten S. 101 — 5222 Die Gefahren der Bodenbewässerung in SWA S. 104 — 5223 Vermeidung von Versalzung und Alkalisierung und Möglichkeiten der Meliorierung geschädigter Böden S. 107	
	53 Schlußfolgerungen .....	108
6	Bodenerosion und andere Bodenzerstörungen in SWA als naturgegebene Vorgänge und als Folge der Bodennutzung .....	111

61	Bodenerosion durch Wind .....	112
62	Bodenerosion durch Wasser .....	113
63	Verschüttete Böden und nicht erosionsbedingte Bodenschädigungen .....	115
631	Verschüttete Böden als Folge der Wassererosion .....	115
632	Verschüttete Böden als Folge der Winderosion .....	115
633	Andere biologisch ungünstige Bodenveränderungen .....	116
64	Schlußfolgerungen aus Abschnitt 5 u. 6 .....	120
7	Schlußwort .....	121
8	Literaturverzeichnis .....	125
9	Verzeichnis der Abbildungen .....	129
10	Sach- und Ortsregister .....	131
	Farbtafeln .....	nach 136
	Fototafeln .....	ab 137

## VORWORT

Das vorliegende Werk ist das Ergebnis einer mehr als sechsmonatigen bodenkundlichen Erkundungsreise durch fast alle den Weißen zugänglichen Teile von Südwestafrika (SWA) und analytischer Auswertung der mitgebrachten Bodenproben.

Bisher ist noch wenig über die Böden der Trockengebiete der südlichen Erdhalbkugel bekannt, wenn wir von Australien absehen, wo die dortigen Bodenkundler schon seit langem die Böden erforschen (*Prescott, Stephens* u. a. (32)), und von einigen recht wichtigen Arbeiten in Südafrika (*van der Merve*). In SWA selbst hatte bisher nur *Berger* (4) in einem unveröffentlichten Manuskript eine Bodenerkundung auf wissenschaftlicher Grundlage eingeleitet. Wertvolle bodenkundliche Einzeldaten finden sich noch im Buch von *Walter und Volk* über die Weidewirtschaft in SWA (38). Den genannten Autoren verdanke ich auch in petrographischer, geologischer und klimatologischer Hinsicht wertvolle Anregungen. Auch Herr Dr. *Martin*, Geologe in Windhoek, unterstützte meine Arbeiten durch wichtige geologisch-petrographische Erläuterungen. Zahlreiche Farmer im ganzen Land – deutschstämmige wie Afrikaner – sowie einige Herren der Administration, besonders Herr *Freyer jun.*, halfen mir in selbstloser Weise bei meinen Außenarbeiten, indem sie mich gastlich aufnahmen und mir ihre Kraftwagen zur Verfügung stellten. Die *Deutsche Forschungsgemeinschaft* unterstützte mein Forschungsvorhaben durch Bewilligung ausreichender Mittel für die Forschungsreise und durch Bereitstellen eines Druckkostenzuschusses für das vorliegende Buch. Besonderen Dank bin ich meinem ersten wissenschaftlichen Assistenten Dr. *W. Moll* schuldig, dem durch Ausarbeitung und Ausführung geeigneter Analysenmethoden für die Böden SWA's ein nicht geringer Anteil an der wissenschaftlichen Auswertung meiner Arbeit zukommt. Auch meine anderen Mitarbeiter, unter ihnen besonders Frau *Goeze* und Herr Dr. *Hüdrich*, haben durch ihre wertvolle Hilfe bei der technischen Lenkung der Laborarbeiten bzw. der Anfertigung von Karten und graphischen Darstellungen wesentlich an der Fertigstellung dieses Buches beigetragen. Dem

Verlag *Dietrich Reimer* in Berlin danke ich für die gediegene Ausstattung des Buches und das Entgegenkommen betr. meiner Wünsche.

Ich habe mich bemüht, das vorliegende kleine Werk so abzufassen, daß sein Inhalt über die örtlichen Belange SWA's hinaus Erkenntnisse über Bodenbildung, Bodeneigenschaften und die Möglichkeiten der Bodennutzung auch in anderen ariden Gebieten mit ähnlichen Böden wie in SWA vermitteln soll. Nur durch ein solches gründliches Verständnis der Bodenbildung und Bodennutzung aus der besonderen geographischen Situation SWA's und anderer Trockengebiete heraus können schwere Schäden in der Bodennutzung und Bodenkultur vermieden werden. Ein eingehendes Studium des Wesens der betr. Böden verhindert auch Illusionen über Intensivierung der Bodennutzung für SWA und andere Trockengebiete, etwa durch uferlose Bewässerungsprojekte, wie sie in populären Darstellungen und Presseartikeln ohne jede Kenntnisse der notwendigen naturwissenschaftlichen Grundlagen propagiert und vielfach ohne Rücksicht auf die verheerenden Folgen in vielen Ländern auch in der Tat umgesetzt worden sind. Möge das vorliegende kleine Werk dazu beitragen, die Fruchtbarkeit SWA's durch gesunde Kultivierungsmaßnahmen im Rahmen des Möglichen zu erhalten!

Weiterhin möchte ich mit meiner Darstellung der Genetik, Beschreibung und Analytik der Hauptböden in SWA zum Vergleich mit Böden in Mitteleuropa anregen und damit auch zum Verständnis der besonderen Eigenart der Böden eines Trockengebietes. Es fehlt im bodenkundlich-wissenschaftlichen Schrifttum noch die Bearbeitung einer „Vergleichenden Bodenkunde“, entsprechend etwa dem Werke, das uns Norbert *Krebs* (15) auf geographischem Gebiet mit seiner „Vergleichenden Länderkunde“ hinterlassen hat.

Für den Leser des Buches noch einige Hinweise: die in runde Klammern gesetzten Ziffern beziehen sich auf das Schrifttumsverzeichnis am Schluß des Buches. Hierin sind nur solche Veröffentlichungen enthalten, die sich in irgendeiner Weise auf die im vorliegenden Werk behandelten Probleme beziehen. Sonstige grundlegende Werke (*Krenkel*, *Jäger*, *Passarge* usw.) mußten leider aus Raumgründen unberücksichtigt bleiben. Die Ziffern in eckigen Klammern verweisen auf die betr. Stellen der Textgliederung, die nach der Dezimalklassifikation durchgeführt ist. Die Abbildungen sind nach sachlichen Gesichtspunkten fortlaufend numeriert; soweit sie nicht im Text stehen, erscheinen sie auf den Kunstdruckseiten am Ende des Bandes.

## 1 DIE ALLGEMEINEN GEOGRAPHISCHEN GRUNDLAGEN FÜR DIE BODENBILDUNG IN SÜDWESTAFRIKA

Es gehört zu den grundsätzlichen Erkenntnissen der modernen Bodenkunde, daß überall auf der Erde die Böden in sehr engem Zusammenhang mit den Landschaften stehen, in denen sie vorkommen. Die in den Landschaften wirkenden Stoffe, Kräfte und Energien formen die Böden und tragen darüber hinaus ständig zu ihrer Erhaltung bei. Umwelteinflüsse oder – vom Boden aus gesehen – Faktoren der Bodenbildung bestimmen also Entstehung, Erhaltung und gegebenenfalls auch Zerstörung der Böden, z. B. durch Erosion. Die Umwelteinflüsse bewirken auch nach sehr allgemein gültigen Regeln eine fast gesetzmäßige Verteilung der Böden innerhalb der einzelnen Landschaften (5, S. 291).

Genetisch betrachtet ist also der Boden eine Funktion der Umweltfaktoren, zu denen wir u. a. rechnen: Klima, Vegetation und Tiere, Gesteinsart (anorganisches Ausgangsmaterial), Relief (einschließlich Exposition usw.), Zuschußwasser (Fremdwasser, z. B. Grundwasser, soweit im Boden wirksam) und ggf. auch die Zeitdauer, in der ein Boden entstehen kann. Dazu kommt noch der Faktor „menschliche Arbeit“, der in besiedelten Gebieten meist eine große Rolle spielt und die Naturböden zu Kultur- und Wirtschaftsböden umformt, sei es unter Erhaltung, Steigerung oder auch Minderung der Bodenfruchtbarkeit. Alle diese Faktoren sind auch für die Böden von SWA von grundsätzlicher Bedeutung.

Substanziell betrachtet sind die Böden, als oberste Teile der Verwitterungsdecke der Erdrinde, sowohl aus organischen Anteilen (Humus als Umformungsprodukt postmortaler organischer Substanz) als auch aus anorganischen Teilen (verwitterte, unverwitterte, unverwitterbare Gesteinsteile; Tonminerale; gemengte Gele; Oxide von Aluminium, Eisen, Silizium; Salze usw.) zusammengesetzt. Ihr Gehalt an gewissen, die Böden erst in bestimmter Weise strukturierenden Bestandteilen setzt sie deutlich ab von bloßen Anhäufungen unstrukturierter anorganischer Materials, wie z. B. von Sandmassen in Wander-

dünen extremer Wüsten (Hinterland der Walfischbai in SWA). Somit ist der Begriff „Boden“ begrifflich begrenzt. Dies erscheint in einem Lande wie SWA, in dem ein großer Teil der Erdoberfläche besonders in den extremer trockenen Gebieten aus humusfreien losen Sanden und Verwitterungsdecken besteht und daher im bodenkundlichen Sinne „bodenfrei“ ist, notwendig zu betonen.

Biologisch gesehen ist der Boden ein irgendwie lebenerfüllter Raum, wie schon aus dem oben genannten Umweltfaktor „Pflanzen und Tiere“ hervorgeht. Niedriger und höher organisierte Tiere, Einzeller, lebende Pflanzenwurzeln erfüllen je nach Umständen in mehr oder weniger großer Zahl die einzelnen Böden. Die Ausscheidungen und Kadaver der Tiere, die Abfälle der Vegetation führen den Böden bestimmte organische Substanzen zu. Auch darin unterscheiden sich Böden vom Gestein oder von bloßen anorganischen Materialanhäufungen und Verwitterungsprodukten.

Zuletzt sei der hieran interessierte Leser auf die ausführliche Definition des Bodens nach *Pallmann* (26) hingewiesen, in der die erwähnten engen Beziehungen zwischen Böden und Umweltfaktoren sowie die Lehre des Aufbaus der Böden aus Horizonten zum Bodenprofil hervorgeht.

## 11 Größe und Grenzen von Südwestafrika (46)

Es folgen einige kurze statistische Angaben über SWA, soweit diese zum Verständnis für die im vorliegenden Buch behandelten klimatischen Verhältnisse und bodenwirtschaftlichen Möglichkeiten notwendig erscheinen:

SWA, z. Z. noch Mandatsgebiet der Republik Südafrika, umfaßt etwa 836 000 km<sup>2</sup> und erreicht damit fast die zweieinhalbfache Größe des heutigen Gesamtdeutschlands. Es wird im Westen durch die etwa 1000 km lange, buchtenarme Küste des Atlantik begrenzt. Im Norden berührt es den portugiesischen Landesteil Angola mit den fast stets wasserführenden Grenzflüssen Kunene und Okavango (einschließlich einer geradlinig die Flüsse verbindenden Grenze auf 17°36' südl. Br.). Die Ostgrenze SWA's verläuft, abgesehen von dem im vorliegenden Buch nicht behandelten etwa 450 km ostwärts reichenden Caprivi-Zipfel, im nördlichen Teil (gegen Betschuana-Land) auf dem 21., im südlichen Teil (gegen die Republik Südafrika) auf dem 20° ö. L. Die Südgrenze bildet der Oranje auf durchschnittlich 28°30' südl. Breite. Ständig wasserführende Flüsse gibt es außer den hier genannten in SWA selbst nicht. Nur der Fischfluß zeigt in seinem Unterlauf auch während der Trockenzeit auf längeren Strecken oft oberirdisches Wasser.

In SWA leben z. Z. etwa 70 000 weiße und 400 000 nichtweiße Bewohner, was einer Bevölkerungsdichte von rund 0,5–0,6 Einwohnern je km<sup>2</sup> entspricht. Dies ist rein zahlenmäßig gesehen zwar eine sehr geringe Bevölkerungsdichte. Bodenwirtschaftlich ist aber SWA unter den ariden Klimabedingungen bereits dicht bevölkert, wie wir später nach Kenntnis der Möglichkeiten der Intensivierung der Bodenerträge sehen werden [7].

## 12 Das Klima in SWA als wichtigste Grundlage für Bodenbildung und Bodenkultur

Von den in [1] angegebenen Faktoren der Bodenbildung (Umweltfaktoren) spielt das *Klima* in SWA eine ganz ausschlaggebende Rolle. Dies ist verständlich, wenn wir uns klarmachen, daß die Mehrzahl der übrigen Umwelteinflüsse in gleicher Weise in SWA wie in heimischen Klimaten Mitteleuropas wirksam ist – wir finden ähnliche Gesteinsarten, gleiche Hanglagen, gegf. Grundwasser dort wie hier – nur die klimatischen Faktoren sind nach Mittelwerten und Ablauf völlig verschieden. Unterschiede in den Böden der verglichenen Gebiete sind daher ganz überwiegend auf abweichende klimatische Faktoren zurückzuführen.

### 121 Die Niederschläge in SWA

Während in humiden Klimagebieten (wie z. B. in Mitteleuropa) die Niederschläge die Verdunstung übertreffen, ist das Verhältnis dieser Größen im ariden Klima SWA's gerade umgekehrt. So steht in der Landeshauptstadt Windhoek einer mittleren jährlichen Verdunstung von 2480 mm im gleichen Zeitraum ein Niederschlag von nur etwa 360 mm gegenüber. Im südlichen und westlichen Teil des Landes sind die Niederschläge noch weit geringer. Nur im Nordosten, wo sie über 550 mm ansteigen, gestaltet sich die Durchfeuchtung wenigstens in der Regenzeit vorübergehend günstiger. Die Karte der Niederschlagshöhen in SWA (Abb. 1.1) zeigt deutlich den Anstieg der mittl. jährl. Niederschlagssummen von der Küste zum Landesinneren. Diese an sich schon überwiegend recht geringen Niederschläge lassen sich aber in ihrer Bedeutung für Böden und Bodenwirtschaft oft erst dann richtig einschätzen, wenn wir ihre jahreszeitliche *Verteilung*, ihre *Unregelmäßigkeit* und ihre große *Dichte* berücksichtigen. Die Niederschläge fallen als sommerliche Regenzeit nur während der heißesten Monate (Übersicht 1.1), in der Regenzeit zwischen November und März. Die heiße Jahreszeit fördert natürlich auch schon während einer Regen-

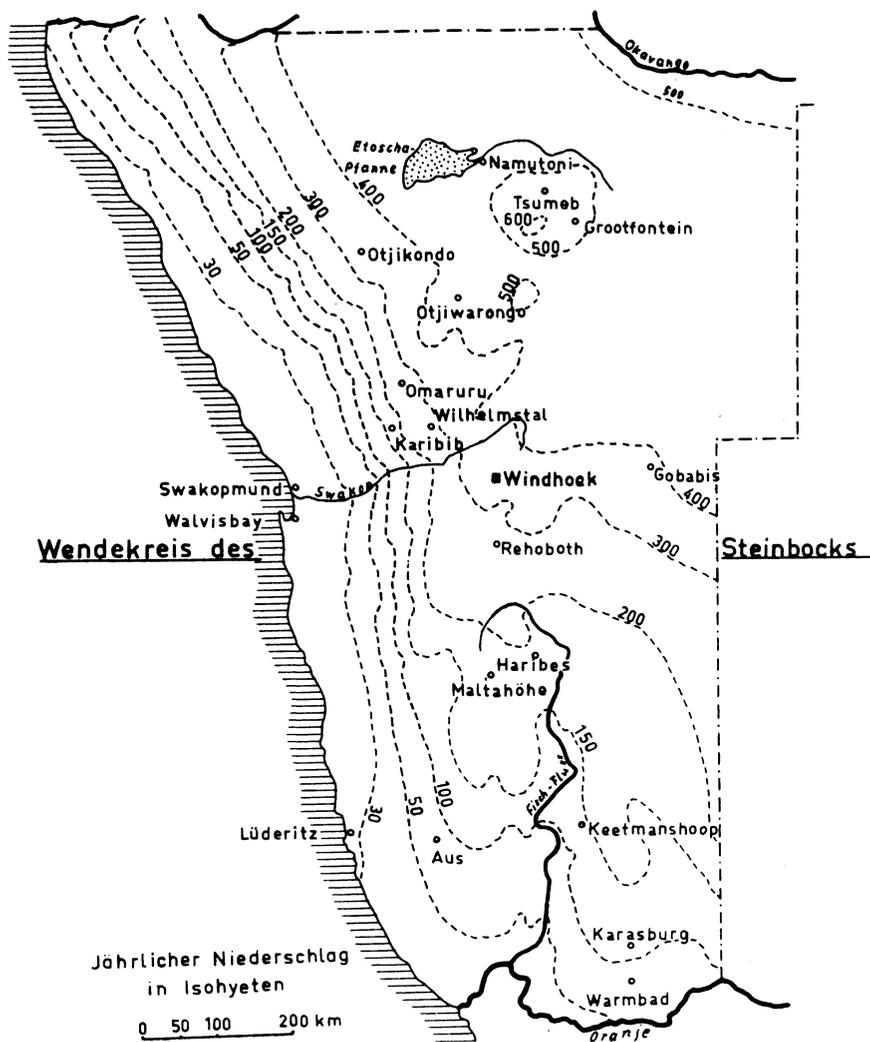


Abb. 1.1. Karte der mittleren jährlichen Niederschlagsmengen in SWA; nach (44)

periode die Verdunstung des Niederschlagswassers aus dem Boden und kann eine wirksame Bodendurchfeuchtung selbst in der Regenzeit einschränken. In der kühleren Jahreszeit fällt nur sehr selten Regen. Nur im tiefen Süden fällt ein Teil der sehr geringen Niederschläge in der kalten Jahreszeit. Sehr ungünstig

wirkt sich, wie u. a. auch *Walter* (38, S. 20) hervorhebt, für die Bodenbewirtschaftung die *Unregelmäßigkeit* der Niederschläge aus (10, 39). In unvorhersagbarer Reihe folgen extreme Dürrejahre, in denen nur ein kleiner Bruchteil des jährlichen mittleren Niederschlages fällt (wie 1930, 1959 u. a.), und Jahre mit überreichlichen Niederschlägen und verwüstenden Überschwemmungen (wie 1934). Diese sehr starken Niederschlagsschwankungen und Dürrezeiten können schwere Schäden (Bodenerosion durch Wasser und Wind, Sandverwehungen, Entstehung von Flugsandfeldern u. ä.) hervorrufen, wie unter [6] dargelegt

Monate	Temperatur in °C			mittl. Luftfeuchte in %	Bewöl- kungs- mittel	Regenmenge in mm		Gewitter- tage
	Mittel	Mittel. Extreme Max.	tägl. Extrem Min.			Mittel	Max.	
VII	12,9	19,6	6,3	34	0,8	1	29,6	—
VIII	15,3	22,2	8,4	27	0,9	1	45,2	—
IX	19,1	26,2	12,1	22	1,6	3	41,0	—
X	21,6	28,4	14,9	24	3,0	10	43,7	7
XI	22,4	29,0	15,8	27	3,2	20	112,6	10
XII	23,9	30,3	17,5	31	3,2	45	159,1	19
I	23,8	29,9	17,8	39	4,6	75	308,6	20
II	22,7	28,5	17,0	46	4,7	77	302,9	19
III	21,3	26,6	15,9	49	4,8	83	241,0	18
IV	19,1	24,8	13,3	37	3,2	40	138,6	7
V	15,8	21,9	9,5	37	1,7	8	123,6	—
VI	13,3	19,7	6,8	36	0,9	1	12,5	—
Jahr	19,2	25,6	12,9	43,1	2,7			
Mittelsumme						364		100

Übersicht 1.1. Klimawerte von Windhoek  
nach *Zelle*, zit. nach *Walter* (38, S. 18), etwas gekürzt

Als weiterer für die Bodendurchfeuchtung und Bodenbewirtschaftung ungünstiger Faktor ist die meist große *Dichte* der fallenden Niederschläge zu nennen, d. h. ihre große Wassermenge je Zeiteinheit in Form heftiger Gewittergüsse (Abb. 1.2). Diese verursachen, besonders nach langer Trockenzeit und infolgedessen verkümmelter Vegetation einen starken oberirdischen Abfluß. Dadurch tritt die Versickerung des Regenwassers *in* den Boden, die zu einer günstigen Vermehrung des Bodenwasservorrats führen könnte, zurück. Darüber hinaus fördert gerade der oberirdische Abfluß noch die Erosion des Bodens [6] und führt zur Verschlämzung hochdispersierter natriumhaltiger Bodenfeinteile, was für die Ausbildung und Verteilung bestimmter Böden in SWA (und anderen Trockengebieten) von großer Wichtigkeit ist [331, 43].

SWA gehört zu den warm-ariden Gebieten. Allerdings sind die Werte des Temperaturverlaufs spärlicher gemessen worden als die der Niederschläge. Den jährlichen Gang der Temperatur in den einzelnen Monaten in Windhoek zeigt Übersicht 1.1. Auffallend sind die geringen Unterschiede zwischen dem wärmsten und kältesten Monat ( $11^{\circ}$ ), wobei allerdings die Extremwerte in exponierten Lagen während der kalten Zeit bis unter  $0^{\circ}$  sinken können. Die Tagesamplituden sind der Aridität des Klimas entsprechend weit: im Süden sinkt im Juli und August die Temperatur morgens bis gegen den Gefrierpunkt, um am frühen Nachmittag bis gegen  $24^{\circ}$  C anzusteigen. Die Juliisotherme zeigt an der Küste etwa  $13^{\circ}$ , im Inneren  $16-18^{\circ}$ , im Nordosten  $22^{\circ}$ . Im Süden kann in manchen Jahren während der kalten Zeit leichter Schneefall vorkommen. Im Südsommer erreicht die Temperatur recht hohe Mittelwerte, besonders im fast tropischen Norden (bis  $32^{\circ}$ ); in der Mitte des Landes sind  $24-26^{\circ}$ , in der Kalahari etwa  $30^{\circ}$ , an der Küste unter der abkühlenden (und dadurch regenverhindernden) Wirkung des Benguela-Stroms  $22^{\circ}$  im wärmsten Monat zu verzeichnen (14).



SWA ist — dies kann man zusammenfassend feststellen — ein typisches warmes Trockenland; — auch dort, wo die Niederschläge relativ reichlicher fallen (wie im Nordosten), ist der aride Charakter noch vorherrschend. Hohe Wärmegrade und ggf. starker oberirdischer Abfluß des Niederschlagswassers verstärken die Bodentrockenheit. Feuchtemangel, unterbrochen aber durch Regenfälle in der heißen Zeit, sind für den Chemismus der Gesteinsverwitterung und -neubildung, für Pflanzenbestand, Bodenbildung, Bodenwirtschaft und Bodenkultur der wichtigste Faktor. Dies soll in den folgenden Abschnitten kurz dargestellt werden.

### 13 Die Gesteine in SWA als anorganisches Ausgangsmaterial der Bodenbildung

Im folgenden Text sind nur diejenigen Gesteine genannt, die eine nennenswerte Verbreitung besitzen und vom bodenbildenden Standpunkt aus wichtig sind. Überwiegend sind es silikatische und quarzitische Gesteine, teils feste (Schiefer, Gneise, Granite, Sandsteine), teils auch lose und verfrachtete Gesteine (Sande, Trümmergesteine u. ä.). Neben diesen sind auch die infolge sehr lang-

dauernder Verwitterung in überwiegend ariden Klimaten entstandenen Kalksteine und Dolomite als bodenbildend wichtige zu nennen (11, 12).

### 131 Feste Gesteine

Im sogenannten Damara-System, das besonders im mittleren SWA verbreitet ist, findet man zuunterst Glimmerschiefer; es folgen die Gesteine der Khomas-Serie (Biotit-, Muskowit-Schiefer), während jüngere Ergußsteine zurücktreten. Im Nama-Land treffen wir auf sehr ausgedehnte alte quarzistische Sandsteine, teilweise mit Kalkkrusten infolge arider Verwitterung; aber auch Granite (Abb. 1.3), Gneise, Glimmerschiefer und Quarzite, diese in den Karasbergen. Im Kaokoveld sind u. a. eozoische Sandsteine, ferner Granite, Gneise, im Otavi-Bergland u. a. auch Dolomite verbreitet, auch Kalkkrusten auf Urgestein. Alle genannten Gesteine sind auch bodenbildend wirksam.

### 132 Lose und lockere Gesteine

Flächenhaft in noch größerer Ausdehnung als feste Gesteine treten Lockermassen bodenbildend auf. Hierzu gehören Flugsande (Kalahari), Flußsande, Schotter, Reste früherer Verwitterungen, teils ausgelaugte, sehr nährstoffarme, fast rein quarzistische Sande [333], teils Roterde- und Rotlehmreste eines früheren wechselfeuchteren Klimas (also solches Material, das schon einmal eine Verwitterung und vielleicht eine Bodenbildung durchgemacht hat). *Kubierna* (17) hat mehrfach und mit Recht die Rolle hervorgehoben, die solch ein Material, das schon einmal einen Verwitterungszyklus durchlaufen hat und später umgelagert wurde, bei der Bodenbildung in tropischen und subtropischen Gebieten spielt. Flächenmäßig übertrifft in SWA ebenfalls die Bodenbildung aus umgelagertem und dadurch verändertem Material diejenige aus anstehenden festen Gesteinen. Das genannte Lockermaterial als solches ist natürlich, wie bereits unter [1] betont, noch kein Boden. Hierzu bedarf es noch eines Bodenbildungsprozesses in der oben genannten Weise unter Einfluß der Umweltfaktoren.

### 133 Klimabedingtes kalkhaltiges Ausgangsmaterial in SWA

SWA ist seit dem Altpaläozoikum, von unbedeutenden Flächen abgesehen, nie mehr vom Meer überflutet worden. Es fehlen daher in den Gesteinen typische

jüngere Meeressedimente, damit auch geschichtete Kalke, wie etwa in Mitteleuropa. Die in SWA auftretenden Kalke sind keine Sedimente der geschilderten Art. Sie sind vielmehr entweder als kalkhaltige Umwandlungsprodukte silikatischer Gesteine unter ariden Klimabedingungen während langer geologischer Zeiträume aufzufassen, oder sie sind durch Aufsteigen von  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ -haltigen Lösungen entstanden, wobei sich festes  $\text{CaCO}_3$ , z. T. in Bankform, ausschied. Diese harten Kalkbänke und Krusten sind auch schon bei früheren Untersuchungen anderer Autoren aufgefallen und als terrestrische Bildungen erkannt worden, so u. a. auch von *Abel* (1–3).

In humiden Gebieten können sich keine Kalkkrusten oder -konkretionen an der Oberfläche bilden, da dort die abwärts gerichtete Perkolation der Bodenlösungen für einen Transport des Kalziumhydrogenkarbonats ( $\text{Ca}[\text{HCO}_3]_2$ ) in tiefere Horizonte sorgt. Die in SWA vorhandenen Kalkkrusten, auch die sich heute noch bildenden losen Kalkkonkretionen in Böden und Kalkrinden auf Gestein sind also rein klimabedingte Bildungen.

#### 14 Zuschußwasser als Faktor der Bodenbildung in SWA

Begreiflicherweise ist im ariden Klima SWA's das klimabedingte Niederschlagswasser für Gesteinsverwitterung und Bodenbildung nur in spärlicher Menge und nur periodisch oder episodisch vorhanden. Um so größere Bedeutung für die genannten Prozesse können örtlich solche Wasseranteile erlangen, die *zusätzlich* neben dem Niederschlagswasser für die Bodenbildung zur Verfügung stehen.

##### 141 Formen des Zuschußwassers

Als häufigste Form des Zuschußwassers ist das *Grundwasser* in Talzügen zu nennen, das aber nur dann für die Böden wirksam sein kann, wenn es nicht tiefer als 3 bis höchstens 4 m unter der Erdoberfläche ansteht. Meist wird diese Wasserform nur periodisch nach Regenfällen als flüssiges Grundwasser dem Boden und der Vegetation zur Verfügung stehen. In der Mehrzahl der Fälle wird nach Ablauf der Regenflüsse nur eine gewisse Grundfeuchte oder Grundfrische im Untergrund verbleiben, besonders in sog. „Omuramben“, den breiten begrünnten Flußtäälern von geringem Gefälle mit tonigen, dunklen Böden [331] im Norden von SWA; hingegen kann in tief eingeschnittenen, schnell „abkommenden“ sog. Rivieren oder breiten Täälern mit Sanduntergrund oft noch echtes Grundwasser vorhanden sein (Abb. 1.4).

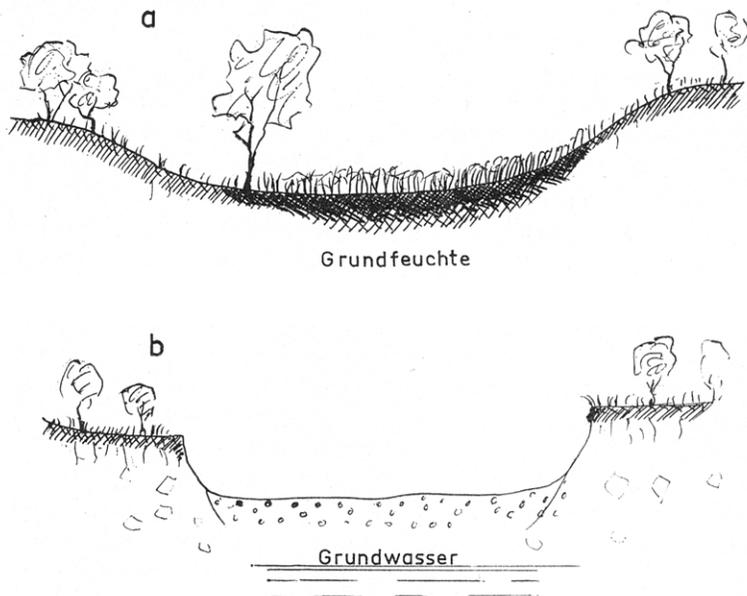


Abb. 1.4. Querschnitt und Bodenbildung  
bei periodisch durchflossenen Talzügen in SWA:

- (a) Omuramba: flaches breites Tal, langsam durchflossen, Grundfeuchte noch nach der Regenzeit, begrünt (Gräser, Einzelbäume), oft feine, schwarzgraue humose Böden schwerer Textur, z. T. mit Kalk. Vorkommen im N von SWA
- (b) Rivier: steile Talwände, schnell durchflossen, Grundwasser oft nach der Regenzeit noch pflanzenreicher, unbegrünt, Boden fehlt, Sande und Kiese, meist kalkhaltig. Vorkommen überall

Neben dem Grundwasser kann in SWA leicht ein Zusammenströmen von Regenwasser infolge des häufigen oberirdischen Abflusses bei Starkregen [121] vorkommen, das sich in abflußlosen Mulden (in SWA Vleys bzw. Pfannen genannt) kleineren oder größeren Umfangs sammelt. Teilweise kann solche Wasseransammlung bis in die beginnende Trockenzeit bestehen bleiben. Wir finden somit in diesen Mulden zuerst wasserüberflutete Böden, dann mit Aufhören der Niederschläge zunächst nur noch wasserdurchfeuchtete und nach Ende der Regenzeit schließlich stark ausgetrocknete Böden, was oft ein Absterben der Vegetation nach der Regenzeit bewirkt. Die Böden in diesen Mulden zeigen also extreme *Wechsel*feuchte und stellen besondere Typen dar, die später [331, 43] in ihren Eigenschaften und ihrer Bedeutung besprochen werden sollen.

Infolge der Aridität des Klimas verdunstet das Zuschußwasser aus dem Boden sehr stark. Es entsteht ein aufwärts gerichteter Bodenwasserstrom, der vor allem die im Wasser gelösten Kalzium-, Magnesium- und Natriumsalze an die Bodenoberfläche führt. Das hier verdunstende Wasser läßt dann die Salze auf dem Boden zurück. Es ist verständlich, daß selbst kalkarmes und fast salzfreies Wasser unter diesen Umständen im Laufe von Jahrzehnten und Jahrhunderten eine Verkalkung und Versalzung des Bodens veranlaßt — ganz im Gegensatz zu humiden Gebieten (wie etwa Mitteleuropa), wo der ganz überwiegend abwärts gerichtete Bodenwasserstrom auch aus „hartem“ und selbst aus merklich salzhaltigem Wasser niemals eine Verkalkung (s. o. [133]) und Versalzung des Oberbodens bewirkt. Auch das Stauwasser der Pfannen und Vleys (s. o.) kann nach Verdunsten Kalk- und Salzkrusten zurücklassen. Sehr stark sind diese Prozesse an den wenigen offen zutage tretenden Quellen nachweisbar, wo oft meterdicke Verkalkungen und starke Versalzungen in den umliegenden Böden auftreten, so z. B. an der Etoschapfanne (Eriksons Pütz), der Quelle Kainuchas westlich Mariental, der Wasserstelle Hauchabfontein an der Nordwestecke der Tsaris-Berge. Trockenflüsse sind, namentlich in den stärker ariden Teilen von SWA, von breiten Streifen verkalkter und ggf. örtlich auch versalzter Böden umgeben (Abb. 1.5 und 1.6). Selbst das ganz „weiche“ Wasser der Quellen des Großen und Kleinen Waterberges, deren Hänge sich wegen der reichlichen Feuchtigkeit vielerorts durch üppigere Vegetation auszeichnen, läßt beim Verdunsten auch örtlich Salze zurück.

Das Zuschußwasser ist also in seiner Wirkung auf die Bodenbildung in ariden Klimaten *grundsätzlich* anders zu beurteilen als in humiden Klimaten. Diese Tatsache ist, wie wir sehen werden [522], von *ganz ausschlaggebender Bedeutung auch für die Fragen der Bodenbewässerung in SWA.*

## **15 Die Vegetation in ihrer allgemeinen Beziehung zur Bodenbildung in SWA. Böden und Tierwelt**

Vegetation und Böden gehören untrennbar zusammen (27, S. 57). Sie sind Gegenspieler und beeinflussen sich also gegenseitig. Vegetationsgrenzen sind auch Bodengrenzen — sei es im Hochgebirge oder im Polargebiet als Kältengrenzen oder in Kernwüsten als Trockengrenzen. Hier, bei einer nur episodischen und schwachen Begrünung nach gelegentlichen Regenfällen, hört die

Humusbildung praktisch auf, da pflanzliche und auch tierische Reste, aus denen Huminstoffe nach mikrobiellem Abbau und Wiederaufbau zu hochmolekularen Stoffen immer wieder neu entstehen könnten, so gut wie fehlen. Statt der Böden entsteht nur eine bloße Materialanhäufung [1]. Dies gilt auch für die Kernwüstengebiete in SWA; im besonderen für die Wanderdünen. Örtlich zeigt sich in SWA auch eine rein periodische Begrünung nach der Regenzeit in sonst vegetationslosen Pfannen und anderen abflußlosen Senken [141]. Hier kann man daher von echten Böden trotz langer vegetationsloser Periode sprechen.

Neben der pflanzlichen Besiedlung dient der Boden auch vielen höher organisierten Tierarten als Heimstätte und Zufluchtort, vor allem während der Trockenzeit. Besonders Arthropoden (Insekten, Spinnen u. a.) können die Böden beleben, allerdings in sehr verschiedener Dichte. In vielen relativ niederschlagsreichen Gebieten von SWA finden wir zahllose Termitenhügel (bis zu 4 m Höhe!), deren verschiedene Farben (schwarz, grau, weiß, rot, braun, rosa) dem Bodenforscher wertvolle Hinweise auf die verschiedenen dort vorkommenden Böden geben können (Abb. 1.7 und 3.26). Erdferkel und andere kleine Säuger durchwühlen den Boden und bringen den Bodenuntergrund ans Tageslicht. Hier wie in anderen Gebieten der Erde ist also der Boden im wahrsten Sinne des Wortes ein lebenerfüllter Raum, wenn auch z. B. manche Salzböden nur sehr spärlich und nur vorübergehend bei Wasserbedeckung belebt sind.

## 151 Die Hauptvegetationsformen in SWA

Entsprechend der sehr verschiedenen Niederschlagshöhe (Abb. 1.1) in SWA ist auch Art und Dichte der Vegetation sehr unterschiedlich; nach den Veröffentlichungen von *Berger* (5), *Seydel* (30) und *Walter* (38) kann man in ganz groben Umrissen zunächst eine vegetations- und daher auch bodenfreie Zone (s. o.) der Kernwüste mit äußerst geringen nur episodischen Niederschlägen besonders innerhalb der Dünengebiete der Küstenregion unterscheiden. Auch innerhalb der Vegetationsgebiete kann man örtlich vegetationsfreie Streifen auf Sedimenten der Trockenflüsse und Flugsandfeldern feststellen. Steilhänge vieler Berge, vor allem in trockeneren Gebieten, sind ebenfalls frei von Pflanzenwuchs. Es folgen dann die verschiedenen Vegetationszonen, deren einzelne Bezeichnungen aus *Walter* u. *Volk* (38) übernommen wurden. Zuerst sei das Gebiet mit sehr geringen Niederschlägen (Süden SWA's und Grenzgebiet der Namib) genannt. Hier findet man Grashorste in weiten Abständen, aber mit sich berührenden Wurzelsystemen (*Aristida obtusa*). Auch etwas regenreichere Gebiete zeigen noch überwiegend Gräser (*Aristida hochstetteriana*

u. a.). Eine weitere Zunahme der Niederschläge läßt neben Gräsern auch schon Büsche auftreten (*Rhigozum trichotomum* und *Catophractes alexandri*), im Süden auch einzelne Bäume in sehr weitem Abstand wie z. B. die Kandelaberaloe (*Aloë dichotoma*, Abb. 1.8). Die *Buschsavanne* mit *Tarchonanthus*- und *Grewia*-arten geht, wenn wir zunächst nur die tiefgründigen, sandig-lockeren Böden ohne viel dispergierende Natriumtonminerale und Natriumhuminstoffe betrachten, in die *Baumsavanne* über. Diese tritt im Norden und Nordosten von SWA auf (Abb. 1.9); es finden sich hier *Acacia*-arten, *Albizzia anthelmintica*, *Lonchocarpus*, *Peltophorum africanum* und einige hohe Grasarten. Im relativ regenreichsten Nordosten finden wir *Trockenwälder* und *Parklandschaften*; *dornlose* Bäume (Abb. 4.3) u. a., wie z. B. Tambuttibäume, *Marula*-, *Kirkia*- und *Acacia*-arten, daneben auch Palmen. In den Flußniederungen, unter wenigstens zeitweiligem Grundwassereinfluß, wächst ein buschreicher Schmaluferwald mit u. a. *Acacia albida* (Anabaum) und *A. giraffia*, *Ximения americana*, *Salvadora persica*, *Tamarix*-Arten, diese auch in trockenen Flußbetten mit z. T. salzigen Böden, wie z. B. am Unterlauf des Swakops und Kuisebs (Abb. 1.10); ferner wilde Feigen, Grasarten u. a. auch Schilf (Abb. 1.11). Die reiche Vegetation gibt den Auenböden des Uferwaldes wirksamen Schutz gegen Verschlammung bei Hochwasser (30).

## 152 Die Bedeutung der Vegetation an der Trockengrenze der Bodenbildung

Vegetation und Böden sind also, wie schon oben bemerkt, sehr eng miteinander verbunden. In Trockengebieten trifft dies nicht nur bez. der Verbindung bestimmter Böden und Pflanzengemeinschaften zu, sondern noch allgemeiner für die *Schutzwirkung*, die die ober- und unterirdischen Pflanzenteile dem Boden gewähren. Die wenigen Pflanzen an der Grenze der Kernwüste zur Rand- und Halbwüste zeigen ein sehr tiefes Wurzelgeflecht. Zwar stehen die Gräser nur horstweise in weiterem Abstand voneinander, aber ihre Wurzeln berühren sich oft und geben den Böden dadurch einen merklichen Halt gegen Erosion durch Wasser und Wind. Fliegender Sand kann oft durch wenige Grasbüschel oder einzelne Sträucher aufgehalten werden.

Es ist verständlich, daß eine Verletzung der Vegetationsdecke in solchen *Grenzgebieten* der Vegetations- und Bodenbildung, wie sie verbreitet in SWA vorkommen, — sei es von Natur aus oder durch lange Dürre (z. B. in den Jahren nach 1958) oder durch Überweidung — Vegetation und Böden in ihrer Existenz sehr schwer bedroht. Es sei hier bereits auf die Ausführungen in [6] verwiesen.

## 16 Der allgemeine Einfluß des Reliefs auf die Bodenbildung in SWA

Als letzter der Umweltfaktoren sei das Relief besprochen. Seine Wirkung ist oft beträchtlich größer als in humiden Gebieten, und zwar aus folgenden Ursachen:

a) In Trockengebieten bietet die oft schütterere Vegetation [15] dem hangablaufenden Niederschlagswasser auch im Hinblick auf die größere Dichte der Regengüsse [121] weniger Widerstand als in humiden Gebieten. Die Schnelligkeit des Wasserablaufs hangab ist daher bei gleicher Hangneigung größer als in Feuchtgebieten, wodurch auch die Transportkraft für mitgerissenes Bodenmaterial im Falle der Erosion im Durchschnitt sehr erheblich größer wird.

b) Stark peptisierte (d. h. feinst verteilte, überwiegend kolloid gelöste) Natriumhumate und Natriumtonminerale, die in ariden Gebieten leicht entstehen, werden durch den oben genannten schnellen Transport selbst in ganz flache Senken gespült (zusammen mit echt gelösten Salzen), so daß sich eine sehr deutliche Stoffsonderung ergibt: innerhalb der Senken treffen wir mit ganz scharfer Grenze durch Huminstoffe dunkelgefärbte Feinteile und Salze, während außerhalb der Senken helle Böden zu finden sind. Besonders im Norden von SWA, wo die Böden einen relativ stärkeren Humusgehalt aufweisen, trifft man unzählige solcher dicht nebeneinanderliegende, durch Reliefwirkung getrennte, sehr verschiedene Böden.

### 161 Landschaft und Relief in SWA

SWA gibt die Möglichkeit einer Reliefwirkung auf Bodenentstehung und Bodenverteilung in allen Formen, denn sowohl steile wie flache Hänge von ganz verschiedenen Höhendifferenzen, weite Ebenen mit nur Mikroreliefformen, Tafelberge mit flachen Hochebenen, Inselberge (Abb. 1.12) und unzählige Granitkuppen, die sehr steil aus den sandig-steinigen Ebenen herausragen, sind in zahlreichen Varianten zu finden. Große weite Ebenen mit nur Mikroreliefformen finden wir besonders im Norden und Osten, Inselberglandschaften vorwiegend in der Mitte des Landes (Herero-Land), hier aber auch ausgedehnte Hochländer (Khomashochland). Tafelberge treten im Süden auf und vereinzelt auch im Kaokoveld im Nordwesten von SWA. Die höchsten Erhebungen des Landes reichen bis 2600 m (Brandberg), markante Bergmassive sind noch das Naukluft-Gebirge und die südlich daran anschließenden Bergländer: die Tsarisberge und die Tirasberge, ferner die Quarzithorste der Großen Karasberge im Südosten des Landes. An diesen steilen Hängen finden wir stark steindurch-

setzte Böden mit nur geringer echter Bodenbildung, besonders in deren Mittel- und Oberhängen. In den Tälern ist auch hier feineres Bodenmaterial angehäuft.

## 162 Bodencatenen und Bodenkomplexe in SWA

Wie oben erläutert, hängen Relief und Böden, besonders in subtropischen und tropischen Gebieten, eng miteinander zusammen. Dies hatten schon vor Jahrzehnten *Milne* (23) in Ostafrika und später auch *Vageler* (33) erkannt. Auch in SWA sind die einzelnen Böden oft sehr deutlich in einer vom Gelände-relief abhängigen Weise verteilt. Man nennt nach dem Vorschlag von *Milne* und *Vageler* die gesetzmäßige Abfolge der Böden vom Erosionsscheitel bis zur Sohle (Tal, Mulde) eine Bodenkette oder *Bodencatena*. Neben den größeren ausgedehnteren Catenen an längeren Hängen gibt es auch gewisse „Kleincatenen“ von meist nur zwei Bodentypen, die sich regelmäßig, in sehr häufiger Wiederholung reliefbedingt zusammenfinden, so die oben genannten Böden in kleinen Mulden und in deren Umgebung. Dieses regelmäßige Zusammentreffen nennt man einen *Bodenkomplex*. Solche Bodenkomplexe sind in SWA, verschieden je nach Relief und Landschaft und meist gebunden an größere Ebenen mit flachen, begrenzten Senken, sehr häufig zu finden. Nach der Besprechung der Intrazonalen Böden müssen wir noch einmal auf Bodencatenen und Bodenkomplexe zurückkommen [34].

## 17 Schlußbetrachtung und Folgerungen

In einer modern ausgerichteten Bodenkunde darf man die Böden nicht allein nach ihrer Materialzusammenstellung betrachten. Ergänzend hierzu ist stets noch die Analyse ihrer Bildungsbedingungen und Entwicklung nötig. Diese Forderung ergibt sich aus dem oben [1] geschilderten engen Zusammenhang zwischen den Kräften, Energien und Stoffen, die in den jeweiligen Landschaften bodenbildend wirken. Weil aber Bildung und Erhaltung und daher auch Dynamik der Böden so sehr von den Umweltfaktoren und damit von der gesamten geographischen Situation abhängig sind, ist es berechtigt, diesen nur *scheinbar* außerhalb des Bodens liegenden Faktoren im Rahmen der Wissenschaft vom Boden dennoch einen besonderen Wert beizumessen. Und weil in voller Abhängigkeit von dieser geographischen Situation in den Böden immer wieder Neubildung, Verlagerung und Zerstörung wichtiger reaktionsfähiger Bodenteile bei einem äußerlich gesehen quasi-stationärem Zustand des Bodens

ablaufen, ist weniger das „Sein“ als das „Werden“ bzw. „Vergehen“ der Böden ein Hauptproblem der Bodenkunde.

Wie überall in den Naturwissenschaften, so verdrängt daher auch in der Bodenkunde die dynamische Betrachtung die statische. Dies gilt nicht nur für wissenschaftliche Erforschung des Bodens, sondern auch für bodenkulturelle Maßnahmen: zu leicht war man bisher geneigt, die in den Böden unserer humiden Gebiete gemachten Erfolge mit bestimmten Düngungen, Bewässerungen usw. auch auf warm-aride Gebiete zu übertragen und die völlig andere Dynamik der Böden der Trockengebiete zu vergessen [6].

Deshalb war in erster Linie die Analyse der klimatischen Eigenart von SWA als Grundvoraussetzung der Bodenbildung erforderlich. Selbstverständlich werden auch die anderen Faktoren in ihrer bodenbildenden Eigenart gewürdigt. Aber auch diese sind, wie dargelegt, mittelbar oder unmittelbar von den besonderen klimatischen Voraussetzungen in SWA abhängig, – so z. B. die Entstehungen von Kalkkrusten auch auf a priori kalkfreien Schiefen [21] oder von Salzablagerungen bei oberflächennahem Grundwasser.

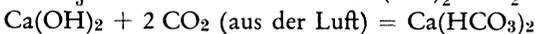
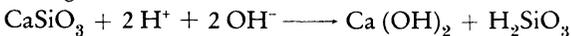


## 2 GRUNDSATZLICHES ZUR BODENBILDUNG IN WARM-ARIDEN GEBIETEN

Die Böden in warm-ariden Gebieten unterscheiden sich von denen der Feuchtgebiete nicht nur nach den geographischen Voraussetzungen ihrer Entstehung, sondern auch nach ihrer Zusammensetzung. Die folgenden Abschnitte sollen den unterschiedlichen Chemismus dieser Prozesse begründen, soweit dies zum Verständnis der Gesteinsverwitterung und Bodenbildung in SWA erforderlich ist.

### 21 Die Gesteinsverwitterung in ariden Gebieten als eine Vorstufe der Bodenbildung

Bereits oben [133] haben wir ein Hauptkennzeichen arider Gesteinsverwitterung vermerkt: die Bildung mächtiger Kalkrinden auf vielen Gesteinen, die in SWA besonders in den stärker ariden Teilen auftritt und oft auch dort, wo das unverwitterte Gestein nicht karbonathaltig ist. Dies ist einer der auffallendsten Prozesse der Verwitterung in SWA und in anderen ariden Gebieten, der auch von anderen Autoren geschildert wird (1, 2, 3, 4, 28, 38). Am Abschnitt [142] wurde bereits die Entstehung von festen Kalkbänken durch Ausscheidung von unlöslichem  $\text{CaCO}_3$  aus aufsteigendem  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ -haltigem Grundwasser genannt. Bei den oben genannten Kalkkrusten auf den Gesteinen ist die Entstehung jedoch anders: infolge Hydrolyse (d. h. der Einwirkung der Ionen des Wassers) der kalzium-aluminium-silikathaltigen Gesteine läuft folgender, vereinfacht dargestellter Prozeß ab:



wobei das  $\text{CaCO}_3$  nach geringer Verlagerungsstrecke ausfällt. Die Hydrolyse wirkt hier natürlich nicht augenblicklich wie in einer echten Lösung, sondern

wegen der festen Gitterstruktur der Silikate, nur allmählich, Schicht nach Schicht angreifend. Während in humiden Klimaten das gebildete  $\text{CaCO}_3$  wegen der stärkeren Bodendurchfeuchtung stets wieder aufgelöst und in den Untergrund ausgewaschen wird, verblieb es im ariden Klima SWA's an Ort und Stelle und führte in geologischen Zeiträumen — und führt auch noch heute zu festen Kalkkrusten auf den Gesteinen bzw. zu noch losen Kalkkonkretionen in den Böden selbst. Beispiele dieser Art finden sich in SWA daher außerordentlich reichlich; hier nur eine geringe Auswahl:



Abb. 2.2. Blick von der Farm Steinfeld (85 km westlich von Maltahöhe) gegen die Tsaris-Berge. Die breite Talaue ist in für SWA kennzeichnender Weise mit verkalkten Böden erfüllt. Einzelne Buschreihen deuten auf episodisches Wasser. Die Berghänge tragen steinhaltige, kalkfreie Halbwüstenböden

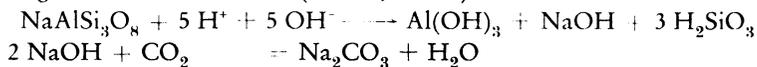
Im Gebiet von Karibib sind feste kalkfreie Gesteine häufig mit einer Kalkrinde umgeben. Westlich Okombahe finden sich weite verkalkte Flächen, besonders in Senken; sehr große Flächen dieser Art trifft man auch südlich der Etoscha-Pfanne, in kleinerem Umfang in einer Ebene westlich von Otavi, ferner an der Straße nach Kamanjab bei Kalkrand. Im Süden des Landes sind zu nennen: Umgebung von Kl. Aub im Rehobother Gebiet, Grootfonteiner Fläche im Bezirk Maltahöhe, Gelände zwischen Haribes und Mariental und an der Straße zwischen Mariental und der Gibeon-Reserve\*), ferner die Gebiete zwischen Keetmanshoop und Seeheim, südlich Seeheim, zwischen Seeheim und Sandverhaar, nordöstlich von Karasburg und westlich des genannten Ortes in der Bondelswart-Reserve\*). Im Kalaharigrenzgebiet trifft man harte Kalkbänke und Konkretionen — diese lose zwischen den Dünen (Abb. 2.1). Im Grenzgebiet zur Namib sind zu nennen: Steinfeld westlich der Tsarisberge (Abb. 2.2), desgl. die Umgebung von Usakos südlich der Chuosberge.

\*) Als Reserve (= Reservat) bezeichnet man in SWA Wohngebiete ortsansässiger Volksstämme (Hottentotten, Hereros, Klippkaffern usw.); das Betreten dieser Gebiete ist Weißen i. d. R. verboten.

Daß in Senken auch ohne erkennbares Grundwasser verwitterungsbedingte Krusten viel stärker auftreten als in den übrigen Geländeformen, liegt an der vorübergehend stärkeren „Grundfrische“ dieser Senken, in denen gelegentlich Regenwasser zusammenströmt und wieder verdunstet. Dieser vorübergehend höhere Wassergehalt fördert den Chemismus der  $\text{CaCO}_3$ -Bildung aus Silikaten. Das überwiegend verdunstende (nicht so sehr, wie in den humiden Gebieten, versickernde) Wasser führt dann zur Bildung der  $\text{CaCO}_3$ -Krusten an Ort und Stelle, bzw. der Konkretionen in Böden (s. o.). Bei zu geringer Feuchte (wie an Hängen) tritt dagegen die  $\text{CaCO}_3$ -Bildung mengenmäßig zurück oder fehlt ganz.

Interessant war in diesem Zusammenhang die Verwitterung eines Granitblocks in einem Trockenfluß am Südostrand des Kaokoveldes. Das gelegentlich abkommende Wasser mit seinem Kalkgehalt und die Verwitterung im Trockenklima hatten die ehemaligen Spalten und Klüfte des Gesteins in harte Kalkleisten überführt, das Gestein selbst war oberflächlich in eine lockere Masse von Kalk, Quarz und angewitterten Gesteinsresten verwandelt, über die die harten Kalkleisten nunmehr herausragten. In Gneisaufschlüssen beobachtet man gelegentlich eine metertief reichende Verkalkung einzelner Fugen im sonst unveränderten Gestein.

In entsprechender Weise wie Ca-Al-Silikate können durch Hydrolyse auch Na-Al-Silikate in Soda (Natriumkarbonat) und lose Gemenge anderer Neubildungen verwandelt werden (s. a. 29, S. 330):



Das alkalisch reagierende Natriumkarbonat bleibt wegen seiner Nichtauswaschung wirksam und kann wegen der alkalischen Reaktion seinerseits wieder zur Entstehung von ionaren silikatischen und aluminatischen Lösungen beitragen. Über eine andere Möglichkeit der Entstehung von  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  bei solonezartigen Böden s. [336]. Die freie Kieselsäure kann auch (durch Schutzkolloidwirkung?) unter solchen Bedingungen Fe- und Mn-Oxide löslich machen, die innerhalb des Gesteinszersatzes nach außen wandern, dort niedergeschlagen werden und feste rötliche und schwärzliche Rinden bilden, die, wie in allen Trockengebieten, so auch in SWA auftreten. Man kann gelegentlich beobachten, wie Schiefergesteine in diesem alkalischen Milieu zu einem losen Haufen von Soda, Kalk, Quarzsand und bräunlichen Sesquioxiden zerfallen waren.

In der Regel bleiben die Verwitterungsprodukte in arideren Klimaten wegen mangelhafter oder fehlender Auslaugung an Ort und Stelle oder werden nach nur geringer Verlagerung wieder ausgeschieden. Episodische oder periodische Regenfälle können allerdings gelegentlich Teile dieser Produkte wieder lösen oder mechanisch fortschlammern. Wegen des bald versiegenden Wasserstromes werden sie aber meist schnell wieder abgesetzt und nicht, wie in humiden Gebieten, „außer Landes“ gebracht. So erklären sich die weiten verkalkten und teilweise versalzten Talauen in SWA und anderen Trockengebieten, denn hier

versickern und verdunsten die episodischen und periodischen Regenwasserströme und scheiden dabei größtenteils die in ihnen gelösten Kalke und Salze oder das mechanisch suspendierte Material wieder ab. An den benachbarten Hängen hingegen, an denen das Regenwasser abläuft, werden daher, wie erwähnt, nur geringe Kalkmengen und sehr selten Natriumsalze abgeschieden.

Zusammenfassend ist festzustellen: die Gesteinsverwitterung führt auch in ariden Gebieten zu einer weitgehenden chemischen Umformung des Ausgangsmaterials — wenn wir von ganz extremen Kernwüsten absehen, in denen jegliches Wasser und daher jegliche chemische Wirkung fehlt. Besonders in semiariden Gebieten, in denen die heiße Zeit auch die Regenzeit umfaßt, ist die chemische Verwitterung infolge der Erhitzung der Gesteine örtlich sehr stark, aber zeitlich wegen des geringen Regenfalls begrenzt. Verwitterungsprodukte werden nicht weiter transportiert, bleiben sogar oft am Ort der Entstehung. Wegen fehlender Auslaugung tritt die Wegfuhr leicht löslicher, alkalisch reagierender Zersetzungsprodukte (Alkalikarbonate,  $\text{CaCO}_3$ ) zurück oder fehlt ganz. Infolgedessen ist der Reaktionsgrad (pH-Wert) nach der alkalischen Seite verschoben. Dies hat einen ganz anderen Lösungschemismus bezgl. Bildung von Silikat-Ionen, Kieselsäure, Aluminaten usw. zur Folge als in humiden Gebieten, wo oft nicht bloß größere Mengen an Zersetzungsprodukten entstehen können, sondern wo auch die Abfuhr der gebildeten Produkte viel stärker einsetzt und der pH-Wert i.d.R. weit niedriger liegt. Daher ist, im Gegensatz zu früheren Meinungen, die chemische Verwitterung im semiariden Gebiet ihrer Intensität nach nicht so sehr viel geringer als in gemäßigt-humiden Gebieten und tritt gegenüber der physikalischen Verwitterung nicht so stark zurück. Sie führt aber zu *anderen* Neubildungen und geringerer Wegfuhr. Die Bedeutung der chemischen Verwitterung in diesen Klimaten hat *Wilhelmy* in neuester Zeit ausdrücklich betont, besonders bezgl. der Hydratation und Salzverwitterung (42, S. 180 ff.).

## 22 Allgemeine Bodeneigenschaften in warm-ariden Gebieten

Nach der Klärung der Voraussetzungen und Vorstufen der Bodenbildung in SWA ergeben sich für die Böden zunächst folgende, ganz allgemein gültige Eigenschaften:

a) Wegen der meist gering deckenden Pflanzenbestände ist der *Humusgehalt* der Böden i.d.R. recht niedrig, nur in Senken und Talzügen mancher Gebiete im Norden von SWA etwas höher (Vleys, Omuramben), da hier oft fein dispergiertes humoses Material zusammengeschlämmt ist [331].

In kälter ariden Gebieten ist der Humusgehalt durchschnittlich höher. Dies ist auf das Aufhören biologischer Abbauprozesse im Humus durch die Winterkälte zurückzuführen, die in SWA fehlt. Wo in Trockengebieten die feuchte Zeit mit der kalten Zeit zusammenfällt, steht der folgenden Vegetationsperiode ein größerer Wasservorrat zur Verfügung, was zur Steigerung des Pflanzenertrages und zur Humusmehrung beitragen kann. In SWA hingegen fällt die Regenzeit mit der heißen Zeit zusammen. In ihr herrschen daher optimale Bedingungen für den oxydativen Abbau der organischen Substanz (Mineralisierung), so daß der Um- und Aufbau zu Huminstoffen aus organischer Substanz zurücktritt.

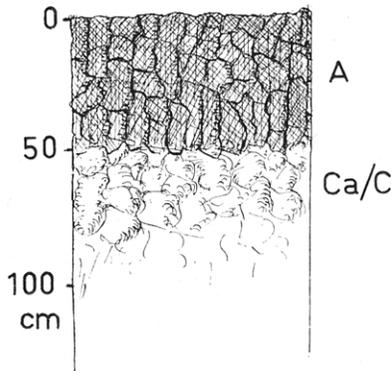


Abb. 2.3. Grauer Boden leichter Textur, sekundär „kalkifiziert“  
(d. h. von aufsteigenden Kalklösungen mit ausgeschiedenen  $\text{CaCO}_3$  durchsetzt), im  
Farmgebiet von Okosongomingo am Waterberg

A: krümelig-bröckelig, kalkhaltig, prismatische Struktur,  
Ca/C: weiße bis hellgraue Kalkausscheidungen, weiche, große Konkretionen, nach unten  
abnehmender Kalkgehalt

b) Wegen geringer *Durchfeuchtung* ist auch die Bodentiefe i.d.R. geringer als in humiden Klimagebieten.

c) Wegen *geringer* oder *fehlender Bodendurchwaschung* ist der Anteil an wasserlöslichen Stoffen (z. B. Natriumsalzen) auch außerhalb der eigentlichen Salzböden [336] erheblich höher als in Böden humider Gebiete, in denen ein merklicher Salzanteil praktisch fehlt. Der gesamte wasserlösliche Anteil in Böden humider Gebiete Mitteleuropas beträgt unter vergleichbaren Bedingungen etwa nur die Hälfte bis ein Drittel gegenüber dem der Böden SWA's.

d) Aufsteigende Lösungen aus Grundwasserhorizonten können örtlich den Gehalt der Böden an schwerer oder leichter löslichen Stoffen, die aus solchen

Lösungen ausgefällt werden, sehr erheblich steigern (Abb. 2.3). Aus dem Wasser der Trockenflüsse, das „kapillar“ aufsteigt, kann ggf. Kalziumhydrogenkarbonat ( $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ ) in die Böden der Uferregion gelangen. Nach Ausfällung des  $\text{CaCO}_3$  kommt es dann zu einer Bodenverdrängung, weil Bodenteile, Gesteinstrümmen und Sand zu einer silikatischen Breccie mit Kalkzement verkittet werden. Dies kann man z. B. am Ufer von Trockenflüssen im Gebiet von Omaruru und im Naukluftgebirge beobachten.

e) Das häufige Verbleiben von Erdalkali- und Alkalikarbonaten an Ort und Stelle ruft nicht nur in der Verwitterungszone der Gesteine (s. o.), sondern auch im Boden eine oft merklich alkalische Reaktion hervor (pH-Wert über 7). Nur in Gebieten von SWA mit relativ stärkeren Niederschlägen und im rein quarzsandigen Material, in welchem keine alkalierzeugenden Verwitterungsprozesse ablaufen können, sind pH-Werte unter 7 zu verzeichnen, so z. B. im Sandfeld (Abb. 3.4).

f) In ariden Gebieten gibt es wegen des überwiegend herrschenden Wassermangels fast stets konzentrierte *Bodenlösungen*.

Hierunter versteht man die im Boden zirkulierenden Wassermengen aus atmosphärischen Niederschlägen, die kleine Mengen an Säuren, Ammoniak u. a. mitbringen und aus dem Boden einzelne organische und anorganische Teile (Huminstoffe, Kieselsäure u. a.) herauslösen. Diese Bodenlösungen enthalten auch Kationen wie  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$  usw. aus verwitterten Gesteinsteilen.

Aus diesen konzentrierten Lösungen lagern sich die einwertigen Kationen, vorherrschend  $\text{Na}^+$ , an die reaktionsfähigen, austauschenden Bodenteile (Tonminerale, Huminstoffe, gemengte Gele u. a.) bevorzugt an und verdrängen dafür ganz oder teilweise zweiwertige Kationen ( $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$ ), so daß mehr oder weniger Na-haltige Böden entstehen (20, S. 77). Die große Bedeutung dieser Prozesse muß später noch ausführlicher behandelt werden [336, 5221].

Hierzu kommt noch, daß infolge der geringen Niederschlagsmengen oft nur die leichter zersetzlichen Na-haltigen primären Silikate angegriffen werden unter Freisetzung von Na-Ionen. Dies führt dann zur Bildung von Soda ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) und Anlagerung von  $\text{Na}^+$  an die reaktionsfähigen Bodenteile. Die Ca-haltigen Primärsilikate werden zunächst geringfügiger zersetzt.

g) In kühler-ariden Gebieten, wie z. B. den Trockengebieten mit Halbwüstenböden der westlichen USA oder der UdSSR kann nach der Schneeschmelze eine erheblich stärkere periodische Durchspülung der Böden erfolgen als in SWA, wo, wie oben dargelegt, heiße Zeit und Regenzeit zusammenfallen. Dadurch kommt es innerhalb des Bodenprofils in kühler-trockenen Gebieten oft zu einer viel stärkeren Durchschlammung der oben genannten, stärker mit Na gesättigten, hochpeptisierten, reaktionsfähigen Bodenteile als in SWA. Dies führt zu einer Verarmung der Oberkrume und Verdichtung des Bodenunter-

grundes, welchen Prozeß man als „Solonezierung“ oder „Solonzierung“ bezeichnet. In SWA kann man diese Prozesse nur vereinzelt, dabei oft abgewandelt und in schwächerem Ausmaß beobachten (s. später [336]).

### 23 Die Stellung der Böden im ariden SWA zu denen Gesamtafrikas

Nach der allgemeinen Schilderung der Böden warm-arider Klimate soll noch ein kurzer Überblick der oft fast spiegelbildartigen Zonierung der Böden des gesamten afrikanischen Kontinents folgen, womit sich auch die Eingliederung der Böden SWA's in die des gesamten Kontinents ergibt.

Die geographische Bodenkunde verdankt *Kubiena* ein Schema der Zonierung der Böden Afrikas (16, S. 56). Dieses Schema ist in Übersicht 2.1 mit geringfügigen Änderungen wiedergegeben: Im Norden Afrikas kommen Böden der sommertrockenen Klimate (Cs nach Köppen) vor; es folgen nach S Gebiete u. a. mit Böden der „Tirsifizierung“ (16, S. 55), zu denen auch der in [331] beschriebene Graue Boden schwerer Textur gehört. Diese Region wird von einer Wüstenzone mit „Rohböden“ abgelöst, unter der dann wechselfeuchte Gebiete mit Böden der Rubefizierung und auch wieder der Tirsifizierung folgen. In der Äquatorzone (6° n.Br.—6° s.B.) trifft man die an Dauerfeuchte gebundene Braunlehm bildung mit Laterisierung, aber ohne Tirse und Rotlehme (16, S. 52 ff.). Südlich des Äquators gelangt man wieder in wechselfeuchte Gebiete (6—20° S), in denen Tirsifizierung und Rubefizierung stärker hervortreten. Das gleiche gilt für die nächstsüdliche Zone (20—33° s.Br.), in der die Laterisierung völlig fehlt. In diese beiden letztgenannten Gebiete fällt breitengradmäßig auch SWA. Tatsächlich finden wir im NO-Teil SWA's etwa zwischen dem 18. und 22. Grad südl. Breite entsprechend dem Schema Kubienas örtlich tirsifizierte Böden. Diese fehlen aber im südlich und westlich anschließenden Gebiet. Ebenso fehlt innerhalb der angegebenen Grenzen jede Bildung rezenter tropischer Rotlehme, da sämtliche Rotlehme und anderen rötlichen Bildungen fossilen Ursprungs sind und damit auf eine vergangene wechselfeuchtere Zeit [337] hindeuten. In SWA herrscht im Gegensatz zum weiter östlich liegenden Teil Afrikas, auf den das Schema sich bezieht, ein sehr trockenes Klima, bedingt durch den kalten Benguela-Strom [122]. Die Trockenheit des überwiegenden Teils von SWA stört also die oben genannte, oft fast spiegelbildartige Bodenzonierung. Dafür herrschen die im obigen *Kubienas* Schema für das Gebiet der Sahara genannten „Rohböden der Trockenwüste“ im westlichen Teil unseres Untersuchungsgebietes vor.

Geogr. Breite	Hauptprozesse der Bodenbildung	Klimatē (nach Köppen)
	Bildung von meridionalen Braunerden, teilweise mit Übergängen zu Braunlehm. Rubefizierung auf eisenreichen Silikatgesteinen ohne Laterisierung. Typische Tirsifizierung	Cs-Klima (Sommer trocken, spärliche Winterregen).
—35°	Bildung von Rohböden der Trockenwüste. Keine Tirsifizierung. Keine Humushorizontbildung	BW (immer trockener Wüstengürtel).
—15°	Bildung von tropischen Rotlehm. Rubefizierung mit und ohne Laterisierung. Typische Tirsifizierung im Mittelteil, weniger typische Tirsifizierung in den Randteilen des Rotlehm gürtels	BS-AW (tropisch-winter trocken, 3—5 Monate).
— 6°	Vorwiegend Bildung von typischen Braunlehm mit und ohne Laterisierung. Beste Ausbildung von lateritischen Bildungen;	Af (tropisch immerfeucht).
Äquator		
— 6°	keine Rubefizierung, keine Tirsifizierung	Af
	Vorwiegend Bildung von tropischen Rotlehm auf genügend eisenreichen Ausgangsgesteinen. Rubefizierung mit und ohne Laterisierung. Tirsifizierung.	AW-BS (tropisch-winter trocken, 2—3 Monate).
—20°	Vorwiegend Bildung von subtropischen Rotlehm. Rubefizierung ohne eigentliche Laterisierung. Typische Tirsifizierung.	BS (tropisch winter trocken, winter mild).
—33°	Meridionale bis leicht rubefizierte meridionale Braunerden (Xerobraunerden). Auf besonders eisenreichen Silikaten subtropische Rotlehme. Tirsifizierung. In höheren Lagen mitteleuropäische Braunerden, auf sauren, nährstoffarmen Muttergesteinen Semipodsole und Podsole.	Cs (winter mild, Regen im Winter).

Übersicht 2.1. Schema des planetarischen Formenwandels der terrestrischen Böden Afrikas auf Silikatgesteinen nach *W. L. Kubiens* (16), etwas geändert. Die durch die Breitengrade bezeichneten Zonengrenzen beziehen sich auf eine Linie, die von Algier über Fort Lamy, Stanleyville, Johannesburg nach Kapstadt verläuft

Diese besonderen klimatischen Bedingungen SWA's verschieben also die Bodendynamik nach der ariden Seite, und zwar so stark, daß sogar die Bodenbildung in einzelnen Wüstengebieten infolge Trockenheit völlig fehlt [41]. Die Zahl der Bodentypen ist weiterhin wegen des Ausfalls der rezenten Böden der Rubefizierung geringer als in den östlich anschließenden, feuchteren und durch das *Kubienasche* Schema gekennzeichneten Gebieten. Auch die Böden der Tirsifizierung treten flächenmäßig stark zurück.

Die *einzelnen Hauptbodentypen in SWA*, deren Form trotz der genannten Einschränkungen noch recht mannigfaltig ist, sind jetzt im folgenden Teil [3] zu besprechen.



### 3 DIE EINZELNEN HAUPTBODENTYPEN IN SWA

Nach den Ausführungen in [1] und [2] ist es verständlich, daß in SWA je nach Konstellation der verschiedenen Umweltfaktoren auch recht verschiedene Böden zu erwarten sind. Zunächst seien hier die überwiegend durch die besonderen klimatischen Voraussetzungen bedingten oder *Zonalen Böden* behandelt. Weiterhin folgen dann die sog. „Intrazonalen“ Böden, die aber, wie oben [17] kurz dargelegt, ebenfalls unmittelbar oder mittelbar klimatisch beeinflußt sein können.

#### 31 Die überwiegend klimabedingten „Zonalen Bodentypen“ (Übersicht 3.1)<sup>1)</sup>

Je nach Niederschlagshöhe findet man in SWA – genau wie in anderen Gebieten – unter etwa sonst gleichen Umweltfaktoren verschiedene Böden, die sich nicht nur durch ihre Horizontbildungen, sondern auch noch durch analytische und andere Merkmale unterscheiden. Auffallend ist hierbei aber die oft undeutliche Struktur und Profilierung vieler dieser Zonalen Böden. Die Böden der Trockengebiete in den USA und auch der UdSSR zeigen nach den dortigen Untersuchungen eine meist deutlichere Profilierung. Dies ist möglicherweise auf den schon unter [22] genannten, meist geringeren Humusgehalt der Böden SWA's zurückzuführen. In den oben genannten kühlertrockenen Gebieten herrschen ferner vielfach tiefgründigere Böden aus Löß, also einem lockeren, leicht zu Böden umformbaren Ausgangsmaterial vor, während hier überwiegend Böden aus gröberen Schuttmassen und aus gewachsenem festem Gestein verbreitet sind. Eine genauere Beobachtung läßt aber auch in SWA oft eine typische Bodenhorizontierung erkennen. Sie wird jedoch bei den Intrazonalen Böden viel deutlicher, wo stärker humusgefärbte, ferner auch tonige, salzige,

<sup>1)</sup> Analysen einzelner Böden s. auch bei *Walter* (37).

Ort der Entnahme	Hor.	pH in H <sub>2</sub> O	CaCO <sub>3</sub> ‰	Humus ‰	N <sub>t</sub> ‰	C:N
<i>Trockenwaldböden</i>						
Eisenberg (Otavi)	A	6,6	0,0	1,0	0,06	10,5
Kurawato-Mine (Tsumeb)	A	7,5	0,0	2,0	0,10	12,3
Farm Heidelberg (Tsumeb)	A	7,1	0,0	2,0	0,13	8,8
Farm Heidelberg (Tsumeb)	A/B	7,3	0,0	0,5	0,03	10,0
Farm Nassau (Otjiwarongo)	A	7,3	0,0	1,7	0,08	11,9
<i>Braune Böden der Halbwüste</i>						
Abbabis (Karibib)	A	7,1	0,0	1,2	0,08	8,8
Klippenberg (Karibib)	A	7,4	0,0	0,6	0,04	9,0
Hohenau (östl. Windhoek)	A	6,6	0,0	1,4	0,07	11,6
Okongue (Omaruru)	A	6,9	0,0	1,4	0,07	11,4
Okongue (Omaruru)	A	7,9	3,1	0,9	0,05	11,0
Okongue (Omaruru)	B	6,5	0,0	0,6	0,03	12,0
Farm Franken (Kamanjab)	A	7,4	0,0	1,7	0,09	10,5
Farm Franken (Kamanjab)	A/B	7,0	0,0	1,2	0,06	10,9
Duwisib (Maltahöhe)	A	6,6	0,0	0,9	0,04	13,0
Gelwater (Gibeon)	A	7,5	0,0	0,5	0,03	9,0
Khomashochland (westl. Windhoek)	A	6,6	0,0	1,1	0,07	9,4
Nomtsas (Maltahöhe)	A	8,1	0,7	0,9	0,06	8,0
<i>Graue Böden der Halbwüste</i>						
Okombahe (Omaruru)	A	6,4	0,0	0,8	0,05	9,0
Okombahe (Omaruru)	A	7,8	13,8	1,0	0,06	10,0
Karibib	A	7,5	0,0	2,0	0,11	10,3
Karibib	A/B	7,2	0,0	0,6	0,03	10,0
<i>Wüstenböden</i>						
Kosis (Bethanien)	A	7,9	15,7	1,0	0,04	13,0
Sandverhaar (östl. Aus)	A	7,6	0,0	0,4	0,03	9,0
Bondelswart-Reservat bei	A	8,5	1,1	0,4	0,02	12,0
Karasburg	B	8,4	2,7	0,3	0,02	13,0
Signalberg (Grünau)	A	7,1	0,0	1,4	0,06	14,0
Nordenburg (südlich Chuosberge)	A	8,1	0,0	1,5	0,11	8,0

Übersicht 3.1. Analytische Daten  
aus der Oberkrume einiger typischer Zonaler Böden in SWA. (nach Ganssen u. Moll (9)  
S. 20 f.;

kalkige und gipshaltige Bodenhorizonte oft auch okular ohne Bodenanalyse zu erkennen sind.

### 311 Die Trockenwaldböden

Trockenwälder [15] findet man nur im relativ regenreichen Nordosten des Landes unter etwa 450–600 mm Niederschlagshöhe etwa nördlich der Linie Südufer Etoschafpanne, Otavi, Waterberg einschließlich, mit standörtlich bedingten Abwandlungen. Ihnen zugeordnet sind, auf silikatischen und stärker quarzhaltigen Gesteinen und Lockermassen bisher noch wenig definierte Bodentypen, die hier vorläufig als Trockenwaldböden bezeichnet werden (Abb. 3.1, Bodenkarte). Sie zeigen folgende Eigenschaften: einen schwach humosen, grauen oder graubraunen A-Horizont (Oberboden), unter dem mit unscharfem Übergang ein rötlichbrauner B-Horizont (Unterboden) folgt. Er geht nach unten in etwa 50–70 cm Tiefe in das Ausgangsmaterial über — entweder feste Schiefer, Gneise oder Lockermassen, wie z. B. Dünen bei Tsumeb. Viele Lockermassen zeigen durch ihre rötliche Eisenoxidfarbe an, daß sie bereits einen Verwitterungsprozeß in einem warmen, aber wechselfeuchteren Klima, als es heute herrscht, durchgemacht haben. Die Böden zeigen fast als einzige in SWA (wenn wir von den Böden aus rein quarzitischen Sanden absehen) eine gewisse Auswaschung: ihr pH-Wert ist schwach sauer-neutral (etwa 6–7), eine Karbonatausscheidung in Form einer Neubildung als Kalkkruste oder Kalkkonkretion (wie in vielen trockeneren Böden) findet hier in der Regel nicht statt. Beispiele solcher Böden wurden gefunden im Otavital (aus dunkelgraugrünen, karbonatfreien Schiefen) mit folgendem Profil (Abb. 1a der Farbtafel):

- A-Hor. 0—25 cm grau bis leicht grünlich grau-humos, grusig, runde Quarzitzerölle und Schieferbruchstücke, wenig krümelig, Wurzeln. pH etwa 7  
B-Hor. 25—75 cm schärfer als sonst gegen A abgesetzt, rötlichbraun, ohne  $\text{CaCO}_3$ , dichter als A, viel Gerölle und Grus, wenig strukturiert, pH etwa 7  
C-Hor. unscharf gegen B abgesetzt — bröckeliger, kalkfreier hellgrünlich-grauer Schiefer

Ähnliche Profile mit etwa gleichen Reaktionszahlen fanden sich im Bergland südwestlich von Tsumeb (Abb. 4.3) unter Gras und Trockenwald, teilweise mit stärkeren A-Horizonten und ausnahmsweise unbedeutend karbonathaltigen Verwitterungsrinden auch aus nicht karbonathaltigen Gesteinen.

In der Übersicht 3.1 finden wir einige Analysendaten von Böden der Trockenwaldregion angegeben. Die pH-Zahlen schwanken um den Neutralpunkt 7,  $\text{CaCO}_3$  ist nirgends vorhanden, der Humusgehalt liegt maximal etwa bei 2%, ist also etwa ein Viertel bis ein Drittel so groß wie in Braunerden Mitteleuropas unter Wald auf gleichen silikatischen Gesteinen. Das Verhältnis orga-

nisch gebundener Kohlenstoff zu Gesamtstickstoff (C:N) beträgt hier wie in anderen Böden SWA's etwa 10–11. Seine Schwankungen bei den einzelnen Bodentypen sind weit geringer als in Böden Mitteleuropas, wo diese Verhältniszahl sich zwischen 8 (bei Steppenschwarzerden) und etwa 28 (bei Hochmoorböden und Podsolen) bewegen kann.

### 312 Die Böden der Baumsavannen und die Braunen und Grauen Böden der Halbwüsten und trockneren Buschsavannen

Von den Trockenwäldern sind die trockneren Buschsavannen und Halbwüsten durch einen breiteren Übergangsgürtel von Baumsavannen getrennt, der sich, je nach Standort (Hanglage, Gestein usw.) mit den beiden vorgenannten Vegetationsformen weitgehend verzahnt, so daß es sehr schwer ist, zwischen beiden Vegetationsformen und den von diesen bedingten Böden eine Grenzlinie zu ziehen – selbst wenn man zunächst nur die Vegetationsformen und Zonalen Böden auf silikatischen und quarzitisch-silikatischen Gesteinen betrachtet. Die Böden der Baumsavannen schließen sich, ganz grob gesehen, im allgemeinen südlich und südwestlich an die Trockenwaldböden an. Sie bilden einen breiten Streifen bis zu einer Linie, die von Otjikondo im Norden über Kalkfeld, Okahandja nach Windhoek und von hier in etwa östlicher Richtung verläuft. Südlich und westlich dieser Linie wiederum folgen die Braunen und Grauen Böden der Halbwüsten (bzw. trockneren Buschsavannen), wobei auch hier die Grenzlinie sehr unscharf ist.

3121 *Böden der Baumsavannen.* Auch diese Böden sind in Abgrenzung und Eigenart wenig bestimmt. Sie treten etwa zwischen 300 und 500 mm Niederschlag im Jahresmittel auf. Die Vegetation ist viel lichter als im Trockenwald, entsprechend ist auch der Humusgehalt der Böden im allgemeinen geringer und die Humusfärbung schwächer. Auch hier zeigen die Böden aus nichtkarbonatischen Gesteinen nur selten Neubildungen von  $\text{CaCO}_3$ . Der A-Horizont der Baumsavannenböden zeigt schon eine reinbraunere hellere Färbung als der der Trockenwaldböden. Im B-Horizont ist oft noch eine etwas rötlichbraunere Färbung angedeutet, so z. B. in vielen Böden östlich Windhoek. Auch das silikatische Ausgangsmaterial zeigt noch vielfach infolge früherer Verwitterungsprozesse in feuchterem Klima ähnlich wie bei den Trockenwaldböden eine rötliche Farbe. Dies beeinflusst auch zuweilen die Färbung des Oberbodens.

3122 *Braune und Graue Böden der Halbwüsten* (bzw. entsprechende Böden unter trockneren Buschsavannen). Böden der Halbwüsten finden sich in allen

ariden Gebieten der Erde. Sie sind zuerst von den alten russischen Bodenkundlern beschrieben worden als Böden der Wüstensteppen des südöstlichen Europas und Mittelasien. Später fand man ähnliche Böden in den arideren Teilen Nordamerikas. Sie liegen auch hier zwischen den Kastanienbraunen Böden der Kurzgrassteppen und den eigentlichen Wüstenböden streng arider Gebiete. In SWA nehmen die ihnen entsprechenden Braunen und Grauen Böden unter trockeneren Buschsavannen mit einzelnen Büschen und Bäumen (*Acacia*-Arten u. a., s. [151]) sehr große Flächen in den mittleren und z. T. östlichen Teilen ein, in denen ein Niederschlag von etwa 150–300 mm fällt. Sie gleichen in ihren Eigenschaften im großen und ganzen den aus den kühleren Gebieten bekannten Halbwüstenböden, weswegen hier auch der Name „Graue und Braune Halbwüstenböden“ beibehalten ist, zeigen aber zumeist eine geringere Humusfärbung [22]. Die Halbwüstenböden kann man auch hier in Braune und Graue untergliedern, wobei die Braunen nach den bisherigen Erkundungen erheblich größere Flächen einnehmen. Im allgemeinen sind die Halbwüsten- und Wüstenböden SWA's von ariderem Charakter als die klassischen Halbwüstenböden der Nordhalbkugel der Erde, weil in SWA die heiße Zeit und Regenzeit zusammenfallen; auch während der Regenzeit wird dadurch der Boden infolge

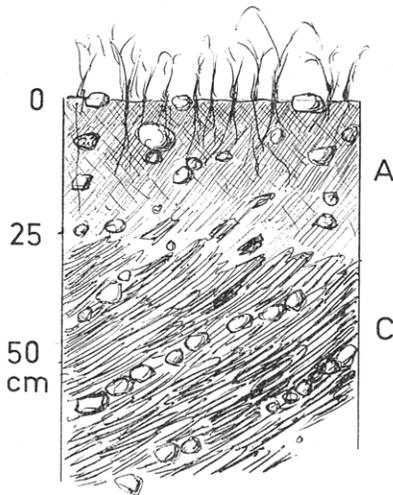


Abb. 3.2. Profil eines Braunen Halbwüstenbodens, relativ frischere Variante, nahe am Reiterdenkmal in Windhoek unter Gras aus kristallinem Schiefer mit Quarzitlagen  
 A: 25–35 cm Braungelb, locker, bröckelig, nur örtlich  $\text{CaCO}_3$ , viele Quarzgerölle  
 C: Mürber Schiefer, Quarzitschnüre, oben graubraun, nach unten in dunkleres, härteres Gesteinsmaterial übergehend

Erhitzung (neben der Unregelmäßigkeit der Niederschläge) nur gelegentlich und unvollkommen durchfeuchtet, s. a. [121].

Bei der braunen Variante ist der Oberboden ziemlich rein lichtbraun bis braungelb, im Gegensatz zu unseren heimischen Mitteleuropäischen Braunerden mit ihrer mehr schmutzig graubraunen Färbung. Oft ist der Unterboden leicht rötlichbraun verfärbt, doch fehlt diese Eigenschaft in vielen Fällen, besonders unter mehr steppenähnlichen, dichter begrastem, baumärmeren Vegetationsgemeinschaften. Die Bodenreaktion ist überwiegend neutral bis ganz schwach alkalisch. Kalziumkarbonat kann sich in diesen Böden häufiger als in den Böden der Baumsavannen neu bilden. Kennzeichnende Braune Böden der Halbwüste der relativ frischeren Variante an der Grenze zu den Savannenböden findet man z. B. in Windhoek am Reiterdenkmal aufgeschlossen (Abb. 3.2), typische Profile auch an der Straße zwischen Windhoek und Klein Windhoek unter Gras mit einzelnen Akazienbüschen; unter den Böden stehen Gneise mit viel quarzitischem Geröll an. Ähnliche Profile gibt es auch im Khomas-Hochland (westlich Windhoek, Abb. 3.3) und östlich Windhoek, meist sogar in situ aus festem Gestein. Auch im südöstlichen Grenzgebiet des Kaokoveldes trifft man Braune Halbwüstenböden. Ein typischer Brauner Halbwüstenboden unter Gras, Büschen und auf Granitsand nahe zum Übergangsbereich der Böden unter Baumsavannen war in der Gegend von Omaruru (Okongue) aufgeschlossen:

- A 0—30 cm wenig, aber noch deutlich erkennbar humos, graubraun, mäßig dicht,
- B 30—ca. 100 cm dichter, etwas rötlicher, prismatische Struktur, unten senkrechte Trockenrisse,  
darunter: loser Kies und Sand aus Granit

Viele Böden dieser Gruppe zeigen, sofern sie aus größerem, steinhaltigem Material bestehen, die Tendenz zur Bildung einer Steindecke, wie schon beim Profil am Reiterdenkmal in Windhoek beobachtet. Bei den echten Wüstenböden verstärkt sich diese Tendenz noch sehr erheblich.

Graue Böden der Halbwüste sind weniger verbreitet als Braune und mehr auf der trockenen Seite der Halbwüstenböden zu finden. Ihre Oberkrume ist deutlich grauer gefärbt, der Humusgehalt im Durchschnitt wahrscheinlich geringer. Meist sind  $\text{CaCO}_3$ -Neubildungen in ihnen vorhanden. Ein kennzeichnender Aufschluß ist in Karibib (180 mm Jahresniederschlag im Mittel) bei Dr. Bergers Haus zu finden:

- A 0—25 cm im Mittel, grau-graugelb, trocken, steinig, locker, sehr schwach humos, stark  $\text{CaCO}_3$ -haltig
- B 30—35 cm teilweise vorhandener Zwischenhorizont von gelblicher Farbe heller als A, viel Kalk
- Ca 35—45 cm mürbe, helle Kalkadern im silikatischen Gestein, unten fester. Schieferung des Ausgangsmaterials noch deutlich
- C graue kalkfreie Schiefer mit schmalen Kalkadern.

Weitere Fundstellen: bei Okombahe aus stark verkalkten Graniten, östlich des Gans-Berges im westlichen Bastardland, bei Nomtsas (Distr. Maltahöhe), zwischen Naukluftgebirge und Tsarisbergen sowie in den weiten Ebenen zwischen Mariental und der Gibeon- und Tses-Reserwe.

Zum Schluß sei noch auf einige analytische Daten einzelner Brauner und Grauer Böden der Halbwüste hingewiesen (Übersicht 3.1). Die pH-Zahlen sind im Mittel etwas höher als bei den Trockenwaldböden (Abb. 3.4). Bei manchen Böden finden wir  $\text{CaCO}_3$  in geringeren Prozentzahlen. Die Humuswerte sind geringer als bei den Trockenwaldböden und bewegen sich um 1 0/0. Sie sind etwas niedriger als die Humuswerte der Grauen und Braunen Halbwüstenböden anderer Erdteile.

### 313 Die Wüstenböden

In den extremen Wüsten, so etwa in SWA im Kern der Namib, wo es fast niemals regnet, kann man nicht von Böden im engeren Sinn sprechen [1, 15], sondern höchstens von bodenartigen Feinsedimenten [41]; auch diese entfallen dort, wo völlig vegetationslose Wanderdünen auftreten. Die Böden im Sinne der heutigen Bodenkunde reichen nur bis in die Randgebiete der Wüste. Man spricht in diesem Zusammenhang in der bodenkundlichen Literatur von „Wüstenböden“, wenn man die Böden der Randgebiete der Kernwüsten meint. Hier ist zwar die Dichte der Vegetation, wenn man von Jahren mit stärkeren Niederschlägen absieht, sehr gering und die oberirdischen Pflanzenteile verschwinden nach den meist episodischen Regenfällen bis auf geringe Reste. Die große Tiefe der Wurzeln und ihre seitliche Ausdehnung bis zum nächsten Grashorst usw. berechtigt aber, von echten Böden in den Randgebieten der Wüste zu sprechen, wo die Niederschlagshöhe etwa 50–100 mm im Jahresmittel beträgt.

Häufig aber mußten in SWA „Wüstenböden“ in Gebieten ausgeschieden werden, wo erheblich höhere Niederschläge fielen, so im Übergangsbereich zwischen Namib und östlich anschließendem Grasland oder in Teilen des Rehobother Bastardlandes. Hier sind die Böden trotz höherer Niederschläge wüstenhaft geworden, weil der Mensch sie übernutzt hat (Man made desert, [51]).

Wüstenböden im oben genannten Sinne treten vor allem im besonders trocknen Süden und Westen des Landes auf. Milchbüsche sind hier, neben trockenheitsertragenden, sehr weitständigen Grasarten und einzelnen Kandelaber-Aloëen kennzeichnende Pflanzen. Oft sind die Böden mit salzhaltigen Ausscheidungen [336], Kalkkrusten und Steinpflastern bedeckt; diese sind vermutlich Ausblaserückstände nach Fortführung feiner gekörnten Materials, jene lassen sich aus der aufsteigenden Lösungstendenz erklären. Steindecken und

Krusten schützen den restlichen Boden weitgehend vor weiterer Verschlammung und Ausblasung. Die Wüstenböden zeigen zumeist eine hellbeige Farbe, seltener ein Graugelb. Die Grauen Wüstenböden, beschrieben z. B. in trockenen Teilen der Sowjetunion, fehlen hier offenbar weitgehend, nur dort sind sie zu finden, wo wesentliche Mengen an Kalkkonkretionen im Oberboden auftreten, wie z. B. in manchen Teilen des Reservats von Berseba im Süden des Landes, wo sie in Graue Halbwüstenböden übergehen.

Die Wüstenböden von SWA sind, wie auch in anderen Teilen der Welt, sehr arm an Humus (s. Übersicht 3.1) als Folge ihrer sehr schütterten, oft nur sporadisch auftretenden und episodisch vorhandenen Vegetation (Abb. 1.8). Deutlichere Humusfärbungen findet man unter den vereinzelt stehenden Grashorsten, Milchbüschen, Salzpflanzen usw., aber auch hier beträgt der Humusgehalt stets weniger als 1 0/0.

Zwei typische Profile aus den Randgebieten der eigentlichen Wüste in der Mitte und im Süden des Landes seien genannt: Zuerst ein Wüstenboden am Südostrand der Chuosberge (Abb. 3.5), zwischen Jakalswater und Nordenburg unter Büschen und Grasresten:

- 0— 2 cm Decke aus hellen Quarziten
- A 2—10 cm steinig, viele Graswurzeln, hellbraungelb bis hellgrau, dicht. pH-Wert etwa 7,5
- B 10—35 cm dichtes, sehr steiniges Material, bräunlich bis rotbräunlich von angewittertem, Fe-haltigem Magnesia-Glimmer
- C unt. 35 cm zahlreiche große Steine, angewitterter Pegmatit.

Dann ein Wüstenboden im Bondelswarts-Reservat westl. Karasburg ganz im Süden von SWA (Abb. 3.6) unter dünnen Grasbüscheln:

- 0— 1 cm sehr lockere graue — graubraune Grusdecke, etwas Kalkkonkretionen,
- A 1— 8 cm mäßig locker, hellgraugelb, etwas strukturiert, mäßiger Gehalt an  $\text{CaCO}_3$ , viel feiner texturiert als 0—1 cm,
- B 8—35 cm fester, dichter als A, hellgraugelblich bis hellgrau. Viel  $\text{CaCO}_3$ , unter 35 cm dichter Zersatz von Dolerit, braust stark mit HCl.

Mehr oder weniger durch  $\text{CaCO}_3$  verbackene Steindecken waren auf den Böden der Randwüste überall im Süden zu finden, so im Gebiet östlich von Klein Aiais (am Fischfluß). Ein Profil an der Grenze zur Halbwüste mit Kalk- und Gipsausscheidungen sei als letztes genannt:

An der Bahnlinie Seeheim—Karasburg südl. des Löwenflusses. Etwa 100 mm Niederschlag im Jahresmittel. Gras in einzelnen Horsten. Kalkfreier weicher Schiefer:

- Steindecke,
- A 0— 40 cm gelb-hellgelbbraun, oben leicht verkrustet, kies- und steindurchsetzt, braust mit HCl, pH 7,5. Untere Teile lockerer,



## 32 Subtypen und Varianten der Zonalen Böden

In SWA sind nicht alle Zonalen Böden in kennzeichnender Form vertreten. Abweichungen im Profilaufbau, die durch verschieden abgewandelte Umwelteinflüsse hervorgerufen sind, rufen zahlreiche Subtypen und Varianten der Zonalen Böden hervor. Sie bilden die Übergänge zu den unter [33] genannten Intrazonalen oder Halbzonalen Böden, die rein äußerlich gesehen in keiner Beziehung mehr zu den Zonalen Typen zu stehen scheinen. In den folgenden Zeilen sind einzelne Abwandlungsursachen für die Zonalen Böden dargestellt.

### 321 Gebirgsböden an Hängen

In SWA herrschen, flächenmäßig gesehen, die ebenen gegenüber den hängigen Lagen vor [16]. In einzelnen Teilen gibt es aber überwiegend Hanglagen, so z. B. im Otavibergland im Naukluftgebirge (Abb. 3.7), Auasgebirge, in den Hängen der Tafelberge im Süden sowie in den Großen Karasbergen. Die Böden an diesen Hängen sind noch stärker mit Skeletteilen durchsetzt als die Böden der Ebenen. Oft gehen sie hangaufwärts in reine Blockhalden und Fels über. Die in ebenen Lagen oft deutlichen Steindecken auf den trockeneren Böden verschwinden am Hang unter dem allgemein viel höheren Steingehalt. Die Hangböden sind ferner, wie bereits oben bemerkt [162], meist frei von  $\text{CaCO}_3$  und fast stets frei von Natriumsalzen.

Im Otavibergland kann man örtlich folgende Beobachtung machen: Dort, wo Dolomittrümmer die Berghänge bedecken, sind diese Gesteine oft gar nicht an der Bodenbildung beteiligt, s. a. [322]. Die angewehten Sande, die die Zwischenräume der Dolomittrümmer erfüllen, sind allein bodenbildend. Der entstehende Boden ist frei von Dolomit und Kalk und braust daher auch bei Erwärmung der Salzsäure nicht auf, s. a. [335].

### 322 Subtypen als Folge bestimmter Gesteine

Bestimmte Gesteine können die Bodenbildung in ganz besonderer Weise, abweichend von der Masse der übrigen Gesteine, zu bestimmten Typen lenken. Hierzu gehören in unseren Klimaten u. a. Kalke und Dolomite [133], aber auch ganz „basenarme“ und silikatarne Quarzsande. Die Genannten kommen auch in SWA vor und werden uns bezgl. der Bildung halbzonaler und Intrazonaler Böden weiter unten [334] noch beschäftigen. Hier sollen nur Subtypen und Varianten besprochen werden, die zwar durch besondere Eigenarten des

Gesteins hervorgerufen werden, aber doch noch mit dem Zonalen Boden näher verwandt sind.

Im Gebiet der Braunen Böden der Halbwüste und noch trockneren Typen treten in weitausgedehnten Gebieten innerhalb der Fischflußsandsteine Böden auf, die bereits *Berger* (4) recht treffend als „Scherbenböden“ (Abb. 3.8) gekennzeichnet hat. Anlaß dazu gaben die scherbenartig-scharfkantigen und plattigen Formen der Gesteinsbruchstücke, die in ganz auffälliger Form den Boden bedecken. Unter den Scherben ist der Boden dann wieder feinkörnig und zunächst steinarm. Erst nach etwa 2–3 dcm trifft man wieder Sandsteintrümmer. Die Tendenz zur Bodenbildung mit Steindecken, wie sie oben beschrieben ist [312, 313]) ist hier besonders ausgeprägt. Die Abb. 3.8 zeigt die Oberfläche eines Scherbenbodens im Farmgebiet von Haribes (west. Mariental) und Abb. 3.9 ein Profil eines Scherbenbodens bei Nomtsas (Distr. Maltahöhe).



Abb. 3.9. sog. „Scherbenboden“, Variante des Braunen Bodens der Halbwüste, im Süden von SWA, bes. auf Fischflußsandsteinen u. ä. Unter einer steinigen Decke feineres, oft verdichtetes Bodenmaterial (s. a. Foto Abb. 3.8)

Stärker als sonst rotbraun gefärbte Böden der Wüsten und Halbwüsten kommen oft bei Gesteinen vor, die einen höheren Eisengehalt aufweisen; dies besonders in Gebieten stärkerer Aridität, so z. B. in der Umgebung von Okombahe am Ostrand der Damara-Reserve.

Innerhalb des Verbreitungsgebietes der Braunen Halbwüstenböden und teilweise auch der Baumsavannenböden findet man in sehr ausgedehnten Teilen von SWA lockere und tiefgründige, meist nur wenig silikathaltige und nur

mäßig nährstoffreiche Sande — Dünen sande sowie andere verschüttete sandige Aufbereitungsmassen — auch von roter Farbe. Besonders im Ostteil von SWA sind diese Sande verbreitet (Abb. 3.10 u. Abb. 2 der Farbtafel). Die Böden aus diesen Sanden kann man als „Braune Böden leichter Textur“ bezeichnen und sie als ärmeren Subtyp der Braunen Halbwüstenböden und Baumsavannenböden ansehen. Auf hellen Sanden entstehen braune Böden, auf rötlichem, eisenoxidumkrustetem Material sind die Böden bei gleicher Dynamik mehr rotbraun bis braunrot.

Südlich vom Waterberg trifft man Böden auf den dortigen Sandebenen, so z. B. im Farmgebiet Heimaterde nahe der Waterberg-Reserve: hier geht ein graubraunroter, gerade noch sichtbar humusgefärbter A-Horizont mit einem pH-Wert 6,5 in etwa 45 cm Tiefe ohne scharfe Grenze in einen gleichmäßig mittelgekörnnten,  $\text{CaCO}_3$ -freien rötlichbraunen Sand über. Dünenzüge im Farmgebiet Garib-Ost aus rotem Sand geben einen bräunlichroten, wenig humosen A-Horizont mit einem pH-Wert von 5,6. Auch aus der Gegend von Gobabis und aus der Kalahari (s. u.) waren solche Böden, z. T. auch mit pH-Zahlen von etwa 7, aufzufinden. Hier zeigen einige Böden also, entgegen den Erfahrungen in sonstigen Trockengebieten, bereits saure Reaktion, worauf auch bereits *Walter* (38, S. 47 ff.) hinweist.

Diese saure Reaktion ist auf zwei Ursachen zurückzuführen: die meist quarzitären, sehr humusarmen Sande sind trotz geringerer Niederschläge leicht durchspülbar, da ihnen fast jeder Sorptionsträger fehlt. Die wenigen vorhandenen Humusteile nehmen daher leicht eine saure Reaktion an. Ganz andere Ursachen liegen in SWA bei einzelnen leichten Böden vor, die ehemals Natriumhumate enthielten; diese leicht peptisierbaren Natriumhumate setzen sich bei Abwesenheit von  $\text{CaCO}_3$ , die hier fast stets vorliegt, mit dem Regenwasser leicht um:  $\text{Na-humat} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H-humat} + \text{NaOH}$ . Das NaOH verschwindet auch bei leichter Durchfeuchtung im Untergrund und die sauer reagierenden Huminstoffe (Huminsäuren, Fulvosäuren u. ä.) bleiben erhalten und erteilen dem Boden eine schwach saure Reaktion. Der Untergrund dieser Böden zeigt dann Reaktionssprünge bis zu pH 8 und 9! Durch diesen der Solodierung ähnlichen Prozeß können sich also relativ niedrige pH-Werte im Oberboden ergeben; ein Vorgang, auf den in [336] noch einmal zurückzukommen sein wird.

Braune Böden leichter Textur findet man auch im Kalahari-Grenzgebiet im SO von SWA auf parallel laufenden Dünenzügen. Zwischen diesen Dünenzügen, die je etwa 3–4 Dünen umfassen, treten dünenfreie Räume auf, an denen der Kalkuntergrund (Kalaharikalk) die Oberfläche erreicht oder dieser nur von einer sehr dünnen, vielfach unterbrochenen Dünen sanddecke bedeckt ist. Hier beteiligt sich der Kalk nicht an der Bodenbildung; diese findet ausschließlich auf Dünen sand statt. Der Boden ist daher frei von Kalziumkarbonat (Abb. 3.11 und 3.12).



Abb. 3.11. Häufige Form der Dünenfolge im Grenzgebiet zur Kalahari im NE der Großen Karasberge. Mehrere Dünenzüge dicht hintereinander, dazwischen Kalkdurchragungen mit nur dünner oder fehlender Flugsanddecke  
In manchen Dünentälern lose Kalkkonkretionen (s. Abb. 2.1)

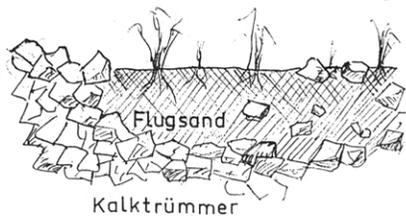


Abb. 3.12. Bodenprofil aus Flugsandresten mit Kalkdurchragung Kalahari-Grenzgebiet. Brauner Halbwüstenboden leichter Textur, karbonatfrei. Kalk an der Bodenbildung nicht beteiligt. Bodentiefe max. 15—20 cm

### 323 Subtypen als Folge von Verkalkung im Bodenuntergrund

Wir haben oben [142] gesehen, daß klimatisch bedingte aufsteigende Bodenlösungen und aufsteigendes Grundwasser zu Verkalkungen des Bodens führen können. Bei tieferem Grundwasser oder tieferer Grundfeuchte im Boden steigen die kalkhaltigen Lösungen nicht bis in die Oberkrume; vielmehr wird das Kalziumkarbonat bereits im Unterboden als B/Ca-Horizont ausgeschieden. Dies ist im Gebiet der Halbwüstenböden häufig zu beobachten, besonders in tiefer gelegenen Geländeteilen. Der Oberboden selbst bleibt in solchen Fällen meist frei von  $\text{CaCO}_3$ . In Abb. 3.13 und 3.14 sind Geländeschnitte und Profile dieser im Unterboden „kalkifizierten“ Böden im Grenzgebiet des Kaokoveldes dargestellt, weiterhin auch in Abb. 1 b der Farbtafel an einem Beispiel aus dem östlichen Bastardland.

Viele Subtypen der Grauen Böden der Halbwüste sind, wie schon bei [312] vermerkt, karbonathaltig. Die Verkalkung betrifft dort das *gesamte* Bodenprofil und ist auf andere Ursachen (Kalkverkrustung) zurückzuführen. In den oben geschilderten Beispielen ist jedoch nur der Unterboden karbonathaltig. Die

geschilderten Böden stellen Übergangsbildungen zu den aus festem reinem „Oberflächenkalk“ gebildeten Böden dar, die weiter unten bei den „Grauen Böden leichter Textur aus Kalk“ [334] beschrieben sind.

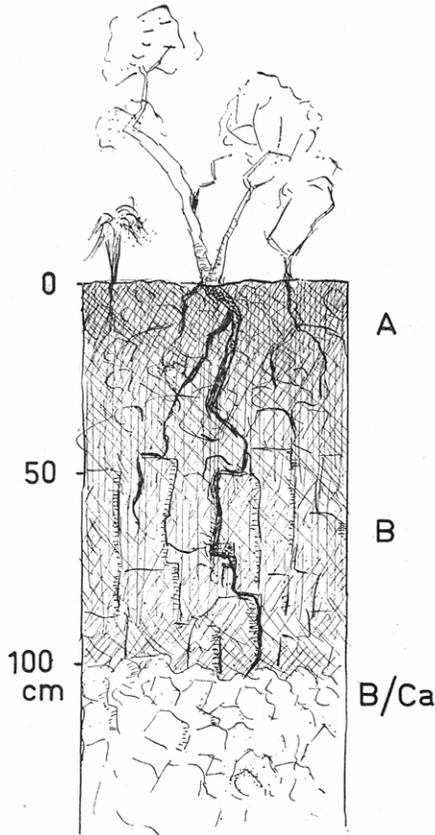


Abb. 3.13. Brauner Boden der Halbwüste, Farm Franken, nördl. Franzfontein, Bez. Outjo. Unterer Boden kalzifiziert durch aufsteigende Kalklösungen. Im Gegensatz zu Abb. 2.3 (Waterberggebiet) ist der Oberboden fast frei von Kalkkarbonat

- A: 0—40 cm gelbbraun, sehr schwach humos, staubig, etwas klumpig,  
 B: 40—100 cm merklich dichter, hellbraungelb, grobklumpig, verhärtet, oft prismatische Struktur,  
 B/Ca: unter 100 cm kalzifiziertes Bodenmaterial mit einzelnen Konkretionen, heller als B

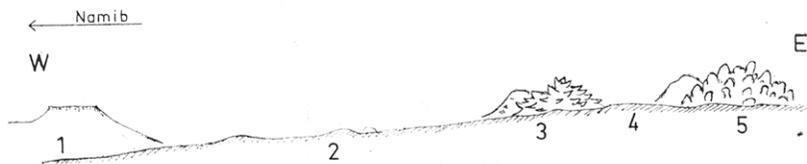


Abb. 3.14. Vereinfachter W-E-Geländeschnitt durch das südöstl. Grenzgebiet des Kaoko-Veldes nördl. des Grootberges (etwa auf  $19^{\circ}35'$  s. Br.) mit den dazugehörigen Bodentypen. Schnittlänge ca. 75 km

1. Region der Tafelberge, unbekannte Böden
2. I. a. nach W abfallende Ebene. Braune Böden der Halbwüste, in tieferen Lagen z. T. kalzifiziert
3. Gneisberge mit eigenartiger Verwitterung, schräg nach oben herausragende Gesteinsteile. Fehlende oder unvollkommene Bodenbildung. Skelettböden
4. kleinere Ebene, Braune Böden der Halbwüste aus oft rötlichem Ausgangsmaterial, in Rivieren und Niederungen kalzifiziert
5. Granitberge mit Wollsackverwitterung. Böden wie bei 3

### 324 Subtypen mit versalztem Untergrund

Die in [323] geschilderte Entstehung von  $\text{CaCO}_3$ -Anreicherungen im Unterboden durch aufsteigende Lösungen findet eine Parallele in der *Versalzung* des Untergrundes. Tiefstehendes Grundwasser und die in ihm gelösten Natriumsalze dringen oft nicht bis zur Oberkrume vor, so daß nur der Untergrund der Böden versalzt bzw. vergipst ist. Dies ist besonders wieder in den Talzügen mit Trockenflüssen oder wenigstens periodisch feuchtem tieferem Untergrund der Fall. Ein solches Bodenprofil des Braunen Halbwüstenbodens mit versalztem Untergrund sei aus dem Bastardland (Farm Marienhof west. Rehoboth) angeführt und auch in Abb. 3.15 dargestellt.

- A O—15 cm schwach humoser brauner Boden der Halbwüste, etwas schwerer als sonst
- B 15—40 cm hellbraun, lehmig, klumpig
- Sa 40—70 cm leicht prismatisch bis säulig strukturierter, fast weißer Horizont, starke Salzanreicherung
- Sa/D 70—90 cm bräunlicher Boden, Salz- und Gipsflecke, Felstrümmer
- D/G 90—120 cm brüchiger Gneis
- G unter 110 cm Grundwasser

Bei höherem Sa-Horizont können diese Böden in die weiter unten [336] beschriebenen Solontschake übergehen.

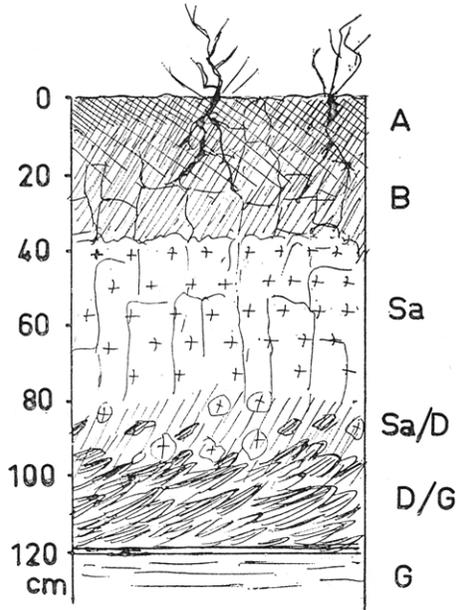


Abb. 3.15. Brauner Boden der Halbwüste, im Unterboden versalzt. Farm Marienhof, 30 km westl. Rehoboth (Bastardland), Talzug, Bodenprofil im Brunnenschacht. Einzelne Salzbüsche. Profilbeschreibung s. Text

### 33 Intrazonale und Halbzonale Böden

(Übersicht 3.2)<sup>1)</sup>

Intrazonale Böden sind besonders in Gebieten mit arideren Klimaten wie SWA oft leichter erkennbar und gegenüber den Zonalen Böden auch deutlicher abgesetzt als in humiden Klimaten. Man versteht unter „Intrazonalen Böden“ solche, die von den Zonalen Böden, in deren Gebiet sie vorkommen, stark abweichen, da sie nicht überwiegend durch Klima und die dazugehörige Vegetation bestimmt sind, sondern ihre kennzeichnenden Merkmale auch von anderen Umwelteinflüssen herrühren; solche Faktoren sind etwa, was sehr häufig vorkommt, besondere Reliefeinflüsse, bestimmte, einseitig zusammengesetzte Gesteinsarten, Stauwasser usw. Auch die Vegetation weicht dann von der auf

<sup>1)</sup> Analysen einzelner Böden s. auch bei *Walter* (37).

Ort der Entnahme	Hor.	pH in H <sub>2</sub> O	CaCO <sub>3</sub> %	Humus %	N <sub>t</sub> %	C:N
<i>Graue Böden schwerer Textur</i>						
Chab (Gobabis)	A	6,4	0	3,6	0,20	10,6
Okaputa (Otjiwarongo)	A	7,7	14,1	1,5	0,09	9,8
Graslaagte (Otjiwarongo)	A	7,7	0	1,4	0,06	13,0
Graslaagte Maisfeld	A	6,9	0	1,5	0,06	14,0
<i>Brauner Boden schwerer Textur</i>						
Waldhausen (Wilhelmstal)	A	7,5	0	2,4	0,14	10,0
<i>Braune Böden leichter Textur</i>						
Waldhausen (Wilhelmstal)	A	7,5	0	0,7	0,04	11,0
Hohenau (östl. Windhoek)	A	7,9	0	1,3	0,11	9,6
Okarusukemue (Gobabis)	A	6,5	0	0,4	0,03	10,0
Heimaterde (südöstl. Waterberg)	A	6,5	0	1,0	0,05	11,0
Blumtal (Kalahari)	A	7,8	0	0,4	0,02	12,0
Garib-Ost (Ostgrenze Bastardland)	A	5,6	0	0,4	0,03	8,0
<i>Graue Böden leichter Textur: aus Kalk</i>						
Farm Heidelberg (Tsumeb)	A	7,9	3,8	1,7	0,10	9,4
Navachab (Karibib)	A	7,6	23,8	1,9	0,13	8,6
Karibib	A	7,9	7,4	0,4	0,02	12,1
<i>Solontschake und verwandte Böden, Salzkrusten</i>						
Farm Hessen (Gobabis)	A	7,6	Sp	2,1	0,12	10,3
Ostrand Etoschpfanne	A/G	9,1	12,9	—	—	—
Alt Nomtsas (Maltahöhe)	A/G	9,3	1,8	0,6	0,03	13,0
Haribes (Maltahöhe)	A	9,3	2,0	0,8	0,05	10,0
Voigtsgrund (Maltahöhe)	A	9,4	3,0	0,6	0,03	11,0
Blumtal (Kalahari)	A	8,3	2,5	0,7	0,02	19,0

Übersicht 3.2. Analytische Daten  
aus der Oberkrume typischer Intrazonaler und Halbzonaler Böden in SWA  
(nach Ganssen u. Moll (9), S. 20 f.)

Zonalen Böden üblichen meist stark ab. Profil und Dynamik sind dadurch von den klimabestimmten Typen sehr verschieden, und zwar in erheblich stärkerem Ausmaß als bei den unter [32] geschilderten Subtypen und Varianten der Zonalen Böden. Daher können wir die Intrazonalen Böden im Gelände auch ohne eingehende Analyse schon rein morphologisch von den Zonalen deutlich unterscheiden.

Im allgemeinen nehmen die Intrazonalen Böden, wie auch sonst in der Mehrzahl der Fälle in anderen Teilen der Erde, einen kleineren Raum ein als die Zonalen Böden, doch sind auch Ausnahmen von dieser Regel möglich, wie z. B. bei den Böden aus verkalkten silikatischen Gesteinen, die in SWA weit verbreitet sind, oder den Böden aus Kalkschichten, die aufgestiegenen Grundwässern in einer früheren *wechselfeuchteren* Zeit ihr Dasein verdanken.

Wir unterscheiden in SWA zwischen Intrazonalen Böden, die in allen Landes- teilen (den trockenen und den relativ feuchteren) vorkommen, und solchen, die nur innerhalb einer gewissen Niederschlagsbreite auftreten. Man könnte zum mindesten die letztgenannten Böden vielleicht besser als „Halbzonale“ bezeichnen, da sie eben in mancher Hinsicht mit den Zonalen Böden geographisch-klimatisch enger zusammenhängen, als nach ihrem Profilaufbau zunächst anzunehmen wäre. In den nächsten Abschnitten sollen einzelne Intrazonale Böden beschrieben werden.

### 331 Graue Böden schwerer Textur

Von allen Intrazonalen Böden in SWA sind die Grauen Böden schwerer Textur, wie ich sie in Anlehnung an ganz ähnliche Böden in Australien (32, S. 38) nennen möchte, neben den Salzböden die auffallendsten. Man nennt sie in SWA *Omurambaböden* und *Vleyböden* nach ihren Vorkommen in den breiten begrünten Flußtälern mit langsamem Gefälle bzw. in manchen abflußlosen Mulden in relativ feuchteren Gebieten des Nordens. Diese Böden sind auch sehr nahe mit den Tirsen [23], Reguren und ähnlichen dunkelgrauen bis fast schwarzen Böden der wärmeren, wechselfeuchten Gebiete in Afrika und Indien verwandt, die man früher fälschlich als „subtropische Schwarzerden“ bezeichnet hat und die mit den typischen Steppenschwarzerden der relativ kälteren semihumiden Gebiete oft nur die dunkle Farbe gemeinsam haben. *Kubiena* bezeichnet diese u. ä. Böden als Böden der *Tirsifizierung* (16, S. 55); s. a. *Ganssen* (8, S. 35).

Die Grauen Böden schwerer Textur (Gray soils of heavy texture) bilden sich, wie gesagt, in flachen Senken und Tälern. Dies ist sehr wesentlich zu wissen, denn bei diesem Prozeß werden sehr leicht dispergierbare Bodenteile mit dem

oberflächlich abfließenden Regenwasser in Depressionen aller Art verfrachtet. Der hohe Dispergierungsgrad ist auf mehr oder weniger starke Anteile an Natrium-Ionen im reaktionsfähigen Komplex dieser Böden zurückzuführen. Auch die dunkle Farbe, die mit einem nur geringen Humusgehalt (meist 2–3 %) verbunden ist, ist auf diese Natriumanteile zurückzuführen. Aus dem gleichen Grunde ist die Krümelung dieser Böden viel geringer als bei echten Steppenschwarzerden, sie steigt aber mit Vorhandensein von Ca-Ionen und  $\text{CaCO}_3$  im Bodenprofil an.

Bereits *Schneiderhökn* (28, S. 282 ff.) hat bei seinen Arbeiten im Gebiet des Otaviberglandes diese „Vleyböden“ beobachtet und ihre Entstehung und Eigenschaften richtig gedeutet. *Berger* beschreibt die Böden (4, S. 28 ff.) sehr treffend nach topographischen Bildungsbedingungen, nach Entstehung und Eigenschaften, wobei er u. a. auch die geleeartig-schmierige Beschaffenheit infolge Anwesenheit von Alkali und als weiteres sehr wichtiges Moment den *wechselseuchten* Charakter der Böden nennt, der nach der Durchfeuchtung in der Regenzeit bald zur starken Austrocknung und Reißbildung (infolge Dehydratation der Natriumtone und -humate) führt.

Die Grauen Böden schwerer Textur (und auch andere Böden der Tirsifizierung) unterscheiden sich demnach von den äußerlich ähnlichen Tschernosemen (Steppenschwarzerden) in folgenden Merkmalen:

- a) viel stärkere Wechselseuchte (wasserbedeckt in der Regenzeit, starke Austrocknung in darauf folgender Trockenzeit),
- b) höherer Gehalt an Na-Ionen am reaktionsfähigen Bodenanteil,
- c) geringerer Humusgehalt bei oft stärkerer Färbung,
- d) geringere Krümelung, mehr polyedrisch-prismatische Struktur.

Bei beiden Bodentypen ist der tiefgründige humose A-Horizont durchmischt: bei Tschernosemen durch wühlende Tiere, bei den Grauen Böden schwerer Textur aber dadurch, daß Wasser und Schlamm zu Beginn der Regenzeit in die tief aufgerissenen, ausgetrockneten Böden eindringen, wodurch der Unterboden aufquillt und sich dadurch mit dem Oberboden vermischt (s. hierzu auch *Vageler* (36, S. 190 ff.)). Der zoogenen Durchmischung bei Tschernosemen steht also eine „hydrogene“ Durchmischung bei Grauen Böden schwerer Textur gegenüber.

Oft zeigen sich längs der Grenze der Grauen Böden schwerer Textur zu den höher gelegenen zonalen Trockenwaldböden Kalkausscheidungen in Form von Konkretionen und weicheren Mergeln. Von diesen rezenten Bildungen zu unterscheiden sind feste Kalkbänke, deren Entstehung in geologische Zeiten zurückreicht. In manchen Gebieten fehlt an den Vleyrändern eine Kalkausscheidung, z. B. in dem fast rein quarzitischen Material mancher Teile der Sandgebiete des Ostens von SWA, so bei den Vleys der Farm Heimateerde südöstlich des Water-

berges oder bei einem Vley zwischen Dünen bei der Farm Hessen im Distrikt Gobabis. Infolge der großen Armut des umgebenden Sandes an Ca-haltigen Silikaten war vermutlich keine Ausscheidung von  $\text{CaCO}_3$  möglich. Freie N-Salze können in manchen dieser Böden auftreten.

Graue Böden schwerer Textur sind an Omuramben oder Vleys gebunden. Omuramben treten nur im nördlichen, relativ niederschlagsreicheren Teil von SWA auf. Um in einem Vley einen dunklen Boden zu erzeugen, muß Pflanzensubstanz als Humuslieferant vorhanden sein. Pfannen in Gebieten mit nur schütterer oder fehlender Vegetation zeigen daher niemals graue oder schwarze Böden, sondern meist hellere, salzige oder salzfreie, oft takyartige Formen [43]. Graue oder schwarze Vleyböden sind daher auch an Gebiete mit verhältnismäßig reicher Vegetation gebunden — also an nicht zu niederschlagsarme Gebiete — so besonders an die Region der Trockenwaldböden.

Graue Böden schwerer Textur sind verbreitet: in der ganzen Umgebung des Waterberges, bei Otjiwarongo, im Farmgebiet von Okaputa (zwischen Otavi und Otjiwarongo), im Distrikt Outjo bis in die Gegend von Fransfontein, Gebiete östlich und südlich der Etoschapfanne (z. B. im Omuramba-Ovambo) und bei Tsumeb. Ausgeprägt häufig findet man Vleys mit den genannten Böden auf größeren Ebenen mit Lockermaterial, wo die Voraussetzung für die Bildung einer Geländemulde gegeben ist. Die Grauen Böden schwerer Textur werden oft für den Maisanbau genutzt und geben gute Erträge, wenn reichlich Niederschläge fallen. In den umgebenden Trockenwaldböden findet im allgemeinen eine extensivere Nutzung als Viehweide statt [51].

Abschließend sei ein Profil eines sehr dunkelgrauen Bodens mit schwerer Textur wiedergegeben, und zwar aus dem Gebiet südöstlich Otjiwarongo unter hohem Gras mit einzelnen Bäumen am Rand eines Omuramba:

- A' 0—20 cm grasdurchwurzelter, schwarzgrauer, bröckeliger, ziemlich trockener, harter Boden ohne  $\text{CaCO}_3$   
A'' 20—70 cm schwerer, sehr dunkelgrauer Boden, grobe Polyeder, kein  $\text{CaCO}_3$   
Ca unter 70 cm  $\text{CaCO}_3$ -haltig, hellgrau, locker

### 332 Braune Böden schwerer Textur

Die Braunen Böden schwerer Textur entsprechen sehr wahrscheinlich den „Brown Soils of heavy Texture“ der australischen Bodenkundler (32, S. 38 f.). Die Braunen Böden dieser Form findet man zumeist im Gebiet der Braunen Halbwüstenböden, auch in deren relativ niederschlagsreicheren Teilen mit den Böden der Baumsavannen, jedoch nicht so oft und auch kleinflächiger als die Grauen Böden schwerer Textur. Sie sind weniger humos als diese, schwer,

klumpig, aus feinem bis mittelfeinem Material entstanden und finden sich an Flußtätern, die keinen typischen Omurambacharakter mehr besitzen, sondern schon mehr rivierartig gestaltet sind. Als Beispiel sei ein Profil am Khanrivier in der Nähe von Wilhelmstal genannt:

- A 0—45 cm hart getrocknetes, braunes, polyedrisch-strukturiertes, klumpiges, schweres Material, nur die obersten 5—10 cm frisch aufgeschüttet und locker. Wenig humos, viele, auch starke Baumwurzeln bis in größere Tiefe
- C fester, feiner Sand, graubeigefarbig

Weitere Fundorte dieser Böden sind u. a.: am Trockenfluß bei Farmhaus Marienhof westlich Rehoboth; im Khomashochland westlich Windhoek; zwischen Windhoek und Karibib; im Farmgebiet Hohenau östlich Windhoek.

Bei Betrachtung der Analysenwerte (Übersicht 3.2) der schwer texturierten Böden ist der relativ hohe Humusgehalt eines stark dunkelgefärbten Bodens schwerer Textur auffallend. Er beträgt 3,6 %, während sich die anderen Werte um 1—2 % bewegen. Das C : N-Verhältnis ist bei manchen Böden etwas weiter als sonst in SWA, was auf ungünstigere biologische Zustände hinweisen kann.

Die bisher besprochenen Intrazonalen Böden verdanken ihr Dasein Besonderheiten der Reliefformen (Mulden, Talzüge u. ä.) und damit auch des Wasserhaushalts (Wechselfeuchte). Es folgen nunmehr Böden, deren intrazonaler Charakter auf die sehr einseitige Zusammensetzung ihres anorganischen Ausgangsmaterials zurückzuführen ist.

### 333 Sehr arme Böden aus rötlichen Quarzsanden

An einzelnen Stellen der Sandgebiete von SWA — teils bei zusammengewehten Dünen, teils bei verschlammten Sanden ebener Flächen — fällt ein meist stark rötlicher, fast mineralisch reiner Quarzsand auf, dessen Körner zumeist mit einer dünnen Kruste von stark dehydratisiertem und daher rotem Eisenoxid umgeben sind. Diese Sande sind vermutlich verschlammte bzw. verwehte Restprodukte einer Verwitterung und Auslaugung in einem wechselfeuchteren Klima als dem heutigen. Fast sämtliche Minerale außer Quarz fielen diesen Prozessen zum Opfer. Die aus diesen Sanden entstandenen Böden sind daher äußerst arm an Pflanzennährstoffen und an Humus, was sich u. a. auch an einer dürrtigen Bestockung mit anspruchslosem Gelbholz und armen Gräsern zeigt. Auch *Walter* (38, S. 41 u. 46 ff.) weist schon ausdrücklich auf diese Böden und ihre Vegetationsformen hin und belegt die Nährstoffarmut auch analytisch.

Eine von *Walter* angeregte qualitative Feuchteuntersuchung (a. a. O., S. 41, Fußnote) zeigte eine starke Sickerwasserbewegung, die sonst für Böden arider Klimate ungewöhnlich ist. Sie ist auf die relativ grobe Körnung des quarzitären Materials und

das völlige Fehlen von Sorptionsträgern (außer sehr geringen Mengen von Huminstoffen) zurückzuführen. Die pH-Werte zeigen daher noch deutlichere Säuregrade als die oben [322] genannten Böden leichter Textur. Mit diesen sind die hier aufgezählten Böden durch alle Übergänge verbunden.

Eine Anreicherung dieser armen Böden durch aufsteigende Bodenlösung aus dem Untergrund ist bei der Tiefgründigkeit der Quarzsande nicht zu erwarten. Eine Anreicherung an Silikateilchen und damit auch mittelbar an Nährstoffen, Pflanzenwuchs und Huminstoffen könnte nur, wenn es die Umweltbedingungen zulassen, durch allmähliche Staubzufuhr [61], die nur in ariden Gebieten möglich ist, im Laufe langer Zeiträume erfolgen. Sie würde diese Böden in solchen Fällen den überwiegend klimatisch bestimmten Braunen Böden der Halbwüste ähnlicher gestalten.

### 334 Graue Böden leichter Textur aus Kalk

Bei Vorhandensein von Kalkgestein finden wir in den einzelnen Klimaten oft Böden mit besonderen Eigenschaften, die von denen der Zonalen Böden sehr deutlich abweichen; dies gilt vor allem für gemäßigt humide Gebiete, wo z. B. die aus Kalk entstandenen Rendzinen einen ganz anderen Profilaufbau als die überwiegend klimatisch bestimmten Mitteleuropäischen Braunerden aufweisen. Man kann aber — wie bereits *Glinka* hervorgehoben hat — nicht von *dem* intrazonalen Kalkboden der Rendzina sprechen, der nun klimaunabhängig sei. Im borealen Klima (Df nach *Köppen*) versauern Böden aus Kalk und zeigen keine Rendzinmerkmale. Im Mittelmeergebiet entstehen unter bestimmten Voraussetzungen *Terre rosse* aus Kalk; im Trockengebiet von SWA bilden sich „Graue Böden leichter Textur“ aus harten Kalken jeder Art. Auch diese Böden weichen von den umgebenden Böden (z. B. Trockenwaldböden aus silikatischen Gesteinen) deutlich ab, jedoch ist der Unterschied hier nicht so erheblich wie in Mitteleuropa: die pH-Werte beider Böden sind neutral bis schwach alkalisch (6,7–8), da zumeist auch auf silikatischen Gesteinen keine nennenswerte Auswaschung erfolgt. Wir sahen ferner, daß in SWA durch Verwitterung auch auf nicht silikatischen Gesteinen Kalkkrusten entstehen können, ebenso durch aufsteigendes Grundwasser [133]. Der Begriff „Kalkboden“ als einem Boden, der nur aus primärem Kalkgestein entsteht und nicht auch aus anderen Gesteinen, verliert im ariden Gebiet SWA's seinen Sinn, denn auch die verkrusteten Nicht-Kalkgesteine ergeben „Kalkböden“. Aus diesem Grunde ist auch der Ausdruck „Rendzina“ für diese Böden völlig falsch; dem Begriff der Rendzina unserer Gebiete liegt außerdem eine völlig andere Dynamik zugrunde, als den aus Kalksteinen, Kalkkrusten, Kalkkonkretionen usw. entstandenen Böden SWA's (5, S. 286 f.).

Zunächst seien die leichten grauen Böden aus Kalk kurz besprochen.

Es gibt in SWA harte mächtige Kalkrinden auf silikatischen Gesteinen, die wegen ihrer Härte und Struktur populär als „kristalline Kalke“ bezeichnet werden. Ferner gibt es mehr oder weniger harte, „Oberflächenkalke“ genannte Bildungen, die z. T. durch aufsteigendes Grundwasser entstanden sind. Aus beiden können flachgründige graue „Kalkböden“ leichter Textur entstehen. Sie zeigen einen nur wenige Zentimeter bis 2 dm tiefen A-Horizont, der aus einem feineren grauen Kalksand und Kalkhumaten besteht und die meisten Wurzeln der Vegetation enthält. Darunter folgen harte Bruchstücke, Bänke oder dicke Schollen von harten Kalken. Die Böden sind meist wenig fruchtbar, denn wegen ihrer Trockenheit leiden sie auch in relativ feuchteren Gebieten des Nordens von SWA oft unter Trockenheit. Der Trockenwald ist in solchen Fällen lichter und bedeutend geringwüchsiger (Abb. 3.16 und 3.17) als im benachbarten tiefgründigen Trockenwaldboden auf silikatischen Gesteinen. Diese Standorte sind südlich der Etoschapfanne weit verbreitet und auch sonst kleinflächig sehr häufig (Beispiel: Farm Warlincourt nördl. Waterberg). Einen nicht so ganz flachgründigen Boden auf weicherem Kalk trifft man z. B. nahe am Farmhaus Heidelberg nördlich von Tsumeb: unter einem etwa 15–25 cm dicken, grauen A-Horizont, der bröckelig und locker ist, erkennt man einen noch ziemlich weichen, sehr hellen, hochprozentigen Kalk, der nur im oberen Teil einige feste Kalkbänke aufweist und nach unten in weiches,  $\text{CaCO}_3$ -ärmeres Material übergeht.

### 335 Andere Böden aus Kalken und Dolomit

Es gibt in SWA, wie in [334] dargelegt, Böden aus mehr oder weniger reinen Kalkkrusten und Kalkbänken. Daneben findet man auch Böden, deren anorganisches Ausgangsmaterial ursprünglich rein silikatisch war, das aber infolge arider Verwitterung zu einem mehr oder weniger großen Prozentgehalt in Kalk umgewandelt wurde [133, 21]. In solchen Fällen ist die hellbräunliche Färbung, die das rein silikatische Material bei der Bodenbildung hervorruft, oft noch erkennbar, so z. B. bei einem Boden aus der Gegend von Karibib im Gebiet der Braunen Böden der Halbwüste:

Vegetation: Dornbüsche, *Acacia spec.*, *Catophractes*, Gräser in einzelnen Büschen,  
A 0–10 cm im Mittel (sehr wechselnd) braungrau, gering humos, steinig und schotterig, mit Kalk- und Pegmatittrümmern, viele Wurzeln, pH 8,  
Ca/C hellgraue Kalkkrusten und -stücke, vermischt mit Pegmatittrümmern, scharf gegen A abgesetzt.

Es gibt auch völlig vom aufsteigenden Wasser mit mürbem Kalk durchsetzte Böden, so der folgende am Waterberg im Farmgebiet von Okosongomingo:

A 0—50 cm grauer bis bräunlichgrauer, an der Oberfläche fester, unten stärker bröckeliger und längspolyedrisch aufgespaltener Boden, stark  $\text{CaCO}_3$ -haltig,  
C/G mergelig, weiß bis hellgrau, oben wenige große Konkretionen, meist noch weich.

Im Gebiet der Grauen Böden leichter Textur aus Kalk — so z. B. südlich und östlich der Etoschafanne — findet man in kleinen vleyartigen Vertiefungen bedeutend dunklere Böden als in der höheren Umgebung; also eine dem Bodenkomplex: Trockenwaldböden — Graue Böden schwerer Textur (Vley-, Omurambaböden) fast parallele Folge. Die dunklen Böden aus Kalken sind wegen der länger anhaltenden Feuchtigkeit und ihrer tieferen Lage meist von schwererer Textur als die heller grauen Böden. Ich habe sie vorläufig „dunkle,  $\text{CaCO}_3$ -haltige, schwere Senkenböden aus Kalk“ genannt. Sie haben nur örtliche Verbreitung im relativ regenreicheren Gebiet. Im klimatisch gleichen Teil von SWA gibt es ferner ebenfalls nur örtlich vorkommende, oberflächlich entkalkte, etwas braunviolette Böden aus Kalk, die ich als „Schokoladenfarbene Böden“ bezeichnet habe. Sie sind teilweise mit fossilen Roterderesten gemischt, möglicherweise stammt die eigenartige Farbe der Böden von der Durchmischung mit diesen Resten (s. auch unter [34]).

Die Roterde- und Rotlehmrelikte [337] aus früheren, niederschlagsreicheren Zeiten im Untergrund rezenter Böden sind im Norden SWA's, der auch heute noch feuchter ist als das übrige Land, vielerorts zu erkennen. Beim Neubau der Bahnstrecke Omaruru—Kalkfeld—Otjiwarongo waren an zahlreichen Aufgrabungen derartige rote Relikte erkennbar. Einige Beispiele der Beziehungen solcher Relikte zu rezenten Böden sind unter [337], [34] und [44] aufgeführt. Rezent entstehen aber unter den heutigen Klimabedingungen in SWA überall aus Kalken nur die oben geschilderten grauen Böden. Dies kann man ganz zweifelsfrei an Böden in statu nascendi, etwa an frischen Kalkaufschüttungen u. ä. erkennen.

Abschließend kann man feststellen, daß in SWA eine ganze Anzahl merklich verschiedener Böden aus Kalk, je nach Umweltbedingungen (Härte und Konzentration des  $\text{CaCO}_3$ , Relief, Roterdereste usw.) vorhanden sein können. Vom typischen Grauen Boden leichter Textur aus Kalk bis zum kalzifizierten Grauen Boden der Halbwüste sind alle Übergänge zu finden. Alle diese fast reinen oder mehr oder weniger mit silikatischem oder quarzitischem Ausgangsmaterial verunreinigten Kalke sind letztlich den ariden Klimabedingungen zuzuschreiben, die schon seit geologischen Zeiträumen wirksam gewesen sind und auch heute noch, wie man aus der Bildung loser Kalkkonkretionen in rezenten Böden oder feiner Kalkkrusten in bewässerten Gartenböden sehen kann, wirksam sein können. Demnach können „Kalkböden“ überall in SWA, sei es großflächig oder, wie meist, nur örtlich, verbreitet sein — und zwar weitgehend unab-

hängig vom ursprünglichen, unverwitterten Gestein, während sie in Mitteleuropa streng an Gebiete mit Kalkstein gebunden sind.

*Böden aus Dolomit* spielen in SWA eine viel geringere Rolle als Böden aus den verschiedenen Kalken — schon wegen ihres flächenmäßig geringeren Vorkommens. Man findet solche Böden aus Dolomit in manchen Teilen des Otaviberglandes und an einem flachen, W—E verlaufenden Höhenzug in der Gegend von Karesis, südlich des Otaviberglandes sowie an einigen Höhenzügen südlich der Etoschafanne. Die Untersuchung dieser Böden im Gelände ist schwierig, da der Dolomit an manchen Stellen ein sandsteinartiges Aussehen hat und bekanntlich mit kalter Salzsäure gar nicht und mit warmer nur wenig aufbraust. Man hat den Eindruck, als ob der Dolomit an diesen Stellen SWA's nur schwer verwittert und daß sich oft nur ein sehr flachgründiger, manchmal, z. B. am flachen Hang, auch gar kein Boden auf ihm bildet [42], so z. B. an einer Stelle südlich des Otaviberglandes (Abb. 4.4). In der Gegend von Eisenberg bei Otavi ergab der aufgewehte Sand eine viel besser erkennbare Bodenbildung als der anstehende Dolomit. Auch in der Farm Heidelberg bei Tsumeb zeigten die aus Dolomit bestehenden Hügel einen nur sehr schwach humosen außerordentlich steinigen Boden, während der am Fuß der Hügel anstehende Flugsand zu einem deutlich horizontalen Trockenwaldboden umgewandelt wurde.

### 336 Solontschake und solonezartige Böden

Wegen der großen wissenschaftlichen und wirtschaftlichen Bedeutung der salzhaltigen und Natronböden (Solontschake und solonezartige Böden) für SWA und ihrer interessanten Bildungsweise seien diese Typen in den folgenden Zeilen etwas ausführlicher behandelt, s. hierzu auch [522].

#### 3361 *Definition und Entstehung*

Als Solontschake bezeichnet man Böden, die freie Natriumsalze enthalten, zumeist als Kochsalz ( $\text{NaCl}$ ) oder Glaubersalz ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ). Diese sind entweder im A-Horizont verteilt oder hauptsächlich in einer *auf* dem Boden liegenden Kruste ausgeschieden (Krustensolontschake). In reaktionsfähigen Bodenteilen kann das Natrium dabei oft nur in wenigen Prozenten neben Ca und Mg als Kation enthalten sein. Die Anwesenheit der Natriumsalze ist an ein Trockenklima gebunden [142, 324], da nur in diesem ein dazu notwendiger Lösungsaufstieg und die erforderliche Anreicherung der gelösten Salze möglich ist. Wir haben bereits in [324] im *Untergrund* versalzten Böden kennengelernt. Die hier genannten Solontschake sind aber hauptsächlich in oder auf dem A-Horizont

Fundort	in Prozenten der Kruste						
	NaCl	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	NaNO <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	KCl	CaCl <sub>2</sub>	MgCl <sub>2</sub>
Ostrand der Etoschapfanne	24,9	1,1	0,6	1,4	3,8	0,4	0,03
Klein Omaruru b. Franzfontein	31,6	3,5	0,3	1,0	4,0	0,4	0,0
Farm Hessen (Distr. Gobabis)	11,4	6,4	0,5	0,6	0,5	0,1	0,0
Voigtsgrund (Distr. Maltahöhe)	57,3	0,9	1,8	9,8	18,7	0,6	0,01
Farm Blumtal (Kalaharigrenze)	31,6	9,1	0,1	0,0	5,9	2,2	0,3

Übersicht 3.3. Salzgehalte der Sa-Horizonte einiger Krustensolontschake in SWA. Das Überwiegen von Na gegenüber K, Ca und Mg sowie der Chloride über die Sulfate, Karbonate und Nitrate in der Salzzusammensetzung ist deutlich zu erkennen.

mit Salzen angereichert. Dies ist nicht für die Horizontierung und Dynamik der Salzböden, sondern besonders auch für die Zusammensetzung der Vegetation (bzw. deren Fehlen im Trockenzustand) von großer Wichtigkeit. Hier besteht eine gewisse Parallele mit den nur im Untergrund kalzifizierten Böden [323] und den Böden aus festen, hochsitzenden Kalksteinen [335]. Wegen des Transportes der gelösten Salze nach oben sind Solontschake an Geländemulden und Täler mit entsprechender periodischer oder episodischer Wasserversorgung gebunden. Wegen der oben genannten allmählichen Anreicherung der Salze (sofern diese nicht etwa durch Überschwemmungen wieder fortgeführt werden) besteht überall in ariden Gebieten, auch bei nur ganz schwachem Salzgehalt des Wassers und besonders bei Abwesenheit von CaCO<sub>3</sub>, die Tendenz zu einer Versalzung<sup>1)</sup>. So beschreibt, um ein Beispiel einer neuen Veröffentlichung zu nennen, *Meckelein* (22, Abb. 40, 43, 44) Salz- neben Kalk- und Gipsausscheidungen in Wadis der Sahara. Er nennt weiter die eigenartige bräunliche Farbe Na-haltiger Böden (a. a. O. S. 81), Salzmoraste bei offenem Wasser (a. a. O. Abb. 48), ferner Ton- und Salzböden in Tälern (a.a.O. S. 78). Solontschake zeigen eine schwach alkalische bis alkalische Reaktion und auch in SWA einen oft dunklen A-Hori-

<sup>1)</sup> Man braucht also keine „unterirdischen Salzlager“ oder „zerstäubtes Meerwasser“ oder bestimmte Gesteine als Ursachen der Versalzung der Böden anzunehmen, wie dies manchmal in SWA geschieht. Die Versalzung ist, wie dargelegt, ein klimabedingter Prozeß, der durch jedes natürliche und deshalb chemisch nicht reine Wasser ausgelöst werden kann. Selbstverständlich könnte eine aus *geologischen* Gründen (Salzschichten) stark salzhaltige Quelle *zusätzlich* die an sich klimabedingte Versalzung sehr beschleunigen und verstärken.

zont (infolge stark gefärbter Na-Humate), auf dem die weiße Salzkruste sich sehr auffallend bemerkbar macht („Weißbrack“).

Grundsätzlich zu unterscheiden vom Solontschakierungsprozeß mit Entstehung freier Salze ist die Bildung von *Solonezen* und *solonezartiger Böden* (Solonezierung, Solonzierung), auch wenn beide Prozesse räumlich dicht nebeneinander vorkommen können und auch Übergangsbildungen möglich sind. Als Soloneze bezeichnet man Böden, in denen ein erheblicher Prozentsatz (etwa 20% und mehr) der umtauschbaren Kationen im reaktionsfähigen Bodenteil mit Natrium-Ionen belegt ist. Freie Salze als NaCl und Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> wie beim Solontschak sind nicht vorhanden, ggf. sind sie aus der Oberkrume nach Grundwasserabsenkung ausgewaschen<sup>1)</sup>. In typischen Solonezen findet eine Abwärtswanderung von den durch Na<sup>+</sup> hochpeptisierten Tonmineralen und Huminstoffen statt. Hierzu ist jedoch im allgemeinen die für die Peptisierung not-

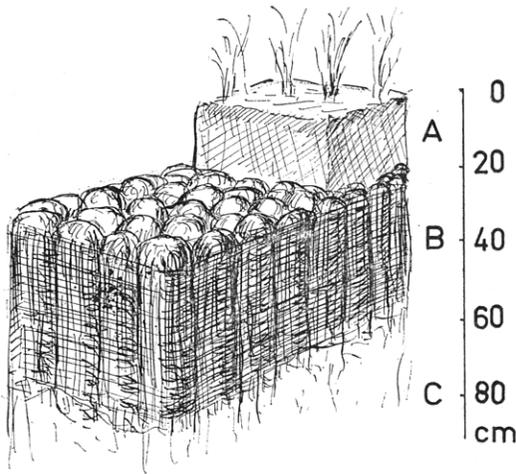


Abb. 3.18. Wahrscheinlich solodartiger Boden am Friedhof Waterberg.

A: oft fehlend, sandig

B: sehr dicht, säulig bis prismatisch, schwarzgrau

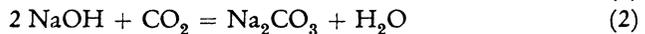
C: heller, sandiger. Kein Kalk

<sup>1)</sup> Über die Theorien der Soloneze-Entstehung s. ausführlich bei *Janitzki* (13, S. 89 ff.). Zur bevorzugten Sorption der einwertigen Kationen und damit auch des Na aus den konzentrierten Bodenlösungen der Trockengebiete an den reaktionsfähigen Bodenkomplex s. a. [22], Satz (f) und (g) sowie die physikochemische Erläuterung dieser Prozesse bei *Laatsch* (20, S. 77 ff.).

wendige Bodendurchfeuchtung in SWA zu gering. Nur ausnahmsweise führt diese Auswaschung zu typischen Solonezen oder sogar solodartigen Böden, wie ein Profil am Waterberg wahrscheinlich macht (Abb. 3.18); ähnliche Profile finden sich östlich Windhoek und an einer Stelle am Oberlauf des Fischflusses, – vielleicht, weil hier zushüssiges Irrigationswasser zur Verfügung stand. Die solonezartigen Böden in SWA sind daher zumeist ohne den typischen leichteren, weil ausgelaugten A-Horizont und ohne den B-Horizont mit Säulchenstruktur ausgebildet; die „schwere“ Bodenbeschaffenheit reicht vielmehr bis zur Oberfläche. Diese Böden sind in der feuchten Zeit schmierig (an Seife erinnernd, die auch Na als Kation enthält!), in der Trockenzeit sind sie dagegen steinhart und infolge Dehydratation der Natrium-Ionen rissig.

Die ersten schwachen Anfänge einer Art Solonezierung zeigten sich schon zuweilen bei Braunen Böden leichter Textur aus Dünenständen im Klimabereich der Braunen Böden der Halbwüste. So waren im Farmgebiet Haribes (westl. Mariental) deutliche, wenige Millimeter starke Trockenrisse im Dünenstand zu finden, die nur aus der typischen Dehydratation der Natrium-Ionen an den wenigen vorhandenen Sorptionsträgern dieser Böden zu erklären sind. Die Risse bildeten Sech- und Mehrecke mit einem Durchmesser von etwa 25–30 cm. Diese Erscheinung ist bei uns in so leichten Böden unbekannt, da in ihnen keine stark hydratisierten Natrium-Ionen vorkommen, was u. a. zeigt, daß „Dünenstande“ und „Sandböden“ in SWA etwas ganz anderes bedeuten als etwa in Mitteleuropa.

Die Bodenreaktion der solonezartigen Böden ist oft stark alkalisch, bis pH 10 und mehr. Dies ist auf eine Teilhydrolyse der Na-Tonminerale und Na-Humate zurückzuführen; hierbei entsteht  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  (Soda):



Die Mehrzahl dieser solonezartigen Böden zeigt wegen der Anwesenheit von Soda nach Gleichung (2) mit Salzsäure ein schaumiges Aufbrausen. Bei echter Solonezierung und Auswaschung des NaOH hat der nach Gleichung (1) entstandene Wasserstoffton als schwache Säure ggf. einen pH-Wert unter 7 (s. a. [3227]). Die meist stark alkalische Reaktion der in SWA vorkommenden, i.d.R. nur solonezartigen Böden wirkt pflanzenschädigend, besonders in der trockneren Jahreszeit mit stärkerer Konzentration des Alkali, so etwa in oft ganz vegetationslosen Sodapfannen.

### 3362 Vorkommen von Solontschaken und solonezartigen Böden

In SWA trifft man Solontschake, zumeist in Form der Krustensolontschake, an sehr zahlreichen Stellen, aber meist örtlich begrenzt. Sie sind überall dort zu

finden, wo Wasser, sei es als Oberflächenwasser an Trockenflüssen, Quellen, Vleys und Pfannen, sei es als „kapillar“ aufgestiegenes Grundwasser, verdunstet ist (Abb. 3.19 und 3.20). Oft entsteht dabei gleichzeitig mit dem weißen Saum des ausgeschiedenen Salzes eine schmierige, schwarzbraune Färbung, die auf Bildung solonezartiger Böden hinweist („Schwarzbrack“). Flächenmäßig am ausgedehntesten sind die Solontschake wahrscheinlich an der großen Etoschafanne, wo oft dezimeter-dicke Salzkrusten mit Salztonen im Untergrund und oft nur ganz spärlicher Halophytenvegetation zu finden sind (Abb. 3 der Farbtafel). Ein Profil hierzu unter einer spärlichen Grasflora:

Sa<sub>1</sub> 0—10 cm dunkelgrauer, lockerer, salzhaltiger Boden,  
 Sa<sub>2</sub> 10—30 cm hellgraue, weißliche, dichte salzige Ausblühungen,  
 Sa/C unter 30 cm sandig, gelblichbraun, locker.

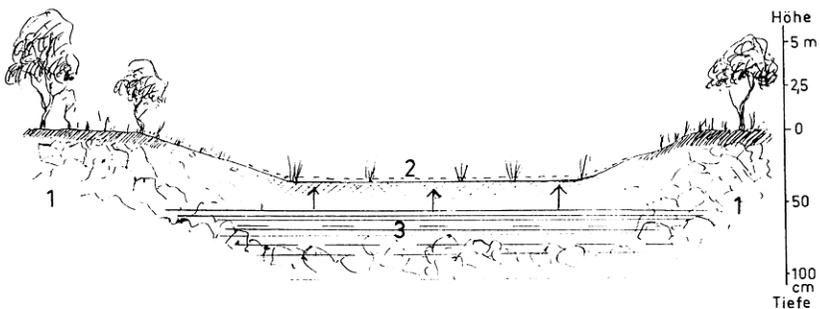


Abb. 3.19. Solontschak

(= Boden mit freien Natriumsalzen), Farm Hayas, 50 km südöstl. der Etoschafanne.  
 Mulde mit Grundwasser.

1. flachgründiger grauer Boden leichter Textur aus Oberflächenkalk unter Trockenwald,
2. Salzboden (mit Kochsalz- und Glaubersalzkrusten) sog. Krustensolontschak, mit Salzflora (Binsenarten).
3. Grundwasserspiegel i. d. Trockenzeit (Juni 1958), aus dem „kapillar“ Wasseraufstieg zur Bodenoberfläche erfolgt, s. hierzu auch *Walter* (38), S. 43.

*Walter* (38, S. 61) beschreibt eine Trockenwaldlandschaft mit Mikrorelief am Omuramba Ovambo im regenreicheren Norden von SWA, wo in den oft nur wenige dm tieferen Lagen der Wald fehlt und stattdessen in der Regenzeit eine wasserbedeckte Wiesenfläche vorhanden ist (Parklandschaft). Außer der von *Walter* geäußerten Vermutung (Fehlen des Waldes infolge Toneinschlammung und zu geringer Wasserdurchlässigkeit der schweren Böden in den flachen Mulden) dürfte sicher als weitere Ursache der Salzgehalt dieses periodisch über-

schwemmen Bodens hinzukommen. Während der Trockenzeit sieht man am Ostrand der Etoschpanne, also nicht weit von der Mündung des oben genannten Omurambas, in den tieferen Lagen Salzböden, nur mit einer spärlichen Halophytenvegetation bedeckt. Auf den nur wenig höheren Stellen wächst hingegen der Trockenwald auf braunen, fast salzfreien Trockenwaldböden [311]. Auch in etwas trockneren Teilen von SWA, z. B. bei Otjiwarongo, kann man ein starkes Zurücktreten der Baumvegetation auf manchen schweren Böden der Omurambentäler zugunsten einer überwiegenden Grasflora beobachten. Auch hier spielt neben der oben von *Walter* geäußerten Ursache schon die hier allerdings geringere Erhöhung des Salzgehalts im Boden des Omuramba gegenüber den baumbestandenen umgebenden Böden möglicherweise eine gewisse Rolle.

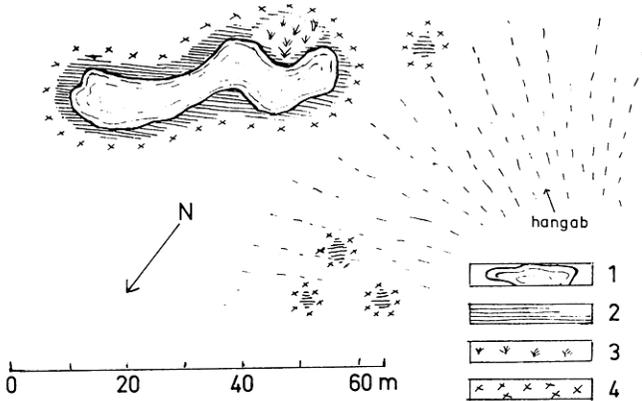


Abb. 3.21. Bodenverteilung an der Wasserstelle Alt-Nomtsas, 40 km NNW von Maltahöhe

1. offenes Wasser während der Trockenzeit (Juli 1958)
2. schmieriger schwarzgrauer Boden, durch Natrium-Ionen peptisiert (sog. „Schwarzbrack“)
3. salzertragende Vegetation
4. Salzausblühungen ( $\text{NaCl}$ ,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  u. a.), z. T. ringförmig um kleine Wassertritte am Hang

Die großen Talzüge und Ebenen, in denen sich in der Regenzeit periodisch oder episodisch Wasser sammelt, zeigen kleinflächig Solontschake oder solonezartige Böden mit entsprechender Alkali- oder Salzflora (Brackbüsche) so z. B. die Grootfonteiner Fläche und andere Teile der Talzüge längs des Schwarzrand- oder Weißrandplateaus oder die kleine Ebene östlich des Naukluftgebirges in

Richtung Nomtsas, in der besonders solonezartige Böden vorzukommen scheinen. Solonezartige Böden und Solontschake zeigt auch die Wasserstelle Alt Nomtsas (Abb. 3.21). Sehr zahlreich sind die abflußlosen Pfannen im Ostteil SWA's (Distr. Gobabis, Kalahari), in denen sich ebenfalls das Wasser der Regenzeit sammelt und seinen an sich geringen Salzgehalt durch Verdunstung konzentriert, so daß nach und nach im Laufe längerer Zeiträume Solontschake, Soda-Solontschake und solonezartige Böden dort auftreten können. Bekannt sind mir einige Sodapfannen zwischen dem Schwarzen und Weißen Nossob, deren Oberfläche wir wegen der stets fehlenden Vegetation schon zu den bodenfreien Gebieten rechnen müssen [43]. Salzpflanzen mit vorübergehender Vegetation sind vor allem im Südosten von SWA zu finden (Abb. 2 der Farbtafel); das Profil eines Krustensolontschaks sei hier genannt, und zwar aus einer Pfanne bei Blumtal nördlich von Aroab; Aufnahme in der Trockenzeit:

Sa <sub>1</sub>	0—2 cm	weiße Salzkuste, bes. NaCl und Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , pH 8,
Sa <sub>2</sub>	2—25 cm	dunkelgraubrauner bis grünlichblauer schwerer Boden, mit Salzadern und -kristallen, frisch,
Sa/G	unter 25 cm	bräunlich mit rostfarbigen Adern durchzogen, unten sehr frisch, doch bis 75 cm kein tropfbares Wasser.

Einzelne beobachtete Vorkommen von Salzböden sind auf der Bodenskizze (Abb. 3.1) verzeichnet, sie können selbstverständlich auch im durchreisten Gebiet keinen Anspruch auf Vollständigkeit erheben. Auch in [142] sind anlässlich der Behandlung des Zuschußwassers einige Salzvorkommen in Böden genannt.

Abschließend kann man feststellen: Verkalkung und Versalzung kommen in Böden aller Trockengebiete, so auch in SWA, vor. Es sind dynamisch verwandte Vorgänge. Hierbei ist es bezüglich der Versalzung nicht wichtig, *woher* das Salz primär kommt; wesentlich ist dagegen, daß es sich im *Boden* allmählich *anreichert*; ein Vorgang, der auf aride Gebiete beschränkt ist. Die Menge des Salzes ist zwar im Vergleich zur Menge des Gesamtbodens meist gering oder sehr gering, aber sie konzentriert sich fast allein auf die durchwurzelte Oberkrume, wo sie wichtige Kationenumtauschprozesse hervorruft, die die Eigenschaften der Böden grundlegend ändern und die Vegetation entsprechend umgestalten und schädigen.

In kleineren Mengen kann man Verkalkung (in Gestalt von CaCO<sub>3</sub>-Krusten oder losen Konkretionen) und Salzanreicherung der Böden (nur etwa rund 0,5 mval Na<sup>+</sup> und 0,5 mval Cl<sup>-</sup> in wässrigem Auszug je 100 g Boden, s. Übersicht 3.3 und 3.5) in weiten Gebieten SWA's auch außerhalb der eigentlichen Salzböden feststellen. Die oben genannten geringen Zahlen für den Salz- und Kalkgehalt werden aber bei Vorhandensein von Zuschußwasser ganz außerordentlich erhöht. Wir finden dann dicke Bänke von ausgeschiedenem CaCO<sub>3</sub> und eine Erhöhung der Na<sup>+</sup> aus freien Salzen oft auf das Mehrtausendfache.

Diese Werte bestätigen die Behauptung der überragenden Bedeutung des Zugschwassers [142] für die Böden von SWA, siehe hierzu die folgende Übersicht 3.3, wo einige Analysenwerte der Kruste von Solontschaken (Sa-Horizont) aus verschiedenen Gebieten von SWA zusammengestellt sind. Wir finden, wie ausgeführt, in verkalkten Böden das Ca als freies Salz, nämlich als  $\text{CaCO}_3$  und z. T. auch als  $\text{CaSO}_4$  (Gips). Daneben ist Ca als Ion überragend am Ionenbelag der Sorptionskomplexe der Böden gebunden. Bei Versalzung kommt Na als freies Salz besonders im Solontschak (als NaCl und  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) vor. Daneben ist es in solonezartigen Böden in wesentlicher Menge im Sorptionskomplex der Böden vorhanden. Infolge Hydrolyse der Na-Tone und -humate (s. o.) tritt dazu noch  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  auf. Wasser in allen Formen kann also zu starken Versalzungen, Alkalisierungen und Verkalkungen führen — eine Tatsache, die daher auch bei *künstlicher* Bewässerung, besonders betr. der Versalzung und Alkalisierung, von ganz überragender Bedeutung sein kann [522]. Aus diesem Grunde war es nötig, hier näher auf die genannten Prozesse, die in unseren humiden Gebieten nicht ablaufen können und daher dort unbekannt sind, einzugehen.

### 337 Böden aus fossilen Rotlehmresten

Bevorzugt im Norden von SWA tritt klein- oder großflächig unter den rezenten Böden ein rötliches Verwitterungsmaterial auf; dieses besteht entweder aus einem rötlichbraunen tiefgründigen Gesteinszersatz grusiglehmiger Beschaffenheit, oder aus rötlichen Quarzsanden (Dünensanden u. ä.), die schon an anderer Stelle [333] genannt wurden oder — am auffallendsten in der Farbe — aus roten plastischen Lehmen. Diese roten oder rötlichbraunen Farben weisen, wie schon hervorgehoben, auf ebenfalls recht warmes, aber zugleich *wechselfeuchteres* Klima zur Entstehungszeit dieser Produkte hin als es heute in SWA herrscht [s. a. 335]. Wahrscheinlich ist dieses Klima einer Pluvialzeit zuzuordnen. Diese Tatsachen bestätigen auch für SWA die Ansichten *Kubienas* (16, 17), daß besonders in warmen Teilen Afrikas nicht bloß die rezente Bodenbildung „in situ“ (aus anstehenden Gesteinen) wichtig ist, sondern auch und oft noch mehr die Bodenbildung aus verschlammten alten Verwitterungsresten. Diese entstammen anderen Klimaten und können, wenn sie erhalten bleiben, noch die heutige Bodenbildung durch die Eigenart ihres Materials beeinflussen.

So fand *Kubierna* (17) im Atakor (Zentrale Sahara, Ahaggargebirge) erhaltene Braunlehmrelikte aus dem jüngsten, subtropisch-tropischen Pluvial und unter diesen z. T. noch ältere, zum mindesten pleistozäne, tropische Rotlehmrelikte. Diese Rotlehmrelikte werden unter den heutigen trockenen Klimaten der zur Rede stehenden Teile Afrikas nicht mehr gebildet. Dies kann man in

SWA z. B. an einer Stelle im Otavital sehr deutlich beobachten. Hier entsteht der rezente Boden in situ aus silikatischen Schiefen als ein brauner Trockenwaldboden (Abb. 1a der Farbtafel).

Als Beispiel dafür, daß die fossilen Bodenreste nunmehr das Ausgangsmaterial eines neuen Bodens bilden können, sei ein Profil in einer Ziegelei-grube im Otavital zwischen Otavifontein und Groß-Otavi genannt. Hier ist ein Grauer Boden schwerer Textur [330] aus einem fossilen roten Lehmrest entstanden. Die Farbe des Ausgangsmaterials ist auch im A-Horizont infolge des deutlichen Rots und der Beständigkeit der Eisenoxide noch etwas durch die dunkelgraue Farbe des rezenten Bodens hindurch sichtbar (Abb. 1 c der Farbtafel).

Man muß demnach feststellen: Es bilden sich unter den heutigen Klimabedingungen an keiner Stelle in SWA weder aus Kalken noch aus silikatischen Gesteinen Roterden oder Rotlehme. Alle rötlichen Bildungen sind daher fossile Verwitterungsreste aus *wechselfeuchterer* Vergangenheit. Dort, wo sich die fossilen roten Reste, seien es Quarzsande, Dünen-sande, lehmiges oder toniges Material erhalten konnten, verleihen sie dem rezenten Boden wegen der großen Beständigkeit des färbenden dehydratisierten Eisenoxids auch unter heutigen Klimabedingungen einen rötlichen Farbton. Dieser begegnet uns daher in weiten Teilen von SWA, im Norden und auch auf den roten Dünen im Kalaharigrenzgebiet. Nicht die Böden, sondern das Ausgangsmaterial ist also in solchen Fällen rot. Böden aus gewachsenen Gesteinen, im heutigen Klima gebildet, zeigen stets bräunliche oder graue Farben.

Außer den genannten Fundstellen für Rotlehmreste im Otavibergland und seiner näheren Umgebung seien noch folgende einzelne oft begrenzte Fundstellen genannt: auf den Farmen Aalborg und Aarhus östlich Tsumeb, Gebiet zwischen Otjikondo und Outjo und bei Kamanjab, im Farmgebiet Rhederstal (Südostgrenze des Kaokoveldes) und ganz allgemein zwischen Waterberg und Otjiwarongo, hier allerdings mit einem mehr grusig-sandigen als lehmigen rötlichbraunen Material.

#### **34 Bodencatenen und Bodenkomplexe als Kombination Zonaler und Intrazonaler Böden in SWA**

Bodenkomplexe und Bodencatenen haben wir nach ihren Definitionen und Bedingungen ihres Vorkommens bereits in [162] genannt. Inzwischen ist auch die Verteilung der Catenaglieder nach den bisherigen Erläuterungen geklärt, so z. B. das Vorkommen von Salzen und Kalken in unteren Gliedern nach [334-336]. Die Bodencatenen bilden in SWA wie in anderen subtropischen und tropischen Gebieten somit eine wertvolle Hilfe bei Zuordnung verschiedener Böden zu bestimmten Reliefformen. Begünstigt wird diese gesetzmäßige Boden-anordnung

und Reliefzuordnung noch durch die vom bodenkundlichen Standpunkt oft gleichwertigen Gesteine, die weite Teile der tropischen und subtropischen Großräume bedecken. Weiter sind uns die Catenen durch die Erkenntnis der tieferen Zusammenhänge zwischen Intrazonalen und Zonalen Böden wertvoll, die durch das Studium dieser regelmäßigen Anordnungen gewonnen werden; besonders auch im Hinblick auf die Erforschung der Bodengenetik in den verschiedenen Landschaften SWA's.

Im folgenden sollen eine Reihe typischer Beispiele von Catenen und Bodenkomplexen an Hand von einfachen Skizzen der Geländequerschnitte, in denen Catenen und Komplexe vorkommen, kurz erläutert werden.

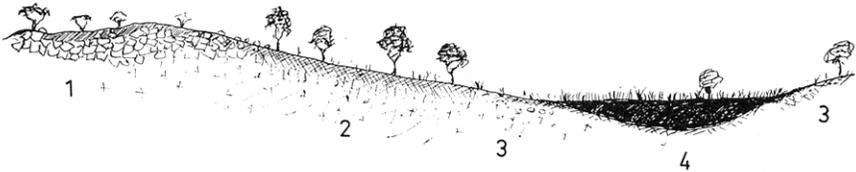


Abb. 3.22. Eine typische Bodenfolge hangab oder „Catena“ im N SWA's; ein Beispiel aus der Farm Graslaagte, etwa 25 km SE Otjiwarongo.

1. Kalkkruste auf Granithügel, kleinere Sträucher, locker wachsende Gräser. Flachgründige, trockene graue Böden leichter Textur.
2. rotbraune Trockenwaldböden aus rötl. altem Granitverwitterungsmaterial, lehmig, tiefgründiger als bei 1, frischer, größere Bäume, dichterer Graswuchs, Boden ohne  $\text{CaCO}_3$ .
3. Randgebiet des Omuramba, tiefgründigere hellgraue Böden aus weichen mergeligen Kalkkonkretionen (sekundäre Kalkverbrackung durch aufsteigende Lösungen), nur z. T. verhärtet mit flachgründigeren Böden.
4. Tal des Omuramba, humose, dunkelgraue Böden schwerer Textur, oft natronhaltig und im Untergrund mit  $\text{CaCO}_3$ . Trockenrisse. Hohes Gras, einzelne Bäume.

### 341 Beispiele für Bodencatenen

Im Norden von SWA ist häufig folgende Bodencatena (Abb. 3.22, s. a. (7), S. 127) zu finden, die von einem Hügel mit Kalkbedeckung als Oberhang oder „Eluvium“ über einen Mittelhang („Colluvium“) mit meist Zonalem Bodentyp, in diesem Falle ein Trockenwaldboden, in den Unterhang (Senke, „Alluvium“) mit dunkelgefärbtem Feinmaterial (Grauer Boden schwerer Textur) hineinreicht. Oft fehlt der Kalk am Oberhang mit seinen flachgründigen, wenig fruchtbaren „Grauen Böden leichter Textur aus Kalk“ [334]. Statt des Omu-

ramba finden wir häufig abflußlose Senken mit dynamisch ähnlichen Böden wie im Omuramba.

Eine eigenartige Catena findet man in manchen örtlich begrenzten Teilen des Otaviales. Sie beginnt an den steileren Oberhängen der angrenzenden Berge, an denen auch Felsen ohne Bodenbildung auftreten können. Es folgen abwärts stein- und felsdurchsetzte Gebirgsböden leichter Textur aus Kalken und Dolomiten, häufig auch kleinflächig gemischt (s. u. bei „Bodenkomplexen“) mit bräunlichen Böden (einer Art Gebirgstrockenwaldböden als modifiziert-zonalem Typ) aus Sand. Noch weiter abwärts folgen Böden, die durch das Vorkommen von Rotlehmrelikten einer warmen Feuchtzeit gekennzeichnet sind [337]. Sie sind z. T. vererdet. Abwärts am Hang sind diese Rotlehmrelikte kurzperiodisch in der Regenzeit durchfeuchtet und dadurch im Unterboden kalzifiziert. Noch tiefer an der heutigen Talsohle sind diese Böden infolge stärkerer Kalzifizierung bis an die Bodenoberfläche grau und graurötlich gefärbt. Es folgen dann in der tiefsten Sohle, entsprechend der oben genannten Catena ebenfalls Graue Böden schwerer Textur mit Rotlehmunterlage, wie sie bereits in [337] geschildert wurden und als Abb. 1 c der Farbtafel wiedergegeben sind.

Als drittes Beispiel einer Catena sei die aus dem Farmgebiet Rehderstal an der Südost-Grenze des Kaokovelds, entstanden unter arideren Klimabedingungen als die beiden vorgenannten, wiedergegeben (Abb. 3.23): Sie beginnt mit dachschieferartig aus dem Hang herausragenden, schwach verwitterten Gneisen fast ohne Bodenbildung, dann folgen wieder zonalbedingte Braune Gebirgsböden und Böden der Halbwüste und unter diesen auch hier kalzifizierte Böden an der tiefsten und daher relativ feuchtesten Stelle.

Die bisher genannten Catenen sowie viele andere, hier nicht aufgeführte weisen trotz individueller Züge auch grundsätzliche gemeinsame Eigenschaften auf. Sie zeigen im Oberhang stets gröbere, im Unterhang stets feinere Korngrößen. Diese können z. T. kolloiddispers oder molekulardispers verteilt abgetrennt werden, wie z. B. Kalziumkarbonat, Natriumhumate und -tonminerale oder Natriumsalze im tiefsten Catenaglied (Mulde, Tal usw.). Im Mittelhang findet man oft die dem Klima entsprechenden Zonalen Böden, was auch schon früher andere Bodenkundler beobachtet haben. Die übliche Reihenfolge ist oft auch dann gewährleistet, wenn die stark dispergierten untersten Catenaglieder materialmäßig nicht aus den Gesteinen der anstehenden Hänge entstammen, sondern schon in geologischer Vorzeit gebildet worden und an den betreffenden Stellen nach Transportweg abgelagert sind, wie manche roten, oben genannten Lehme im Otavital.

Als letztes Beispiel sei eine materiell anders gestaltete Catena aus Material kalkigen Ursprungs aus dem Stadtgebiet von Otjiwarongo genannt (Abb. 3.24). Auch hier ist, entsprechend dem überlegenen Einfluß des Reliefs, das Material

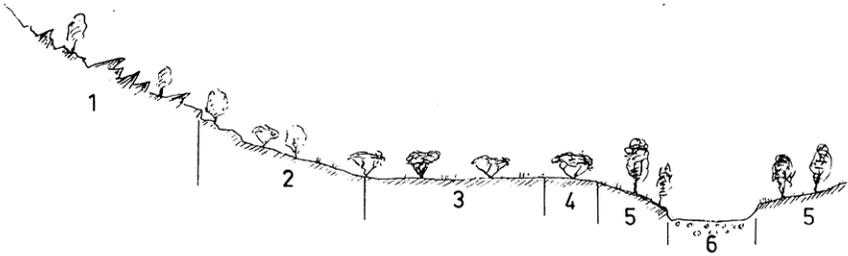


Abb. 3.23. Bodencatena im Gebiet der Farm Rehderstal,  
nördlich Franzfontein (Bez. Outjo)

1. Gneishang, mit eigenartigen Verwitterungsformen. Fehlende oder unvollkommene Bodenbildung
2. Braune Gebirgsböden der Halbwüste, steinig, Quarzitgerölle. Autochthones Ausgangsmaterial
3. Bodentyp wie 2, feiner, tiefgründiger, meist allochthones Ausgangsmaterial
4. wie 3, im Unterboden Kalkkonkretionen
5. Kalzifizierte Braune Halbwüstenböden verschiedener Formen; vom Grundwasser (Kalktransport) und Klima beeinflusste Bodenbildung
6. Riviersande, ohne Bodenbildung

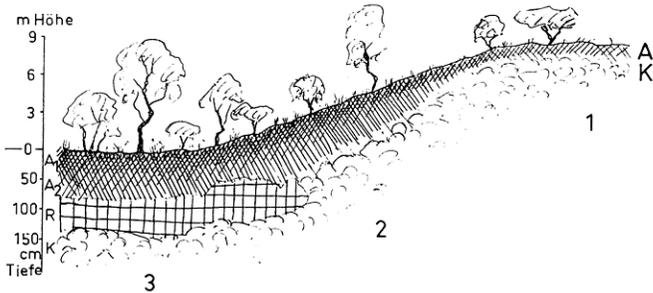


Abb. 3.24. Catena-artige Bodenfolge am Stadtrand von Otjiwarongo  
(im N von SWA) auf Oberflächenkalk

1. Flachgründiger grauer Boden leichter Textur (A) aus Kalk (K) am Oberhang
2. Schokoladenfarbener Boden, oben ohne Kalk, krümeliger und schwerer als 1. A<sub>1</sub> dunkelgrau-braunviolett, A<sub>2</sub> heller.
3. wie 2, Reste fossiler Roterde bei R

korngrößenmäßig sortiert. Der obere Teil ist ein flachgründiger, grauer Boden leichter Textur aus Kalk, trocken, steinig, mit geringwüchsiger Vegetation, bis oben hin karbonathaltig. Weiter unten folgen oberflächlich entkarbonatisierte, tiefgründigere sog. „Schokoladenfarbene Böden“ [335], die im tiefsten Teil von fossilen Roterderesten unterlagert sind. Wüchsigkeit in der Vegetation und die Durchfeuchtung nehmen nach unten zu. Auch diese Catena hat mit den oben genannten gewisse gemeinsame Züge, wenn ihre Glieder auch nur aus Intra-zonalen Böden bestehen.

### 342 Beispiele für Bodenkomplexe

Bodenkomplexe, die man vielleicht als eine Art verkleinerter, sich oft wiederholender Catenen bezeichnen kann, liegen vor, wenn sich zwei oder mehr Bodentypen zu einer, zumeist durch Reliefformen (kleine flache Mulde, Hang, Dünenrücken usw.) bedingten, stets gleichen Anordnung ständig wiederholen [162]. Je nach der gesamten geographischen Situation sind diese Bodenkomplexe in den einzelnen Landschaften verschieden zusammengesetzt. Einige Beispiele mögen dies erläutern:

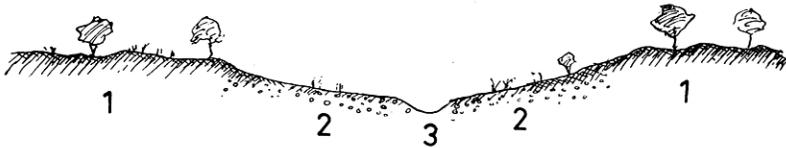


Abb. 3.25. Typische Bodenkomplexe

in der Gegend westlich und südlich Okaukuejo am Westrand der Etoschafanne

1. Böden der Baumsavanne in hängigem Gelände
2. weitgehend kalzifizierte Böden in flachen Tälern (oft km-breit)
3. Bett eines Trockenflusses (Rivier)

In flachwelligen Landschaften mit silikatischem Gesteinsmaterial, wie z. B. südwestlich Okaukuejo (an der Etoschafanne) findet man an den Hängen  $\text{CaCO}_3$ -freie braune Trockenwaldböden, bzw. auch Böden der Baumsavannen, in den flachen, oft kilometerbreiten Talzügen graue Böden aus Kalkkonkretionen u. a. kalkigem Material (Abb. 3.25). Im Gebiet zwischen Outjo und Otjintambi im Nordwesten von SWA bilden hingegen umgekehrt hellgraue Böden leichter Textur aus Kalken an den flachen Hängen und rotbraune Böden aus verschlammten Roterde- und Rotlehmrelikten als Kalkverwitterungsprodukte

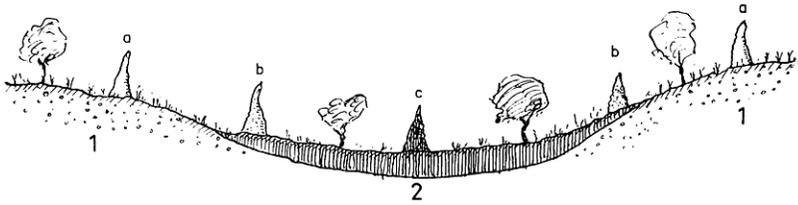


Abb. 3.26 Typische Bodenkomplexe und Termitenhügel  
zwischen Otjikondo und Outjo

a weiße, b rosa, c braunrote Termitenhügel

1. hellgraue Böden leichter Textur aus Kalkkonkretionen und festen Kalken in hängigem, etwas höher liegendem Gelände
2. braunrote Böden auf fossilen, eingeschlammten Rotlehmrelikten in flachen Tälchen. Die verschiedene Färbung der Termitenhügel läßt Rückschlüsse auf die anstehenden Böden zu

früherer Zeiten in kleinen Rinnen mit Abfluß einen Bodenkomplex (Abb. 3.26). Auffallend sind hierbei die gleichen Farben bei Termitenhügeln und Böden. Sogar die Mischfarbe rosa (aus rotem Ober- und weißem Unterboden) kommt vor. Südlich der Etoschapfanne, wo großflächig leichte graue Böden aus z. T. festen Oberflächenkalken vorliegen, sind diese mit dunkelgrauen, schwereren Kalkböden in Senken [335] zu einem Komplex verbunden. Soweit an diesen Stellen Termitenhügel vorhanden sind, sind diese ebenfalls den Böden entsprechend dunkelgrau oder weißgrau gefärbt. Sie erleichtern somit auch hier wie an anderen Stellen eine Bodenerkundung. Im Osten, z. B. im Distrikt Gobabis, kommen Braune Böden leichter Textur im „Sandfeld“ mit Grauen Böden schwerer Textur (mit und ohne kalkige Übergangszone) zusammen vor (Abb. 3.27). An anderen Stellen im Osten und Südosten finden wir Böden auf Dünenansanden, die mit Salzböden in Pfannen einen Komplex bilden, s. a. [336]. Zwischen Otjiwarongo und Waterberg treten oft Böden der Baumsavannen zusammen mit „Vleyböden“ auf und bilden eine verkürzte Catena; die normale war oben [341] bereits geschildert worden.

Im Süden von SWA kommen schon häufiger Komplexe von Böden mit bodenfreien Zonen oder nur bodenartigen Formen vor, die erst später beschrieben werden sollen [44]. Auch echte Bodenkomplexe sind hier vorhanden: so z. B. längs des Schwarzrand- und Weißrandplateaus großflächig kalzifizierte Wüsten- und Halbwüstenböden in Verbindung mit kleinflächig versalzten Böden; ähnliche Verhältnisse herrschen bei Mariental, Gibeon und Tses. Bei Bethanien und Sandverhaar (nahe der Bahnlinie Seeheim—Lüderitz) wechseln Wüstenböden aus anstehenden festen Gesteinen mit leichten, unentwickelteren Böden aus Flugsand. In den ebenen Gebieten um Keetmanshoop, Seeheim, Grünau, Karas-

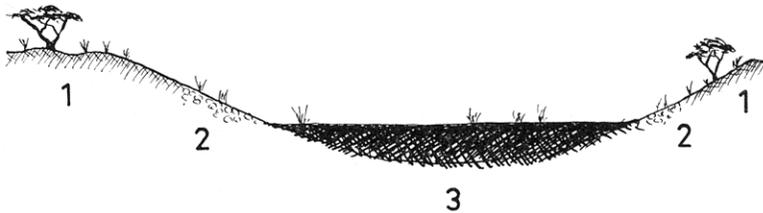


Abb. 3.27. Geländeschnitt durch ein „Vley“  
 (abflußlose Mulde) im Gebiet zwischen Weißem und Schwarzem Nossob (Bez. Gobabis)

1. Braunrote Böden aus rötlichen alten Verwitterungsresten, neutral — schwach sauer, tiefgründig
2. Graue Böden leichter Textur aus Oberflächenskalken, teils loses, teils älteres härteres Material mit flachgründigeren Böden
3. „Vleyböden“, = Grauer Boden schwerer Textur, dunkelgrau, schmierig, teils kalkhaltig, teils kalkfrei, i. d. Trockenzeit von Rissen durchzogen, i. d. Regenzeit oft unter Wasser

burg und Bondelswartgebiet bilden kalzifizierte graue bis graugelbe Wüstenböden, z. T. mit Flugsandüberwehungen [632] und verschlammte karbonatfreie Granitsande fast ohne Bodenbildung eine Art Bodenkomplex.

Eine gesonderte Beschreibung oder Kartierung jedes dieser oft nur kleinflächigen Bodenvorkommen ist aus naheliegenden Gründen unmöglich. Die Beschreibung der für jedes Gebiet typischen Bodenkomplexe gibt aber zunächst eine vollkommen ausreichende Kennzeichnung aller dieser Bodengebiete; nur für spezielle Beschreibungen müßte man einzelne Formen näher umgrenzen.

### 343 Klimatische Bodenlehre und Bodencatenen in SWA

Am Schluß des Abschnitts über die Bodencatenen und damit zusammenhängende Fragen sei noch auf folgendes, schon allgemein erörtertes Problem der Beziehung von Klimafaktoren zum Boden besonders in ariden Gebieten aufmerksam gemacht. *Vageler* wies verschiedentlich auf die Unstimmigkeiten in den Beziehungen zwischen Verbreitung der Bodentypen, besonders in Afrika, und dem Klima hin, vor allem dem Klimafaktor Niederschlagshöhe und kritisierte mit Recht die Anfertigung von Bodenkarten Afrikas nur nach der Niederschlagshöhe gewissermaßen „vom Schreibtisch aus“ sowie die Vernachlässigung des so sehr wichtigen Relieffaktors, der in der von ihm vertretenen Catentheorie bevorzugt zum Ausdruck kommt. Oft tritt also der Fall ein, daß in

Wirklichkeit ganz andere Bodentypen vorhanden sind, als allein nach klimatischen Faktoren zu erwarten gewesen wären.

Wenn im vorliegenden Buch der Klimafaktor in seiner Wichtigkeit für die Ausformung der Bodentypen dennoch stark betont wird, so deshalb, weil auch die *Milne'schen* und *Vageler'schen* Catenen in ihrer jeweiligen Eigenart letztlich doch wieder klimabedingt sind: in den subtropischen Gebieten entstehen andere Catenen am Hang als in den tropischen oder gemäßigten Klimaten, in den feuchtwarmen Gebieten wieder andere als in den trocken-warmen; dies geht auch aus den genannten Beispielen selbst innerhalb SWA's deutlich hervor. Der Ausdruck „klimatische Bodentypen“ muß so verstanden werden, daß einem bestimmten Klima nicht nur ein bestimmter, sondern auch mehrere, durch Catenawirkungen zusammenhängende Bodentypen zugeordnet sein können, die zwar keine „Zonalen“ Böden i.e.S. darstellen, aber doch mit diesen eng verbunden sind, indem sie nur im Verbreitungsgebiet eines bestimmten Zonalen Bodens vorkommen. Es gibt also keine in *allen* Klimazonen vorkommenden, echt „Intrazonalen“ Böden (5, S. 289). Man könnte sie vielleicht eher als „Halbzonal“ bezeichnen (wie dies auch in der Übersicht 4.1 der Böden SWA's geschehen ist), weil bei ihnen nicht nur das Klima (und die Vegetation) der formende Faktor ist, sondern *neben* diesem sich noch andere Faktoren, wie etwa bestimmtes Relief, Anwesenheit von Zuschußwasser, besonderes Ausgangsgestein usw. wirksam sind. Daher hängen auch diese „Halbzonalen“ oder „Intrazonalen“ Böden, wie es das Studium der Catenen bewiesen hat, sehr oft mittelbar oder unmittelbar mit einem bestimmten Klima zusammen: so kommt z. B. der „Graue Boden schwerer Textur“ als „Intrazonaler Boden“ doch nur im Gebiet der Trockenwaldböden und Böden der Baumsavannen vor. Bei gleichem Relief wird dieser Boden in trockneren Gebieten von Salzböden oder takyrartigen Bildungen [43] abgelöst.

Wir kommen also auf diese Weise zu einem tieferen Verständnis der Zusammenhänge zwischen klimabedingten Böden i.e.S., intrazonalen oder halbzonalen Typen und ihren Beziehungen zu den Catenen der einzelnen Klimagebiete. Dennoch ist die Unterscheidung: „zonal“-„intrazonal“ gerechtfertigt, weil die Zonalen Böden größere und zusammenhängendere Flächen (Zonen) einnehmen, in denen die Intrazonalen Böden meist als kleinere Flächen verstreut vorkommen.

### 35 Vergleiche zwischen Böden in Mitteleuropa und in SWA

Es ist nützlich, bestimmte Böden in verschiedenen Klimagebieten miteinander zu vergleichen, da erst dann die Unterschiede in Aufbau, Eigenschaften und

Land	Mitteleuropa	nördlicher Teil von SWA	südlicher Teil von SWA
Klima	humid-gemäßigt (Cf nach Köppen), Niederschläge gleichmäßig über das Jahr verteilt	semiarid (BS nach Köppen) Regen- und Trockenzeit scharf voneinander getrennt	vollarid (BW nach Köppen) nur episodische Regengüsse
1. Vergleich: Böden aus silikatischen Gesteinen am flachen Hang (Gneise, Granite, silikathaltige, CaCO <sub>3</sub> -freie Sandsteine u. ä.)			
Nat. Vegetation	sommergrüne Laub- und Nadelwaldgesellschaften, Rasen von Gräsern und Kräutern	Trockenwälder, Gräser u. a. Bodenpflanzen horstweise	vereinzelt Dornbäume (Acacia-Arten), Milchbüsche, Xerophyten
Bodenreaktion	um pH 5	pH 6,5—7,5	pH 7,5—8,5
Humusgehalt	etwa 5—7 %	um 2 %	um 0,5 % und weniger
vorherrsch. Kationen	H, Ca, Mg	Ca, Mg	Ca, Mg, Na
Skelettgehalt	nach unten zunehmend	örtlich Steindecken	sehr verbreitet Steindecken, darunter feineres Material
CaCO <sub>3</sub>	fehlt stets	nur gelegentlich in geringen Mengen	stellenweise weit verbreitet (Rinden und Konkretionen)
CaSO <sub>4</sub>	fehlt stets	fehlt stets	örtlich vorhanden
Bodentypen	Mitteluropäische Braunerden	Trockenwaldböden	meist Braune (und Graue) Böden der Halbwüsten und Wüsten

Übersicht 3.4. Vergleich einzelner Böden

in Mitteleuropa und verschiedenen Teilen von Südwestafrica in ihren Beziehungen zur Landschaft (nach R. Ganssen und W. Moll (9), S. 12 f.)

Land	Mittleuropa	nördlicher Teil von SWA	südlicher Teil von SWA
Klima	humid-gemäßigt (Cf nach Köppen), Niederschläge gleichmäßig über das Jahr verteilt	semi-arid (BS nach Köppen) Regen- und Trockenzeit scharf voneinander getrennt	voll-arid (BW nach Köppen) nur episodische Regengüsse
2. Vergleich: Böden aus feinem, ursprünglich CaCO <sub>3</sub> -freiem Material in abflußlosen Mulden			
Relief	abflußlose oder nahezu abflußlose Mulde	„Vley“, abflußlos	„Pfanne“, abflußlos, z. T. mit bodenähnlichen Formen
Nat. Vegetation	feuchtigkeitsliebende Bäume (Erlen, Birken, Nadelhölzer, dichter Unterstand, viele Bodenpflanzen)	Gräser, Juncusarten, Bäume oft fehlend oder nur einzeln	oft ganz fehlend oder nur vorübergehend nach der Regenzeit
Bodenreaktion	pH 4—5, bei Nadelhölzern bis 3,5	pH 8—9	pH 9—10
Humusgehalt	10—30 %/o, im Rohhumus gegf. bis 80 %/o	um 3 %/o, z. T. weniger	sehr gering bis fehlend
vorherrsch. Kationen	H, Fe, Al; sehr wenig Ca	Ca, wenig — mäßig Na	Na oft vorherrschend
CaCO <sub>3</sub>	fehlt stets	CaCO <sub>3</sub> -Konkretionen und Bänke oft am Rand einer Mulde, in der Mitte meist fehlend	häufig vorhanden, bes. am Rand der Pfanne
Na-Salze	fehlen stets	fehlen meist	oft vorhanden, auch Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> neben NaCl und Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (Eroscha-Pfanne!)
Bodencatena vom Hang in die Mulde	nur bei tieferen, größeren Mulden deutlich	auch bei ganz kleinen und flachen Senken stets sehr deutlich erkennbar	
Bodentypen	Stagnogleye, Gleypodsole	Graue Böden schwerer Textur (tirsähnlich)	takyartige Böden und bodenähnliche Sedimente mit tief. Rissen in der Trockenzeit, diese oft örtlich auch in semi-ariden Teilen SWA's

3. Vergleich: Grundwasserböden aus Sanden und Kiesen und ursprünglich  $\text{CaCO}_3$ -freiem Material

Nat. Vegetation	Weiden, Pappeln, dichter Unterstand	Anabäume, Giraffenakazien usw.	Tamariskenbüsche u. a. Halophyten
Art des Zuschuflwassers	Grundwasser ständig fließender Flüsse	Grundwasser periodisch fließender Flüsse	Grundwasser episodisch fließender Flüsse
Bodenreaktion	um pH 5—6	um pH 7—7,5	um pH 7,5—8
Humusgehalt	2—5 %, je nach Entwicklungsgrad der Böden	1—2 %	unter 1 %, fehlt oft
$\text{CaCO}_3$	fehlt im gesamten Bereich	$\text{CaCO}_3$ oft als Banke und Konkretionen längs der Flußufer	dicke Kalkbanke und Konkretionen auch weit außerhalb der Flüsse, örtlich Bodenverdrängung durch $\text{CaCO}_3$
Natriumsalze	fehlen im gesamten Bereich	$\text{NaCl}$ und $\text{Na}_2\text{SO}_4$ in der Oberkrume oder im Unterboden	sehr oft Salzkrusten in verdunstenden Wasserresten der Trockenflüsse (Riviere)
Bodentypen	Graue und Braune Auenböden	Solontschake, oft mit tieferem S-Hor., z. T. Graue Böden schwerer Textur in Omuramben	Krustensolontschake und solonezähnliche Böden und bodenähnliche Sedimente

Übersicht 3.4. Vergleich einzelner Böden in Mitteleuropa und verschiedenen Teilen von Südwestafrrika in ihren Beziehungen zur Landschaft (nach R. Garssen und W. Moll (9), S. 12 f.)

Typ	Anz. der Prof.	Mittelwerte im H <sub>2</sub> O—Auszug in mval/100 g Boden							Mittelwerte d. mval-Summen d. Summen	Minimal- und Maximalwerte	
		Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>			CO <sub>3</sub> <sup>=</sup>
Wüstenboden	6	0,10	0,07	0,54	0,19	0,26	0,42	0,0	0,55	0,09	1,07 2,38
Graue Böden der Halbwüste	4	0,06	0,02	0,22	0,70	0,18	0,93	0,18	0,00	0,13	1,92 2,38
Braune Böden der Halbwüste	13	0,75	0,15	0,51	0,56	0,53	0,70	0,49	0,00	0,17	1,34 8,07
Trockenwaldböden	6	0,67	0,04	0,43	0,38	0,19	0,95	0,36	0,00	0,17	2,66 3,12
Braune Böden leichter Textur	9	0,26	0,09	0,17	0,38	0,15	0,85	0,02	0,00	0,19	1,75 2,94
Graue Böden leichter Textur aus Kalk	4	0,80	0,18	1,20	0,02	0,96	0,87	0,00	0,00	0,17	3,49 6,51
Solodartiger Boden am Waterberg	1	1,31	0,61	0,20	0,11	1,15	1,13	0,00	0,00	Sp	—
Braune Böden schwerer Textur	1	0,27	0,21	1,34	Sp	0,15	1,50	0,00	0,00	0,15	—
Graue Böden schwerer Textur	4	0,13	0,36	0,49	0,21	0,13	0,88	0,00	0,13	0,14	1,53 2,53
Solontschake Horizonte Sa	8	648,04	83,72	10,91	5,00	567,09	8,22	42,24	169,08	13,72	621,81 2951,95
"	A/G 8	22,05	6,25	1,79	0,30	15,80	0,73	9,79	11,53	0,06	13,43 92,22

*Mitteleuropäische Vergleichsprofile*

Braunerden podsolig	5	0,06	0,00	0,10	0,44	0,50	0,32	0,00	0,00	0,00	1,52	1,00 1,70
Braunerden	27	0,04	0,00	0,14	0,41	0,48	0,47	0,00	0,00	0,14	1,63	1,32 1,90
Pseudogleye u. Gleye	12	0,04	0,00	0,16	0,27	0,56	0,36	0,00	0,00	0,00	1,41	1,28 1,55
Rendzinen u. Pararendzinen	9	0,04	0,00	1,89	0,36	0,67	0,43	0,00	0,00	0,29	4,13	2,65 5,78
Braunlehme aus Kalk	4	0,02	0,00	0,37	0,28	0,58	0,35	0,00	0,00	0,00	1,60	1,04 2,00

Übersicht 3.5. Vergleich der mval-Summen im wäßrigen Auszug typischer Böden in SWA und Mitteleuropa (nach R. Ganssen und W. Moll (9), S. 22 ff.)

Dynamik der Böden klar hervortreten. Dadurch können sich auch Möglichkeiten einer richtigen, dem Klima und dem Bodentyp entsprechenden Nutzung, Kultivierung und Meliorierung der Böden in den verschiedenen Klimagebieten ergeben. Schon im Vorwort zum vorliegenden Buch wurde auf die Notwendigkeit des Ausbaus einer solchen vergleichenden Bodenkunde hingewiesen.

In den folgenden Zeilen und in Übersicht 3.4 ist ein Vergleich der Böden in SWA und Mitteleuropa so ausgeführt, daß Böden gegenübergestellt werden, die auf bodenkundlich etwa gleichwertigen Gesteinen, ggf. auf gleicher Art des Zuschußwassers (fließendes Grundwasser, Stauwasser) und gleichartiger Geländeform (Hang, Flußtal, Mulde) entstanden sind. Es wurden dabei die natürlichen Vegetationsgemeinschaften in den betr. Klimagebieten zugrundegelegt. Auf diese Weise läßt sich der Einfluß der einzelnen Klimate auf die Bodenbildung isolieren. Dabei wurden in SWA noch die relativ regenreicheren Nordteile und der extremer aride Süden getrennt behandelt (s. hierzu auch 5, S. 292 ff.).

Besonders starke Unterschiede ergaben die Böden mit zusätzlicher Wassereinwirkung, entsprechend der schon oft hervorgehobenen Wirkung des Zuschußwassers in ariden Gebieten. So reagieren z. B. Stagnogleye, Gleypodsole und Waldmoorböden unserer humiden Klimagebiete stark sauer, während die entsprechenden Böden der ariden Klimate SWA's — Solontschake, Sodalontschake und solonezartige Böden — alkalische und extrem alkalische Reaktion zeigen können (s. Abb. 3.4). Die Analysenwerte der Übersicht 3.5 zeigen im wässrigen Bodenauszug der SWA-Böden durchweg einen viel höheren Gehalt an  $\text{Na}^+$  (auch außerhalb der Salzböden) als die Vergleichsböden in Mitteleuropa.  $\text{K}^+$  fehlen in diesen ganz. In SWA ist das  $\text{K}^+$  weniger stark vertreten als  $\text{Na}^+$ .  $\text{Ca}^{++}$  ist in SWA ebenfalls viel mehr als in Mitteleuropa vorhanden, wenn man die entsprechenden Böden vergleicht. Eine Ausnahme bilden nur das Vergleichspaar: graue leichte Böden aus Kalk (SWA) und Rendzinen bzw. Pararendzinen in Mitteleuropa; in den letztgenannten sind wegen des Vorhandenseins von nicht ausgelaugten  $\text{CaCO}_3$ -Resten aus dem Gestein die  $\text{Ca}^{++}$  in etwa gleicher Größenordnung vorhanden wie in SWA. Die stärksten Unterschiede bestehen auch analytisch zwischen den Vergleichsparen: Solontschake (SWA) und Gleye-Pseudogleye (Mitteleuropa), wo in den Solontschaken der Anteil der Salze in der Kruste auf das rund 10 000fache unserer Gleye ansteigt (s. dazu auch Übersicht 3.3). Unter den Anionen sind fast stets in SWA mehr  $\text{Cl}^-$  als  $\text{SO}_4^{=}$  vertreten. In unseren mitteleuropäischen Vergleichsböden fehlen  $\text{SO}_4^{=}$  gänzlich.

#### 4 LOCKERMASSEN OHNE BODENBILDUNG UND BODENÄHNLICHE FORMEN IN SWA

Wie schon oben [1] bemerkt, sind nicht überall in SWA Böden im Sinne der modernen Bodenkunde vorhanden. Mit der allmählichen Abnahme einer ständigen Vegetation infolge stärkerer Trockenheit tritt auch die Bodenbildung zurück. Wir treffen dann Standorte, die nur vorübergehend nach episodischen Regenfällen Pflanzengemeinschaften tragen; diese können infolge jahrelanger Trockenheit wieder verschwinden. Selbst in Gebieten periodischer Regenfälle kann infolge Salzausscheidung nach einem „Gyttjastadium“ der Solontschake (18, S. 65) eine völlige Pflanzenleere eintreten oder auch eine takyartige Bildung entstehen [43]. In der Voll- und Kernwüste fehlt praktisch jeder Pflanzenwuchs<sup>1)</sup> und damit jede Bodenbildung, so z. B. in den extrem wüstenhaften Teilen der Namib. Hier treffen wir dann statt echter Böden nur noch Lockermassen verschiedener, meist größerer Korngrößen oder auch bodenähnliche Feinsedimente.

Es sei hier nochmals ausdrücklich auf die Notwendigkeit einer grundsätzlichen Trennung solcher Lockermassen oder nur bodenähnlichen Formen von den eigentlichen Böden hingewiesen. Daran ändert auch die Tatsache nichts, daß fließende Übergänge zwischen beiden vorhanden sein können. Von seiten der Geologie und Petrographie werden leider auch reine Lockermassen und Verwitterungsdecken vielfach als „Böden“ bezeichnet. Dies ist jedoch unwissenschaftlich: als Böden kann man nur solche Substanzen anerkennen, in denen gegenüber dem ursprünglichen Gesteinsmaterial *neue* Stoffe mit Sorptionseigenschaften (Huminstoffe, Tonminerale, gemengte Gele u. ä.) entstanden sind, die dem Material eine bestimmte Struktur verleihen [1].

<sup>1)</sup> Die wenigen Pflanzenarten, die nur durch die Nebelbildung in der küstennahen Namib gedeihen können, bleiben hier unberücksichtigt.

## 41 Oberflächenformen extremer Wüstengebiete der Namib

Von den Oberflächenformen nehmen Wanderdünen aus losen Dünensanden im Küstengebiet der Namib einen sehr bedeutenden Raum ein.

Wanderdünen (im Sinne von beweglichen Sandmassen, die aber nicht notwendig stets und ständig in gleicher Richtung wandern, sondern je nach Windrichtung sich nur kurze Strecken zu bewegen brauchen) finden sich innerhalb der Namib zwischen Swakopmund und Walfischbay im Norden bis etwa zur Lüderitzbucht im Süden. Ein kleineres geschlossenes Dünengebiet liegt an der Skeletonküste im westlichen Kaokoveld. In den Grenzgebieten der Wanderdünen findet man auch oft geringermächtige Flugsanddecken, z. B. im östlichen Grenzgebiet der Wüste in Höhe des Naukluftgebirges und der Tsaris- und Tirasberge. Diese Sanddecken sind vergleichbar mit den Sandebenen (Hamriya) der Sahara, die in neuerer Zeit u. a. auch *Meckelein* (41, S. 67) beschrieben hat. Nach langen Dürre Jahren, die auch in SWA in katastrophaler Form vorkommen können [121] oder auch nach Weideübernutzung mit und ohne Verbindung mit Dürrezeiten können sich diese Flugsanddecken wesentlich vergrößern. Diese Sande haben auf keinen Fall Bodencharakter; sie können aber, eine Reihe günstiger Regenjahre vorausgesetzt, zu Böden, also zu Pflanzenstandorten werden, besonders bei nur geringen dezimeterdicken Flugsanddecken, die den gewachsenen Boden überdeckt haben und durch den die Pflanzen ggf. hindurchwachsen können.

In anderen, vielleicht noch weiteren Teilen der Kern-, Voll- und Randwüsten in SWA nehmen gröbere Decken (Grus oder Steine), die etwa dem Sserir oder der Hammada der Sahara entsprechen (41, S. 40 ff., 52 ff.) bedeutende Räume ein; so z. B. längs der Bahnlinie Swakopmund—Namib—Ebony (Abb. 4.1) oder zwischen Lüderitzbucht und Oranje.

Auch diesen Materialien ist kein Bodencharakter zuzuschreiben. Man findet aber häufig verkrustete Partien, bei denen nach episodischer Befeuchtung chemische Gesteinszersetzungsprozesse möglich waren, die zur Ausscheidung von Eisen- und Mangankrusten führten. Auch kleine Salzkrusten können gelegentlich auftreten. Alle diese Krusten und Decken aus grobem Material können zum Schutz der Erdoberfläche gegen Windabtrag (Deflation) beitragen [61].

Außerlich bodenähnlicher sind oft verschlammte Feinsedimente gestaltet, die sich, ebenfalls nach episodischen Regen, in Rinnen, Wannern und abflußlosen Senken sammeln. Sie können, wie z. B. im wüstenhaften Hinterland der Walfischbay, Übergänge zu eigentlichen Böden darstellen, wenn sich in diesen Geländevertiefungen eine gewisse Feuchtigkeit eine Zeitlang halten kann. Dies führt zur Ansiedlung sehr weitständiger Wüstenpflanzen von wenigstens vorübergehendem Dasein. Bodenähnlich sind auch die in SWA besonders in trockene-

nen Teilen vorkommenden takyrartigen Formen, die weiter unten [43] zu behandeln sind. Alle diese bodenähnlichen Feinsedimente und bodenfreien Zonen gehen natürlich bei Steigerung der episodischen Niederschläge meist unscharf in breiter Übergangszone in echte Böden über.

## 42 Bodenfreie Gebiete außerhalb der Namib

Bodenfreie Gebiete geringeren Umfanges außerhalb der extremen Trockenzone sind über weite Teile SWA's verteilt, wenn auch hier wieder die Randgebiete der Wüste eine Häufung dieser Formen zeigen.

Am auffallendsten sind zunächst bodenfreie Teile im *Bergland* auch der weniger wüstenhaften Gebiete, so z. B. auf zahlreichen Inselbergen in steileren Hanglagen auch noch in der Mitte von SWA. Noch häufiger finden sich bodenfreie Zonen an manchen Oberhängen der Tafelberge des Südens (Abb. 4.2), wo die Bodenbildung infolge Abtrags immer wieder unterbrochen wird. In relativ feuchteren Teilen von SWA wie im Otavi-Bergland sind auch die Berghänge im Gegensatz zum Süden zum großen Teil mit Vegetation und Böden bedeckt (Abb. 4.3).

Bodenfreie Gebiete findet man ferner in sanderfüllten *Rivierbetten* besonders im Süden, aber auch örtlich in der Mitte des Landes. Starkes Abkommen der Regenflüsse, das besonders dann eintritt, wenn nach extremen Trockenjahren der erste Regen fällt, hat Abrisse von Böden und Geländeteilen am Ufer der Riviere und Sedimentation kiesigen und sandigen Materials ohne Bodencharakter unterhalb der Abrißstellen zur Folge. Die breiten Rivierbetten im Süden, wie z. B. das Bett des Fischflusses, vor dessen Eintritt in das Canon oder das Bett des Leverriviers bei Gelwater (südl. Gibeon) stellen solche Bildungsräume großer unbewachsener Sandflächen dar. Nach den starken Regenfällen des Jahres 1934 erhielt z. B. auch das Schafrivier zwischen Dordabis und Garib-Ost ein sehr breites Bett mit sandigen Lockermassen, das allerdings in den folgenden Jahren mit geringeren Wassermengen beim Abkommen des Riviers allmählich nach Besiedlung mit Vegetation wieder eingengt wurde.

Aus diesen sandigen Rivierbetten kann nun der Wind Sandmassen in Bewegung bringen und diese im Rivierbett selbst oder in dessen näherer Umgebung in Form von Flugsandfeldern oder Dünen ablagern [63]. Ähnliche Prozesse können wir an Pfannen mit takyrartigen Bildungen [43] verfolgen; hier häufen sich, nach Wanderung über die vegetationslosen Pfannen, einzelne Dünen, die offenbar aus in der Nähe befindlichen Flußsanden entstanden sind, am Rand der Pfanne wieder an, da sie dort wegen der Geländegestalt und der dort

wachsenden Büsche aufgehalten werden. Bis zur gelegentlichen Besiedlung mit Vegetation sind also auch diese Sande als bodenfreie, lose Massen zu bezeichnen, die oft die Tendenz zeigen, sich weiter in das unbesandete Gelände auszudehnen.

Meist kleinere, örtlich begrenzte bodenfreie Stellen entstehen auch bei Vorliegen von sehr harten Gesteinen wie z. B. Graniten, Dolomit, alten Kalkverwitterungsdecken u. ä. besonders in der Mitte von SWA, so etwa auch in der Gegend östlich Omaruru oder bei Otavi (Abb. 4.4).

### 43 Takyartige Formen

Takyre sind aus den Trockengebieten der UdSSR zuerst bekannt geworden. Man bezeichnet damit nach *Wilensky* (41, S. 426 f., 435) bodenartige Gebilde mit einer sehr festen und fast wasserundurchlässigen Kruste, die von tiefen Rissen in Gestalt von unregelmäßigen Einzelfiguren durchzogen sind. Die Takyre sind—nach demselben Autor—in der UdSSR gewöhnlich an altalluviale Ebenen und Senken der Vorberge der Trockengebiete gebunden. Sie weisen keine höheren Pflanzen auf und sind höchstens mit Algenarten bedeckt. Es gibt bei ihnen versalzte und nichtversalzte Formen. *Wilensky* spricht weiter von primitiven Solonez- und Solontschakbildungsprozessen innerhalb der Wüstenböden, die mit einer Takyrierung verbunden sind. In einer neueren Veröffentlichung haben *Kuron* und *Janitzky* sich ausführlich mit der Beschreibung der Takyre, ihrem Vorkommen, Theorien der Entstehung und Möglichkeiten der Verbesserung befaßt (19).

Auch in SWA sind Formen vorhanden, die mit den in der UdSSR zuerst beschriebenen Takyren zum mindesten sehr nahe verwandt sind. Bei der Fülle der Arbeit anlässlich der Bodenaufnahmen in SWA war es aber nicht möglich, die Probleme der dortigen Takyrentstehung und der einzelnen takyartigen Formen näher zu verfolgen. Wegen der noch nicht ganz sichergestellten Beziehungen zu echten Takyren habe ich deshalb nur von „takyartigen Formen“ gesprochen; analytische Bestimmungen zur weiteren Aufklärung der Probleme der Takyrierung in SWA mußten zunächst unterbleiben.

Die takyartigen Formen finden sich in SWA bevorzugt in den trockenen Teilen des Landes. Auch hier treffen wir sie in Ebenen, meist abflußlosen Lagen, sowohl als kleine, nur wenige Ar große als auch als vielhektargroße Flächen. Auch in SWA sind diese Formen im allgemeinen reich an Ton und weisen in der Trockenzeit eine harte, in Vielecke zerrissene Oberfläche auf, die nach gelegentlichen Niederschlägen in der Regenzeit nur vorübergehend von einer nur

wenige Zentimeter oder Dezimeter starken Wassersicht bedeckt ist. Die oft festgestellte Anwesenheit von löslichen Na-Salzen läßt auch für SWA die bedeutende Rolle des Natriumions bei der takyrartigen Bildung erkennen. In der Trockenzeit sind die takyrartigen Formen SWA's vegetationslos. Algen als Bedeckung (wie in der UdSSR beschrieben) konnten in der Trockenzeit, in der die Besichtigung der takyrartigen Formen erfolgte, nicht beobachtet werden. An den Randgebieten der einzelnen takyrartigen Formen kann man oft Einwanderung von Vegetation feststellen, womit also der Takyr in einen echten Boden übergeht. Solche Übergänge habe ich daher als „takyrartige Böden“ bezeichnet.

Takyrartige Formen kommen in SWA wie folgt vor:

1. *ohne* makroskopisch erkennbare Salze (aber natürlich mit Na im Sorptionsanteil der Tonminerale) und neutraler bis alkalischer Reaktion;
2. *mit* Natriumsalzen als NaCl oder Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> in größeren Anteilen und oft stark alkalischer Reaktion;
3. mit geringem CaCO<sub>3</sub>-Gehalt.

In relativ regenreicheren Gebieten SWA's kommen ebenfalls örtlich takyrartige Formen vor, wenn auch weniger häufig und in jeweils geringer Fläche, so z. B. im Randgebiet der Etoscha-Pfanne mit sehr tiefen Spalten in der Trockenzeit. In diesem Gebiet ist weniger die absolute Trockenheit als die starke reliefbedingte Anreicherung von Na, auch in Salzform, als die Ursache des Auftretens der takyrartigen Formen anzusehen. Diese treten somit innerhalb SWA's intrazonal auf, wenn auch erheblich stärker in den extremer ariden Zonen.

Kleine Kalkpfannen mit Spalten in der Trockenzeit, wie man sie gelegentlich in der Gegend des Waterberges findet, kann man wegen des Vorherrschens der Ca-Ionen vielleicht als besondere von der Norm abweichende Formen takyrartiger Gebilde bezeichnen. Sodapfannen, wie sie z. B. im Gebiet zwischen dem Weißen und Schwarzen Nossob vorkommen, sind wegen ihrer sehr stark alkalischen Reaktion (pH 10–11) und Vegetationslosigkeit ebenfalls nicht den echten Böden zuzurechnen. Sie sind wegen des Fehlens von deutlichen Vieleckstrukturen nur entfernt verwandt mit takyrartigen Formen (Abb. 4.5). Sie stehen den Salzböden nahe und weisen oft pockenartige Oberflächenformen auf.

#### 44 Zusammenhänge zwischen Böden und bodenartigen Formen in SWA

In Übersicht 4.1 sind Böden und bodenartige Formen nach den Ergebnissen der bisherigen Erkundung zusammengestellt. In gleicher Weise sind einzelne

## A) Zonale Böden

1. Typische Böden aus  
silikatisch-quarzitischem  
Material

## 2. Subtypen und Varianten

## I. Böden der Trockenwälder

NE von SWA, 400—600 m  
Niederschlag,  
Oravibergland, Eroschafanne  
Waterberg,  
A-Hor. ca. 2% Humus,  
B-Hor. bräunlich-rot,  
pH um 7,  
Rinderzucht, in günstigen  
Jahren auch Maisanbau  
in feuchteren Senken

Böden mit grauem oder grau-  
braunem A-Hor.;  
kalzifizierte, versalzte,  
solonezartig veränderte Böden  
bei Grundwasser oder  
Bewässerung;  
Gebirgsböden (z. B.  
Otavibergland);  
rezente Böden aus fossilen  
Rotlehmresten

B) Halbzonale und  
intrazonale Böden  
(oft nur begrenzte Flächen)

Graue Böden schwerer Textur  
in Senken,  
Varianten: Vley- und  
Omurambaböden;  
Solontschake vereinzelt bei  
Grundwasser;  
*Böden aus Kalk*;  
Graue Böden leichter Textur  
(südl. Eroschafanne);  
dunkle CaCO<sub>3</sub>-haltige Böden  
in Senken mit und ohne  
Rotlehmreste;  
schokoladefarbene Böden

C) Bodenähnliche  
Formen und  
Locker Massen

*im Gebiet von I:*  
Pseudorubefizierte Formen u.  
kopfeinplaster-ähnliche  
Strukturen  
nach Vegetationsvernichtung  
mit verhärteter Oberfläche.  
Nur örtlich verbreitet

## II. Böden der Baumsavannen

Übergangsgebiet zwischen  
I und III  
etwa 300—400 mm Nieder-  
schlag, lichtbraune Böden,  
oft wenig differenziert.  
ca. 1,5—2% Humus,  
pH 7—8,  
Rinder- und Schafzucht

oft kalzifizierte und versalzte  
Böden wie bei I

örtlich Graue Böden schwerer  
Textur wie I, aber seltener;  
Böden aus Kalk wie I, aber  
weniger verbreitet;  
örtlich in Senken Braune  
Böden schwerer Textur  
(in relativ trockneren Teilen)

*in allen Gebieten I—IV:*  
Takyartige Formen in Senken,  
bevorzugt im trockneren  
Süden:

mit CaCO<sub>3</sub>,  
mit Na-Salzen,  
ohne Na-Salze u. CaC

*III. Braune und Graue Böden der Halbwüste und Buschsavanne*

im W und mittleren S von SWA, ca. 100—300 mm Niederschlag, leicht graubrauner A-Hor., B-Hor. oft dichter, z. T. braunrötlicher, Humus 1—2 %, pH 7—8, Graue Böden seltener, meist mit CaCO<sub>3</sub>, meist Schafzucht, wenig Rinder

durch stärker Fe-haltige Gesteine brauner gefärbte Böden; Kalzifiziert und versalzt oder solonezartig verändert wie oben, z. T. Übergang in echte Solontschake; Gebirgsböden der Halbwüste (z. B. Schwarzrandplateau, Tsarisberge

Braune Böden schwerer Textur, örtlich; Solontschake und solonez-ähnliche Böden; Graue Böden leichter Textur aus Kalk, wie oben; Braune Böden leichter Textur (Kalahari); sehr arme Böden aus rötlichen Quarzsanden

im Gebiet von III u. IV:  
Verschüttete Böden unter Flugsand;  
Erosive Bodenreste

*IV. Wüstenböden*

im W und tiefen S von SWA, 50—100 mm Niederschlag, Übergang in bodenfreie Lockermassen am Namibrand (s. unter C), Erosionsgefahr, Steindecken, Humus weniger als 1 %, pH um 7,5, Schafzucht extensiv

durch Fe-haltiges Gestein oft bräunliche oder gelbliche Farbe; ± CaCO<sub>3</sub>-reich; kalzifiziert durch episodisches Wasser; Kalkkrusten, Salzkrusten; Gebirgswüstenböden (z. B. Westhang des Nauklufgebirges), sehr steinig

im Gebiet von IV:

Oberflächenformen extremer Wüsten:  
lose Massen, kiesig-steinig, z. T. mit Kalk-, Salz- oder Fe-Krusten;  
lose Dünenande der Namib; zusammengeschlammtes, nur bodenähnliches Feinmaterial in Senken

Übersicht 4.1. Vorläufige Gliederung der Böden, bodenähnlichen Formen und Lockermassen in SWA (s. dazu auch R. Ganssen und W. Moll (9), S. 10 f.)

analytische Daten in den Übersichten 3.1 und 3.2 als Erläuterung hierzu niedergelegt. Ausmaß und Bedeutung dieser Analysenwerte wurden bereits bei der Besprechung der einzelnen Böden gewürdigt.

Aus Übersicht 4.1 ergeben sich verschiedene deutliche Zusammenhänge zwischen Böden, bodenähnlichen Formen und bodenfreien Lockermassen. Man kann die allgemeinen Übergänge von typischen echten Bodenbildungen im regenreicheren Norden über die etwas regenärmere Mitte des Landes zu den nur bodenähnlichen Formen und Lockermassen im Süden und Westen von SWA kurz etwa so formulieren:

*a) zonal*

im Norden:

*weniger arid*  
typische Bodenbildungen  
unter Trockenwäldern  
und Baumsavannen

*arid*

gehemmte Bodenbildung  
unter Buschsavannen und  
Halbwüsten

im Süden und Westen:

*extrem arid*

Lockermassen in Rand-,  
Voll- und Kernwüsten  
ohne Bodenbildung  
(Sand, Steine, Krusten)

*b) intrazonal*  
(in Senken)

Graue Böden schwerer  
Textur (tirsartige Boden-  
bildung)

Braune Böden schwerer  
Textur, seltener takyrartig

Takyrartige Formen  
und bodenähnliche  
Feinsedimente

periodisch wasserbedeckt

nur episodisch wasserbedeckt

Im gleichen Raum können zonale und intrazonale Böden sowie bodenähnliche Formen nach gewissen Regeln zusammen auftreten, s. a. [34], wie es die Beispiele von Geländequerschnitten aus dem Süden von SWA zeigen. Zunächst sei als Beispiel ein Querschnitt mit typischen Bodenbildungen und bodenfreien Lockermassen im Farmgebiet von Haribes (Distr. Maltahöhe) kurz erläutert (Abb. 4.6):

1. „Scherbenböden“ [322] als Subtyp der Braunen Halbwüstenböden aus plattigen quarzitischen Sandsteinen der Fischflußformation an Rücken und flacheren Hängen, lichtbraun — graugelb, flachgründig, gewachsenes Gestein in etwa 1,5—2,5 dm Tiefe.

2. Steilere Hänge der Berge, Gebirgs-Halbwüstenböden [321], oft von Steinplatten durchsetzt, herausragender Fels, sehr trocken.

3. „Kalzifizierter“, d. h. mit  $\text{CaCO}_3$  angereicherter Halbwüstenboden aus meist feinerem Material;  $\text{CaCO}_3$  in sehr verschiedener Menge, herrührend aus dem Wasser des periodisch abkommenden Riviers.

4. Rivierbett, steinig-sandig, oft durchragender Felsuntergrund. Keine Bodenbildung.

5. Böden auf flachen Hochebenen oder kleineren, ganz flachen Mulden. Steinärmerer und tiefgründigerer Brauner Halbwüstenboden als bei 1, bedeckt mit feinerem, oft violettbraunem Material, unterer Horizont oft verdichtet.

6. Rand einer Pfanne: Böden und bodenartige Sedimente aus zusammengeschwemmtem Feinmaterial, gelegentlich Wanderdünen ohne Vegetation und Bodenbildung oder erst beginnende Bodenbildung unter fleckenweise auftretender Vegetation.

7. Takyartige Formen in einer Pfanne mit tischebener Oberfläche, in der Regenzeit schmierig-tonig, in der Trockenzeit verhärtet und in ungleiche Vielecke aufgerissen.

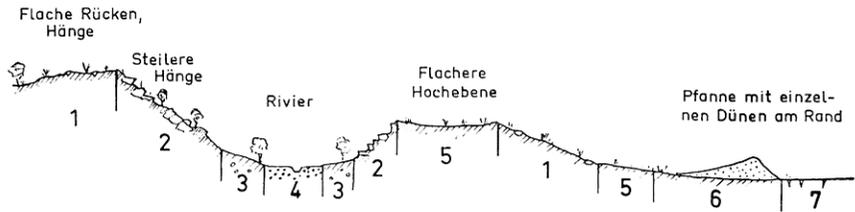


Abb. 4.6. Idealer Querschnitt mit Verteilung von Böden und bodenartigen Formen im Farmgebiet Haribes, 52 km westlich Mariental (südlicher Teil von SWA). Nähere Erläuterung im Text

Zwei weitere Beispiele für regelmäßiges Zusammentreffen von Böden und bodenfreien Stellen aus dem tiefen Süden von SWA sind in Abb. 4.7 und 4.8 dargestellt. Man erkennt hieraus u. a. die Tendenz der Bildung höherer Wanderdünen und ausgedehnter Flugsandfelder, die des öfteren aus den Rivierbetten hinaus weiter in die Umgebung vorstoßen können [632].

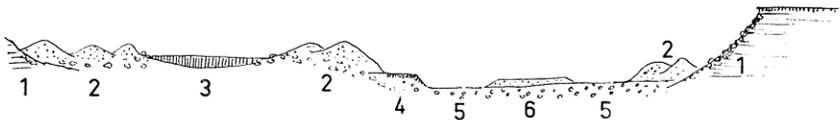


Abb. 4.7. Querschnitt durch das Tal des Fischflusses bei der Mündung des Lewer-Riviers, 45 km südl. Gibeon. Schnittlänge ca. 2 km.

1. Talrand, Unterhang eines Tafelberges, steinige Halbwüstenböden
2. kleinere Dünen, junge braune Halbwüstenböden mit  $\text{CaCO}_3$ , oft auch loser Sand ohne Bodenbildung
3. Senke mit takyartigen Sedimenten, meist ohne Vegetation, örtlich, besonders am Rand, durchragende Scherbenböden
4. Halbwüstenböden aus Flußufersanden,  $\text{CaCO}_3$ -haltig
5. Flußsande, oft mit Salzflecken, ohne Bodenbildung
6. Flugsandfelder auf Flußsanden, ohne Bodenbildung

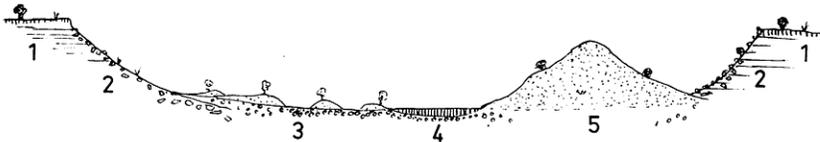


Abb. 4.8. Landschaft und Bodenbildung in einem Seitental des Konkiep-Riviers, eines Nebenriviers des Fischflusses im Süden von SWA. Talbreite etwa 1 km. Höhe der Düne rechts etwa 80 m. Talsohle weitgehend verkalkt.

1. Tafelberghochfläche mit „Scherbenböden“
2. Hang mit Gebirgswüstenböden, Abtrag, pH 7—8, sehr steinreich
3. Kleine Dünen und Flugsandfelder, dazwischen Riviersande, fast keine Bodenbildung. Unter spärlicher Vegetation hellgelbgraue junge Wüstenböden geringer Entwicklung
4. Takyrahnlische Bildung in einer örtlichen Senke
5. sehr hohe Dünen aus rötlichem Sand, keine Bodenbildung, nur punktweise Büsche

#### 45 Zusammenfassung über Böden und bodenartige Formen in SWA

Am Schluß der Darlegungen über Böden, bodenartige Formen und sonstige bodenfreie Oberflächenbildungen in SWA angelangt, kann man zusammenfassend feststellen:

a) In SWA gibt es *nicht überall Böden* im engeren Sinne der modernen Bodenkunde. Im bewußten Gegensatz zu laienhaften, leider immer noch weitverbreiteten Anschauungen müssen wir den Begriff „Boden“ auf lebenerfüllte, strukturierte, wenigstens zeitweise vegetationsbedeckte Lockerdecken beschränken. Wo diese Voraussetzungen nicht zutreffen, liegen keine Böden vor, sondern höchstens bodenähnliche Formen. In SWA sind infolge extremer Trockenheit, Bildung von Wanderdünen und Sodapfannen, ferner in manchen Hanglagen usw. weite Gebiete bodenfrei.

b) In SWA wie in übrigen Teilen der Erde unterliegt die Entstehung und Verteilung der Bodentypen und bodenartigen Formen nicht dem Zufall. Sie wird vielmehr in bestimmter Weise von der *gesamten* geographischen Situation gesteuert. Wir müssen uns daher bei der Genetik der einzelnen Böden vor einer einseitigen Beziehungsgrundlage hüten: es geht nicht an, etwa nur zu sagen, ein bestimmter Bodentyp sei aus Sand und ein anderer aus Granit entstanden, denn diese Angabe bezöge sich einseitig nur auf das Ausgangsmaterial und würde über die Dynamik dieser Böden nichts aussagen. Um ein weiteres Beispiel zu nennen: der „Vleyboden“ entsteht nicht — wie zuweilen behauptet — „auf undurchlässiger Grundlage“ in Mulden; sondern in einer Mulde mit möglichem

Wassereinströmen in der Regenzeit ist erst nach natronhaltiger Sedimentation (infolge ariden Klimas) und daraus folgenden charakteristischen Bodenbildungsprozessen (Dispergierung und Verklebung der Bodenteilchen) undurchlässiges, durch Na-humat dunkelgefärbtes Material neu entstanden; dieses erst führt zu Wasserstau und damit infolge scharfer Austrocknung nach der Regenzeit zur kennzeichnenden *Wechsel*feuchte des nur in dieser Umgebung zu erwartenden „Grauen Bodens schwerer Textur“ mit typischer „hydrogener“ Durchmischung [331].

c) Die Zeit, die für die Bodenerkundung in SWA zur Verfügung stand, reichte nicht für eine genauere kartenmäßige Festlegung einzelner Bodentypen oder bodenartigen Formen aus, sondern nur für eine skizzenhafte Darstellung (Abb. 3.1). Diese gilt besonders für die meist verstreut und kleinflächig auftretenden intrazonalen Typen. Die Bodenerkundung erlaubte aber, die *Art der Bildungsräume bestimmter Typen* zu erfassen. Wir wissen z. B., in welchen Geländeteilen Salzböden, Böden mit Kalkkonkretionen, Graue Böden schwerer Textur usw. vorkommen können. Die Kenntnis der Beziehungen zwischen Böden und Umweltfaktoren sind schon in dieser allgemeinen Form von großem Nutzen, denn wir können dadurch mit großer Wahrscheinlichkeit das Auftreten bestimmter Böden in den ihnen zugehörigen Geländeteilen ableiten. Eine Neuerkundung von Böden in bodenkundlich noch wenig oder gar nicht erforschten Gebieten hat nur dann einen Sinn, wenn die einzelnen vorkommenden Böden nicht bloß aufgezählt, sondern, wie hier geschehen, auch in Beziehung zu ihrer jeweiligen Umwelt gebracht werden; dies gilt vor allem für das Relief und den damit oft verbundenen Wasserhaushalt. Hinsichtlich des Vorkommens von Böden erwies sich daher auch in SWA die Catena-Theorie und die Lehre der Bodenkomplexe als sehr nützlich.

d) Einzelne *analytische* Daten von Böden, deren Beziehung zur Umwelt (z. B. im Gelände, Wasserhaushalt, Gestein usw.) unbekannt sind, haben viel weniger Wert als entsprechende Analysenwerte unserer heimischen Ackerböden, denn die Böden in SWA sind nicht so weitgehend durch Wirtschaft umgeformt und egalisiert wie bei uns. Diese analytischen Daten bedürfen daher in bodenkundlich noch unbekanntem Gebieten der Ergänzung durch die Berücksichtigung des Bodentyps und der schon unter c) genannten Umwelteinflüsse. Ein gleicher Nährstoffgehalt bedeutet z. B. bei einem Boden schwerer Textur in einer Mulde etwas ganz anderes als bei einem benachbarten Trockenwaldboden am Hang. Die in SWA gewonnenen Analysenwerte kann man nicht ohne weiteres mit entsprechenden Zahlen aus mitteleuropäischen Böden vergleichen [521].

e) Die bisherige Erkundung und Auswertung der Böden soll als Grundlage für den folgenden Abschnitt [5] über die Bodenkultur und Bodennutzung

dienen. Diese Ausführungen sollen verhindern, daß diese beiden Arbeitsvorgänge bloß auf reiner Empirie beruhen oder, was noch gefährlicher ist, daß eine falsche Übertragung kultureller Maßnahmen aus dem gänzlich klimatisch anders gearteten Klima Mitteleuropas auf die Böden SWA's stattfindet.

## 5 BODENNUTZUNG UND BODENKULTUR IN SWA

Bodennutzung und Bodenkultur sind in gleicher Weise, wie die Bodenbildung selbst [1], von den verschiedenen Umweltfaktoren abhängig. Dies bedeutet aber, daß eine Bodennutzung nicht überall in gleicher Weise möglich und eine bestimmte Bodenkultur nicht überall in verschiedenen Klimaten gleich wirksam und gleich bodenpflegend sein kann. Man sollte annehmen, daß diese trivial erscheinende Wahrheit zum Allgemeingut aller Bodenwirtschafter, Bodenwissenschaftler und Kulturtechniker geworden sei. Die Erfahrung in vielen Ländern beweist leider oft das Gegenteil. Unendlich viel Arbeit wurde besonders in tropischen und subtropischen Ländern umsonst geleistet, unendlich viel Kapital fehlinvestiert, der Boden weithin degradiert oder ganz entwertet, nur weil der oben genannte wichtigste Grundsatz der Bodenwirtschaft und Bodenkultur unbeachtet blieb (34, S. 28).

Auch in SWA kann man vielerorts verfehlte bodenkulturelle Maßnahmen oder falsche und übersteigerte Bodennutzungen beobachten. In den folgenden Zeilen sollen deshalb einige Grundsätze der Bodennutzung und Bodenkultur vom Standpunkt moderner Bodenauffassung dargelegt werden. Nur eine genaue Kenntnis der in den jeweiligen Böden ablaufenden Prozesse kann Fehlnutzung oder unrichtige kulturelle Maßnahmen verhindern.

### 51 Bodennutzung durch Beweidung und Ackerbau

SWA wird ganz überwiegend extensiv als Weideland genutzt. Im größten Teil des Landes schließen die geringen Niederschläge eine intensivere Nutzung (als Ackerland, Gartenland usw.) aus, sofern nicht besondere kulturelle Maßnahmen (Bewässerung, Düngung usw. der Böden in Farmgärten, s. [521, 522]) dies ermöglichen. Von Natur aus ist nur der höchste Norden von SWA — meist schon außerhalb des Farmlandes — in gewisser beschränkter Weise ackerbaufähig,

sofern hier keine Dürrejahre auftreten und die Niederschläge etwa 600 mm im Jahresmittel erreichen. Im Nordosten schneidet die 550-mm-Grenze der Jahresniederschläge auch das Farmland, und so finden wir dort in örtlich besonders günstigen Lagen die Möglichkeit des Maisanbaus, besonders in den häufig vorkommenden großen, flachen Mulden oder Talzügen mit Grauen Böden schwerer Textur, auf denen sich das Niederschlagswasser in der Regenzeit sammelt. Bei ausreichenden Niederschlägen bleibt dieser Boden genügend lange feucht, um eine intensivere Kultur und ausreichende Ernte zu ermöglichen. Andererseits wird in trocknen Jahren wegen des bald eintretenden Welkepunktes in diesen Böden (viel größerer Gehalt an sorptionskräftigen Bodenbestandteilen als die zwar geringer wasserhaltigen, aber auch viel geringer wasserbindenden „leichteren“ Böden der Umgebung) eine intensivere Nutzung durch Mais und andere Getreidearten erfolglos bleiben (Abb. 5.1).

Innerhalb des Weidelandes gibt es Böden, die wegen der relativ noch ausgiebigen Regenfälle eine Großviehhaltung gestatten (Mitte und Norden des Landes, Abb. 5.2), während die geringen Niederschläge im Süden wegen geringer Bodenbegrünung nur eine sehr dürftige Schafweide erlauben. Die Probleme der Weidenutzung in SWA, die sich aus Verbuschung der Böden, Übernutzung usw. ergeben, haben Walter und Volk (38) erschöpfend dargestellt. Wir werden an diese Ausführungen weiter unten noch öfters von der bodenkundlichen Seite her anknüpfen.

Die Folgen der Übernutzung der Böden durch ungeeigneten Weidegang machen sich z. B. im Bastardland sehr stark bemerkbar. Dies gilt besonders für den südlichen Teil des Rehoboth-Gebietes. Obwohl die Niederschläge (etwa 210 mm im Jahresmittel) für eine richtig geleitete Bodennutzung durch Weide in nicht zu ungünstigen Jahren ausreichen würden, machen Land und Böden einen durchaus wüstenhaften Eindruck, vor allem rund um die kleinen Farmen und Siedlungen, wie z. B. Klein Aub. Dadurch entsteht das Bild einer typischen „man made desert“. Bei Überschreiten der Südgrenze des Bastardlandes hört der wüstenhafte Charakter der Landschaft schlagartig auf. Statt einer nur schütterten Strauchvegetation erscheint eine Grasdecke, die den Boden zu einem wesentlichen Teil bedeckt.

Diese Weideübernutzung kann auch in anderen Teilen von SWA, wenn auch weniger deutlich, zu einer Verstärkung des ariden Charakters von Böden und Landschaft führen. Mittlere Niederschlagshöhen und in diesem Bereich vorkommende Böden stimmen also nicht mehr mit den von anderen Gebieten gewohnten Beziehungen überein. Gebiete mit 100 mm Jahresmittel, die normalerweise Halbwüstenböden aufweisen, sind mit Böden bedeckt, die sonst erst in den Randwüsten vorkommen würden, oder sogar mit bodenfreien Steindecken, den Kernwüsten vergleichbar [41].

## 52 Bodenkulturelle Maßnahmen

Wie oben [51] dargelegt, kann man in einem überwiegend ganz extensiv bewirtschafteten Lande wie SWA nur in selteneren Fällen und nur örtlich bodenpflegliche Maßnahmen zur Steigerung der Bodenertragsfähigkeit durchführen. Diese relativen Ausnahmefälle liegen aber vor, wenn z. B. eine intensive Maisnutzung oder Gartennutzung erstrebt wird, besonders im regenreicheren Norden und, was Gartenwirtschaft oder Kleinfarmbetrieb betrifft, auch in halbwüsten- und wüstenhaften Gebieten des Westens und Südens (Kleinfarmen mit Bewässerung durch Grundwasser im Swakoptal u. a.). Bei diesen örtlich vorkommenden Fällen intensiverer Bodennutzung kann es aber an zwei Wachstumsfaktoren zur befriedigenden Ertragsleistung fehlen: an Bodennährstoffen oder an Bodenwasser.

Bei nährstoffarmen Böden, wie sie schon *Walter* (38, S. 46) beschrieben hat und wie sie oben [333] erwähnt sind, würde man geneigt sein, in den oben genannten Fällen durch Mineral- oder ggf. Stalldünger diesem Mangel abzuhelpfen. Hierbei würde neben der Gabe von Makronährstoffen auch eine solche von Spurenelementen notwendig sein können. Den Wassermangel, der bestimmt ist für ein Trockengebiet wie SWA, würde man, wenn es die Wirtschaft zuläßt und Wasser als Grundwasser aus dem Untergrund zur Verfügung steht, im Falle intensiver Kultur durch Bewässerung ausgleichen können.

### 521 Die Bodendüngung in SWA

Zum Problem der Düngung von Böden und Pflanzen in SWA seien folgende Bemerkungen vorangeschickt: Als Düngung bezeichnet man (nach *Haselhoff*) die Zufuhr von Stoffen zum Boden, durch die der Vorrat des Bodens an Nährstoffen, die durch die Kulturpflanzen aufnehmbar sind, sei es mittelbar oder unmittelbar, ergänzt und erhöht wird. Sie bezweckt u. a. auch eine Ergänzung bestimmter Kationen (besonders in humiden Klimaten) als Ersatz für ausgewaschene oder durch Ernten entzogene. Diese Stoffe sollen nicht allein der Pflanzennahrung dienen, sondern z. B. gleichzeitig die Bodenstruktur verbessern, wie etwa Düngekalk, Gründüngung, künstliche Huminstoffe (*Huminal* u. ä.) oder Stallmist.

Die zugeführten Stoffe, besonders die Kationen der Düngesalze, setzen sich mit den reaktionsfähigen Bodenteilen um. Diese Teile (Huminstoffe, Tonminerale u. a.) treten mit den zugeführten „Basen“ in eine Umtauschreaktion ein, indem ein Teil der zugeführten Kationen sorbiert und ein aliquoter Teil anderer Kationen in die Bodenlösung übertritt; aus dieser stehen sie den Pflan-

zen unmittelbar zur Verfügung. Die reaktionsfähigen Bodenteile üben also dabei eine Art Pufferwirkung aus, indem sie die zugeführten Düngesalze, die infolge Durchwaschung im Bodenprofil verteilt sind, zunächst aufnehmen und dadurch eine zu starke unmittelbare Wirkung der Ionen der zugeführten Salze auf die Pflanzenwurzeln abschirmen.

In humiden Klimaten sind, von Ausnahmefällen abgesehen, genügende Wassermengen zur Durchwaschung und zur Herstellung von solchen Bodenlösungen vorhanden, aus denen die Pflanzen ohne weiteres die benötigten Nährstoffe im Austausch gegen H-Ionen aufnehmen können. Auch noch beim gelegentlichen Fehlen der Bodenlösungen ist die Pflanzenwurzel imstande, vermittels Kontaktumtausch mit den reaktionsfähigen Bodenteilen die Kationen aufzunehmen. Aber alle diese geschilderten Vorgänge, auch der Kontaktumtausch, sind dennoch an gewisse Feuchtemengen gebunden, denn ohne diese könnten naturgemäß solche Umtauschvorgänge an den „Kolloidsystemen“ Bodenoberfläche – Wurzelhaare überhaupt nicht ablaufen. In den monatelangen, z. T. auch jahrelangen Trockenzeiten und Dürreperioden muß also eine Aufnahme von Nährstoffen, also auch von Düngesalzen mit und ohne Vermittlung von reaktionsfähigen Bodenteilen völlig ruhen. Auch in der Regenzeit findet im Vergleich zum humiden Mitteleuropa oft eine nur geringe Bodendurchfeuchtung statt. Häufig bleibt der Mineraldünger ungelöst an der Bodenoberfläche liegen oder es entstehen sehr konzentrierte Bodenlösungen, in denen, wie oben dargelegt [22], ein anderer Ablauf der Umtauschreaktionen stattfindet (verstärkte Aufnahme einwertiger Kationen, so auch  $\text{Na}^+$ ) als in humiden Gebieten. Es entsteht hierbei trotz Ausscheidung von  $\text{H}^+$  durch die Pflanzenwurzeln eine alkalische Bodenreaktion, da Natrium und andere Kationen verstärkt aufgenommen und zweiwertige Kationen nicht, wie in humiden Gebieten, ausgewaschen werden. Ferner ist noch folgendes zu bedenken: in typischen Trockengebieten wie in SWA herrscht auf weiten Flächen wegen des Wassermangels im Vergleich zu Mitteleuropa eine nur *gehemmte* Bodenbildung vor, d. h. es werden weniger sorptionsfähige Körper wie Tonminerale, Huminstoffe usw. als in den Böden der humiden Gebiete gebildet. Wird nun der Boden mit Mineraldünger bestreut, so entstehen nicht nur (s. o.) sehr konzentrierte Bodenlösungen nach Durchfeuchtung durch Regenfall, sondern die geringe Menge der Sorptionsträger in den Böden werden auch oft nicht in der Lage sein, die Salzwirkung der Mineraldünger in oben beschriebener Weise abzupuffern, besonders auch, da die Einwaschung des Mineraldüngers in den Boden ausbleibt oder ungenügend ist. Es verbleiben wegen mangelnder Durchfeuchtung und fehlender Auswaschung sehr konzentrierte freie Salzlösungen im Boden zurück, mit allen damit zusammenhängenden pflanzenschädigenden Folgen.

Man kann zusammenfassend feststellen:

Eine Bodendüngung mit den üblichen Mineraldüngern hat nur dann Zweck, wenn eine genügende Wassermenge im Boden zur Verfügung steht. Nur dann löst sich das Düngemittel und damit der zugeführte Nährstoff (als Makro- oder Mikronährstoff) und kann ggf. nach Umsatz mit den Sorptionsträgern des Bodens aus Bodenlösung oder mittels Kontaktumtausch durch die Wurzelorgane der Kulturpflanze aufgenommen werden.

Während der häufigen und langen Trockenzeiten und Dürreperioden in SWA, während der nur ein Bruchteil der durchschnittlichen Jahresmenge an Niederschlägen fällt, kann also gar keine Düngewirkung, evtl. sogar eine Pflanzenschädigung eintreten, während in regenreichen Jahren auf dem gleichen Ackerland (Mais, Weizen) ein voller Erfolg festzustellen ist. In trockenen Jahren findet man noch nach langer Zeit den ausgestreuten, aber unverbrauchten Dünger im Boden; in einer kommenden größeren Regenzeit mit genügend tiefer Bodendurchfeuchtung kann aber dieser unverbrauchte Dünger ggf. noch eine Erhöhung der Ernte bewirken.

#### 5211 Schwierigkeiten bei der Wahl der Düngemaßnahmen

Die Frage, ob ein Düngemittel auf einzelnen Feldern oder Gärten notwendig oder überflüssig ist, kann in SWA durch Nährstoffanalysen auf K, P, N usw. nicht allein beantwortet werden. Man muß sich hüten, Erfahrungen, die für die Kulturgebiete Mitteleuropas und allenfalls auch für die feuchteren Gebiete von Südafrika gelten, auf das viel trocknere SWA zu übertragen. In unseren Trockengebieten enthält der Boden im allgemeinen mehr Pflanzennährstoffe als in Feuchtgebieten, wenn man von ganz extrem verarmten Quarzsandböden absieht [333]. Dies liegt in der fehlenden Bodenauswaschung der Trockengebiete begründet. Es kann sogar in diesen Gebieten eine Anreicherung der Nährstoffe in der Oberkrume durch aufsteigende Bodenlösungen stattfinden. Dazu noch ein weiteres Beispiel: Der Kernnährstoff Phosphor wird von hiesigen Farmern zumeist als Superphosphat (Formel etwa  $\text{CaH}_4(\text{PO}_4)_2 \cdot \text{CaSO}_4$ ) gegeben, das in humideren Gebieten wegen seiner leichteren Löslichkeit im Boden und günstigen Aufnahmefähigkeit für Pflanzen sehr wirksam ist. Diese leichte Löslichkeit gilt aber nur für schwach saure Kulturböden (um pH 6–6,5), wie sie tatsächlich auf den Ackerböden in unseren humiden Gebieten am häufigsten sind. In SWA zeigt aber die Mehrzahl der Böden einen Überschuß von  $\text{Ca}^{++}$  im Boden, oft sogar freies  $\text{CaCO}_3$  und daher einen pH-Wert von 7–8. Sie reagieren also in diesen Fällen leicht bis mäßig alkalisch. Diese Reaktionsstufe und der Ca-Überschuß machen aber das Superphosphat viel schwerer pflanzenlöslich, da es in tertiäres Phosphat  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$  überführt wird (aus diesem Grunde wird es bei uns nicht mit  $\text{CaCO}_3$  oder CaO zusammen gegeben!). Die selbe Wirkung hätte dann auch feingemahlene und billigere Rohphosphat

oder auch in geeigneten Fällen eine Gabe Phosphat als „Futterkalk“ unmittelbar an die Weidetiere.

In günstigen Regenjahren kann der Farmer am besten selbst feststellen, welcher Dünger fehlt, indem er z. B. einige Reihen von Maispflanzen düngt und die nächsten anschließenden Pflanzenreihen auf gleichem Boden und gleicher Frucht ungedüngt läßt. Am Wuchs der Kulturpflanzen und am Ernteertrag kann er dann die Notwendigkeit einer Düngung erkennen.

#### 5212 *Bodenentwicklung und Nährstoffgehalt in SWA*

Die geringe Entwicklung mancher Böden in SWA bringt es mit sich, daß, wie oben erwähnt, Nährstoffanalysen viel weniger als bei uns in Mitteleuropa als maßgebend für einen Düngerbedarf gelten können. Böden, die nach Analysen von Versuchsstationen einen viel zu geringen Nährstoffgehalt aufweisen, bringen tatsächlich, genügende Regenfälle vorausgesetzt, gute Ernten, wenn die sonstigen Bedingungen erfüllt sind; wie etwa lockerer, tiefgründiger Boden, der die Pflanzenwurzeln befähigt, einen großen Bodenraum zu durchwurzeln und damit einen Nährstoffmangel auszugleichen, ferner ausreichender Humusgehalt, günstige Bodenreaktion (neutral bis schwach alkalisch), keine Versalzung des Bodens [5222].

#### 5213 *Zur Frage der Stalldünger*

An der Zweckmäßigkeit des Stalldüngers als Mittel zur Bodenverbesserung und Ertragssteigerung wird in unseren humiden Gebieten niemand zweifeln. So lag es nahe, im Bereich intensiverer Bodennutzung in SWA, also meist in Farmgärten, ebenso einen dem Stalldünger entsprechenden Naturdünger, nämlich den Kralmist vom Groß- und Kleinvieh, als Bodenverbesserungsmittel zu verwenden. Nach den Erfahrungen in zahlreichen Farmen ist auch ihm kein oder nur ein recht geringer Erfolg beschieden gewesen. Auch er wirkt nur bei genügender Bodendurchfeuchtung, denn im Falle seiner Verwendung droht sonst eine zu starke pflanzenschädigende Konzentrierung der in ihm enthaltenen Nährstoffe. Außerdem kann er in manchen Fällen eine gewisse Bodenversalzung hervorrufen: da infolge des oft relativ salzreichen Wassers auch die Ausscheidungen des Viehs salzhaltiger sind als bei uns (noch verstärkt durch Eindunstung des Harns im ariden Klima), kommt es zu einer Salzanhäufung im Boden, die infolge des ariden Klimas nicht, wie in Feuchtgebieten, durch reichliche Niederschlagswässer entfernt werden kann. Durch Versalzung und Alkalisierung (s. ausführlicher in [5222]) kann also bei Stalldüngergebrauch nicht nur keine Ertragssteigerung und Bodenverbesserung, sondern sogar in ungünstigen Fällen eine Ertragsminderung eintreten.

In allen Trockengebieten begrenzt der Wassermangel die Fruchtbarkeit des Bodens weitaus stärker als ein Mangel an Pflanzennährstoffen. Es ist daher verständlich, daß die künstliche Wasserzufuhr durch Beregnung, Überlaufen von Wasser usw. für die Steigerung der Erträge an Kulturpflanzen eine überragende Rolle spielt. Auch in SWA ermöglicht überhaupt erst eine Bewässerung eine Heranzucht von Gemüse u. ä. anspruchsvollen Kulturpflanzen, z. B. im Kleinfarmbetrieb im Trockenbett des Swakops in der extremen Wüste oberhalb Swakopmunds. Nur hierdurch kann ggf. auch eine Mineraldüngung wirksam werden [521]. Fast alle Farmgärten in SWA verdanken fast allein der künstlichen Wassergabe ihre Ertragsfähigkeit. Auch einige größere landwirtschaftliche Nutzflächen, wie z. B. einige Ländereien der Tsumeb-Mine, sollen auf diese Weise fruchtbar gehalten werden.

Häufig büßten aber nach einer Reihe von Jahren die derart bewässerten Böden nach anfänglich erheblicher Steigerung der Erträge ihre Fruchtbarkeit und Ertragsfähigkeit ein. Der vordem oft lockere, biologisch günstig strukturierte Boden wurde stark alkalisch und seifig-schmierig (als ob der Tonmineralgehalt höher geworden wäre!) und in der nicht bewässerten Periode steinhart und rissig. In anderen Flächen schieden sich weiße Salzkrusten auf den Böden ab. Oft konnte man auch Alkalität und Versalzung nebeneinander beobachten. Diese Prozesse, die bei allen bewässerten Böden in SWA eine sehr große Bedeutung besitzen, sollen im folgenden vom Standpunkt der modernen Bodenkunde aus behandelt werden.

#### 5221 *Vergleiche von Bodenbewässerung in humiden und ariden Gebieten*

Wie bereits dargelegt [12, 14], unterscheiden sich humide und aride Gebiete grundsätzlich in ihrem Gesamtwasserhaushalt. Hierunter sei verstanden: die verschiedenen *Wassermengen*, die verschiedenen *Bewegungsrichtungen* der Bodenlösungen (auf- und absteigende), die verschiedenen *Konzentrationen* der Bodenlösungen sowie die sich daraus ergebenden *selektiven* Kationensorptionen aus den Bodenlösungen innerhalb der verschiedenen Klimabereiche — nämlich die Anlagerung von überwiegend einwertigen Kationen wie Na aus konzentrierten Lösungen arider Klimate und von überwiegend zweiwertigen Kationen wie Ca und Mg aus verdünnteren Lösungen humider Gebiete. Als Folge dieser Prozesse entstehen, wie bereits dargelegt, in Böden arider Gebiete:

- a) Na-haltige Sorptionsträger und daraus z. T.  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  durch Hydrolyse (Alkalisierung),
- b) freie Na-Salze auf oder im Boden [336] durch aufsteigende Lösungen (Versalzung).

Die Prozesse a) und b) sind demnach grundsätzlich zu unterscheiden; sie können aber gleichzeitig nebeneinander vorkommen.

Auch in SWA kommen Alkalisierung und Versalzung, wie schon mehrfach betont, von *Natur* aus, ganz besonders in Gegenwart von Zuschußwasser jeglicher Art, sehr verbreitet vor. *Gleiche oder ähnliche Prozesse können aber auch bei künstlicher Bewässerung jeder Form ablaufen*, sei es bei Rieselbewässerung, wo das Wasser auf dem Boden verdunstet, oder bei künstlichem Grundwasseraufstau. In allen Fällen verdunstet das Wasser sehr rasch, auch das „kapillar“ aufsteigende Grundwasser aus einem künstlich aufgestauten Wasserhorizont und läßt die stets im Wasser gelösten Salze, auch wenn diese in nur ganz geringer Menge vorhanden sind, im oder auf dem Boden zurück, wo sie sich nach jahrelanger Wassergabe über die pflanzenschädigende Grenze hinaus anreichern können. Gleichzeitig entstehen auch innerhalb des Bodens konzentriertere Lösungen, wodurch sich die schon mehrfach genannten Natriumhumate und Natriumtonminerale mit folgender Alkalisierung ergeben. Pflanzenschädigende Bodenveränderungen durch Bewässerung können also auch dann schon vorhanden sein, wenn noch gar keine *freien* Salze im Boden vorliegen, sondern das Natrium in den oben genannten Formen gebunden ist. Na-humate sind schon in geringer Menge an der schwarzen bis schwarzbraunen Verfärbung der Böden und der seifenartig schmierigen Struktur erkennbar; diese Böden sind nach Aufhören der Bewässerung steinhart und rissig.

Enthält das Bewässerungswasser, wie vielfach in ariden Gebieten, von vornherein einen relativ hohen Gehalt an Na-Salzen, dann werden natürlich schädliche Salzkonzentrationen oder Alkalisierungen um so eher auftreten. Verantwortlich für Alkalisierung und Versalzung ist aber letzten Endes allein das aride Klima SWA's.

Wenn z. B. 1 Liter Wasser nur 0,01 g Salze enthält und mit diesem Wasser 1 Liter Boden in einem Farmgarten erstmalig durchfeuchtet wird, so enthält diese Raummenge vorher salzfreien Bodens nach Verdunstung des Wassers (da eine Durchspülung fehlt) ebenfalls 0,01 g Salze, also eine zunächst völlig unschädliche Menge. Nach hundertmaligem Begießen etwa im Laufe von 3—4 Jahren, ist diese Menge schon auf 1 g Na-Salz je Liter Boden angewachsen und nach 30—40 Jahren auf etwa 10 g. Selbst wenn ein gewisser Anteil dieser Menge durch Sorption in die bodenreaktionsfähigen Teile aufgenommen wird und auf dem Wege des Kationenumtausches dafür zweiwertige Kationen in die Bodenlösung abgegeben werden, so bleibt doch neben der stark pflanzenschädigenden Alkalität eine ungünstige Ionenwirkung auf die Zellen der Pflanzenwurzeln bestehen.

Neben den ausgeschiedenen Natriumsalzen trifft man oft noch Krusten von Gips und Kalk auf den Böden, entsprechend etwa den natürlichen Kalkkrusten längs der Riviere, die aber für die Pflanzen im allgemeinen unschädlich sein dürften.

Zwischen den Folgen der Bewässerung in humiden und ariden Gebieten bestehen demnach nicht bloß gradmäßige, sondern besonders auch *grundsätzliche* Unterschiede. Sie lassen sich letzten Endes in ihrer Gesamtheit aus der Tendenz zur Auslaugung oder Aufspeicherung von Natriumverbindungen oder Natriumsalzen erklären. Eine Bewässerung von Böden in einer nur sommerlichen Trockenzeit unserer humiden Klimagebiete bedeutet für die Böden etwas völlig anderes als in *dauernd* trocknen Gebieten, da die geringen etwa ausgeschiedenen Kalzium- und Natriumsalze im humiden Klima während der winterlichen Durchfeuchtung wieder ausgelaugt werden.

Eine Bewässerung selbst mit etwas salzhaltigem Wasser würde also im humiden Klima keine Salze im Boden zurücklassen, da diese bzw. deren Umtauschprodukte stets wieder ausgewaschen werden. Einbrüche von stark salzhaltigem Meerwasser, wie 1953 in Holland oder 1962 im Gebiet von Hamburg, bleiben daher meist oft ohne langdauernde Folgen, da die Meeressalze infolge des perhumiden Klimas bald wieder verschwinden. Aus den sehr verdünnten Bodenlösungen der Gebiete an der Nordseeküste wird leicht Kalzium und Magnesium in die reaktionsfähigen Bodenteile eingetauscht, während Natrium in die Bodenlösung übergeht und ausgewaschen wird.

Diese Auswaschungsvorgänge entfallen in ariden Gebieten. Wir finden daher in diesen Zonen überall — sei es in SWA, Pakistan, Afghanistan, Libyen, Ecuador, Sudan, Irak, Argentinien usw. — stets die gleiche Alkalisierung- und Versalzungstendenz. In einer neueren Veröffentlichung hat auch *Wilhelmy* (43, S. 398) auf diese Prozesse in den Bewässerungszonen am Rio Negro (Argentinien) hingewiesen.

Daß in Ägypten trotz mehrerer 1000 Jahre alter Bewässerungssysteme keine Versalzung der bewässerten Böden auftrat, ist kein Gegenbeweis für obige Ausführungen. In diesem Lande sedimentiert der Nil mit jeder Überschwemmung neues, fast salzfreies, zur raschen Bodenbildung neigendes Feinmaterial auf das Bewässerungsland<sup>1)</sup>. Ferner „verschwendeten“ die alten Bewässerungssysteme das Wasser, d. h. sie brauchten je Flächeneinheit viel mehr Wasser, als zum Gedeihen der Kulturpflanzen unbedingt nötig war. Das Wasser überströmte und durchspülte die Böden und nahm etwa ausgeschiedenes Salz oder natronhaltig gewordene Bodenfeinteile wieder mit sich fort. Britische Bewässerungstechniker führten einmal, wie *Vageler* (35, S. 9 ff.) berichtet, örtlich eine

<sup>1)</sup> Bedenklich erscheint im Hinblick auf die geplanten großen Dammbauten in Ägypten u. a. ariden Gebieten die Tatsache, daß der fruchtbare Schlamm bei den modernen Bewässerungssystemen nicht mehr auf die Felder gelangt, den Boden also nicht mehr „verjüngt“, sondern nur noch nutzlos die Staudämme auffüllt — worauf *Vageler* ausdrücklich hinweist (35, S. 11).

scheinbar rationellere Bewässerungstechnik ein. Ingenieurmäßig war sie richtig, bodenkundlich aber falsch durchdacht: sie vergrößerte die zu bewässernde Fläche bei gleicher Wassermenge um ein Mehrfaches; das Wasser des Nils durchströmte aber nun nicht mehr den Boden, sondern verdunstete auf ihm. Er wurde dadurch binnen weniger Jahre infolge Versalzung unfruchtbar. Die erst sehr hohen Baumwollerträge gingen auf ein Minimum zurück.

Für die geschilderte Dynamik der Bodenversalzung ist es im übrigen völlig gleichgültig, ob die zu bewässernden Böden *vor* Bewässerung noch fast salzfrei waren oder nicht. Wesentlich sind nur die geschilderten Prozesse, die *nach Beginn* der Bewässerung zu den pflanzenschädlichen Bodenveränderungen führen.

#### 5222 *Die Gefahren der Bodenbewässerung in SWA*

Nach den bisherigen Darlegungen ist es verständlich, wenn auch im Trockengebiet SWA's zunächst eine möglichst ausgedehnte Bewässerung zur Erhöhung der Bodenerträge bei intensiver Bodenwirtschaft angestrebt wurde. Ebenso klar liegen aber nunmehr die Gefahren der Versalzung und Alkalisierung vor uns, die in der Regel, wenn auch nicht immer, in SWA schon einige Jahre nach Bewässerung eintreten können. Schon die Natur weist, wie bereits hervorgehoben [336], auf die Möglichkeiten der Salzbodenbildung hin. Sie tritt — wie wir gesehen haben — auch bei nur schwach salzhaltigen Wässern, deren Gehalt an NaCl, Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> usw. geschmacklich kaum feststellbar ist, in erheblichem Maße auf (Quellen und Wasserstellen: Kainuchas, Hauchabfontein, Waterberg, Erikskons-Pütz, Klein Omaruru, Hayas u. a.). Auch beim Verdunsten der regenzeitlichen Wasserreste in den Rivieren entstehen oft Salzränder und -flecken. Sie sind deshalb von Bedeutung, weil sie beweisen, daß das Wasser aus einer einzigen Regenzeit bereits wesentliche Salzmengen, die aus dem geringen Salzgehalt der großen Fläche der durchströmten Böden stammen, liefern kann (s. hierzu *Kubiena* 18, S. 64). Die folgende Regenzeit löst die Salze selbstverständlich wieder auf und entführt sie in abflußlose Pfannen oder durch die Küstenflüsse in den Ozean.

Diese natürlichen Salzablagerungen sollten eine Warnung sein vor den Gefahren der künstlichen Bewässerung. Zahlreiche Tatsachen in SWA sprechen bereits jetzt für starke Versalzung und Alkalisierung in zahlreichen künstlich bewässerten Böden.

So sind sehr zahlreiche *Farmgärten*, die z. T. seit Jahrzehnten bewässert werden, in ihren Böden durch die genannten Prozesse geschädigt (Abb. 5.3), dies z. T. auch in Verbindung mit Kralmistdüngung [521]. Weiße Salzkrusten und schwarze Bodenverfärbung sind sichere Anzeichen für verminderte Fruchtbarkeit und Ertragsfähigkeit der Böden. Als Beispiel sei eine Bewässerungsfläche

bei Tsumeb genannt (Abb. 4 der Farbtaf.), in der gleichzeitig Alkalisierung und Versalzung auftritt. Je nach Umständen kann es etwa binnen 5–25 Jahren nach Beginn der Bewässerung zur Bodenschädigung kommen. Sogar Forstkulturen, die zur Grubenholzerzeugung für die Tsumebmine angelegt sind, werden zur Steigerung des Zuwachses der Eukalyptusbäume bewässert. Auch hier zeigten die Böden bei Untersuchung 1958 eine beginnende Versalzung (Abb. 5.4).

In den Fällen, wo oberflächennahe Kalke den Boden bilden (Graue Böden leichter Textur aus Kalk [334]), tritt die Versalzung zurück, da die große Durchlässigkeit des Materials eine Zuschlämmung mit feindispersierten Natriumverbindungen verhindert oder verzögert und das riesige Überangebot an Ca-Ionen aus dem Kalk ausnahmsweise zu einer Verdrängung der in relativ geringerem Maße vorhandenen Natrium-Ionen führen kann. Farmgärten, die auf natürliche Weise vom Wasser der Regenzeit durchströmt werden, z. B. durch ihre Lage nahe an einem Rivier, sind gegen Versalzung weitgehend geschützt, da die große Wassermenge beim Abkommen des Riviers etwa angesammelte Salze wieder auflöst oder den „Schwarzbrack“ mechanisch mit fortreißt.

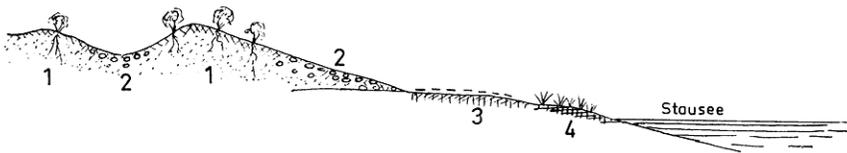


Abb. 5.6. Querschnitt durch Gelände und Böden am Stausee von Haribes (52 km westlich Mariental)

1. kleinere Dünen, meist bewachsen mit einzelnen Büschen, Braune Halbwüstenböden aus Sand, locker, oft gleichmäßig mit  $\text{CaCO}_3$  durchsetzt.
2. Kalkverkrustete Stellen zwischen den Dünenrücken und am Fuß der Dünen, vegetationslos
3. Uferregion, schmierig dunkelbrauner Boden, örtlich Soda-Solontschake ( $\text{pH} = 10$ ), Salzkrusten.
4. Feuchte, schmierige Böden mit Salz- und alkali-ertragender Vegetation

Salzausscheidungen und Alkalisierungen findet man auch häufig an *Stauseen* und *Dämmen*, wo nach Beginn der Trockenzeit und Verdunstung des gestauten Wassers Salzränder und dunkle Natriumböden entstehen (Abb. 5.5 u. 5.6), so z. B. am Stausee Otjitambi, Distr. Outjo, und Haribes, Distr. Maltahöhe. Sehr bodenschädigend war auch eine Versalzung durch Wasseraufstau in der Nähe von Keetmanshoop (Abb. 5.7). Hier konnte aus aufgestautem Grundwasser infolge des jetzt möglich gewordenen „kapillaren“ Aufstiegs bis zur Erdoberfläche eine beträchtliche Salzkruste entstehen. Auch in manchen Kleinfarmen im

Swakoptal kann es neben natürlicher Versalzung (Abb. 1.10) durch Grundwasser zu einer künstlichen Versalzung durch Bewässerung kommen. Andererseits aber ist eine Bewässerung in diesem fast regenlosen Gebiet am Unterlauf des Swakop zum Anbau von Kulturpflanzen unbedingt notwendig!

Besonders bedenklich hinsichtlich Versalzung und Alkalisierungsfahrer scheint das Projekt des *Staudammes des Fischflusses* bei Mariental, über das auch in der Fachpresse berichtet worden ist. In der Trockenzeit kann man beobachten, wie an vielen Stellen im Bett des Fischflusses (ähnlich wie auch bei anderen Flüssen SWA's) Salze aus Wasserresten ausgeschieden werden; so, um nur ein paar Beispiele zu nennen, bei Gibeon, weiterhin bei der Mündung des Lewer-Riviers nahe Gelwater, bei Seeheim, im Canon selbst und unterhalb des Canons bei Klein Aiais nahe der Mündung des Fischflusses in den Oranje. Diese Salzablagerungen kommen, wie oben dargelegt, nur aus den letzten Wasserresten einer einzigen Regenzeit und geben einen Begriff von den Gefahren der Versalzung und Alkalisierung, die bei der Bewässerung droht, sofern das Wasser, wie bisher stets in SWA, in voller Höhe auf dem zu bewässernden Gebiet verdunstet! Es besteht weiterhin im Gegensatz zu den bewässerten Farmgärten und den Kleinfarmen im Swakoptal kaum eine Ausweichmöglichkeit auf noch nicht bewässertes Gelände, falls eine Bodenschädigung auftritt, da hier ein geschlossenes Gebiet mit aneinander anstoßenden Farmen bewässert werden soll. Wegen dieser Gefahren ist es ratsam, ein derartiges Projekt zu unterlassen oder, wie weiter unten [5223] zu schildern ist, lieber ein kleineres Gebiet mit entsprechend stärkerer Bodendurchspülung und Bodendrainage zu kultivieren.

Über die Gefahren der Bewässerung in ariden Gebieten durch Wasser aus Staudämmen berichtet *Vageler* (35, S. 12) unter Bestätigung der oben geäußerten Bedenken:

„In Trockenzeiten blühen nämlich unter dem Einfluß der Verdunstung während der langen ... Dürreperioden überall im Einzugsgebiet der Regenflüsse die Bodensalze entweder aus oder häufen sich zum mindesten in den oberflächlichen Bodenschichten an. Sie werden von den ersten fallenden Regen gelöst, die auch die Flüsse zum Fließen bringen. In die Dämme gelangen daher von vornherein statt Regenwassers oder süßen Flußwassers verdünnte Salzlösungen, die sie oft in wenigen Jahren in wahre Salinen verwandeln, deren Inhalt nicht einmal mehr zum Tränken von Vieh, geschweige denn zur Bewässerung brauchbar ist. Wieviel solcher Bewässerungsanlagen ... gegründet wurden, kurz blühten und dann ... unter Ruinierung vieler tausend kleiner Siedlerexistenzen verschwanden, meldet keine ehrliche Statistik ...“

Anschließend sei hier noch auf das komplizierte Wechselspiel von Kalzium- und Natrium-Ionen hingewiesen, wobei wiederum unter gewissen Voraussetzungen ein hoher Natriumgehalt des Bodens auch die Ursache einer starken sekundären Kalzifizierung sein kann. Viele Böden in Farmgärten und anderem Gelände weisen eine hohe Reserve von nicht oder nur schwach verwitternden

Mineralien auf, die Natrium und andere einwertige Ionen enthalten. Diese Reserve ist noch nicht zu bodenreaktionsfähigen Verbindungen aktiviert; sie kann aber, nach längerer Bewässerung aktiviert, zu einer Versalzung oder Alkalisierung führen, so daß man diese Böden als potentielle schwere Natriumböden oder potentiell künstliche Salzböden ansprechen kann. Nähere Ausführungen zu diesem Fragenkomplex mit ausführlichen Quellenangaben durch W. Moll in (9, S. 17 ff.), hierselbst auch zahlreiche Schrifttumsangaben über Bodenversalzung in der UdSSR und den USA (*Kovda, Muratova, Rosanov, Kelley* u. a.).

#### 5223 *Vermeidung von Versalzung und Alkalisierung und Möglichkeiten der Meliorierung geschädigter Böden*

Die Frage: wie sind die im vorigen Abschnitt geschilderten Bodenschädigungen nach Bewässerung zu vermeiden? ist für alle Bewässerungsanlagen trockener Gebiete von außerordentlicher praktischer Bedeutung. Sie seien daher auch in diesem Zusammenhang, da sie auch SWA unmittelbar angehen, kurz erläutert:

a) *Verlangsamung* der Versalzung usw. durch möglichst Na-salzfreies Wasser, ohne damit eine Versalzung usw. i. d. R. ganz vermeiden zu können,

b) Erzeugung eines *abwärts* gerichteten Bodenwasserstroms mit verdünnten Bodenlösungen, um Salzausscheidungen, die sich bereits gebildet haben, zu entfernen oder Versalzung und Alkalisierung von vornherein ganz zu vermeiden. Diese Maßnahmen ergeben sich folgerichtig aus den Darlegungen der Abschnitte [12] und [14]; sie ahmen damit den Wasserhaushalt humider Gebiete nach. Zusätzlich kann hier noch eine Drainage des Bodens in Gestalt von Entwässerungsgräben zum schnelleren und gründlicheren Abzug des Salzwassers aus dem Boden erforderlich sein, wie es u. a. auch *Wilhelmy* in seiner oben genannten Veröffentlichung über die Bewässerung am Rio Negro in Argentinien (43, S. 401) beschrieben hat. Bedingung hierfür ist natürlich eine sehr reichliche Menge an Bewässerungswasser, die aber gerade in ariden Gebieten meist nicht zur Verfügung steht.

c) *Verdrängung der Natriumionen* aus den Sorptionsträgern der Böden, um die biologisch und physikochemisch ungünstigen Folgen der Belegung mit Na-Ionen aufzuheben, mit Hilfe von Ca-Ionen aus Gips ( $\text{CaSO}_4$ ). Zur Auflösung des Gipses im Boden, zur notwendigen Herstellung verdünnterer Bodenlösungen für den Eintritt der Ca-Ionen in die Sorptionsträger der Böden und zur Auswaschung des sich infolge Kationenumtausches bildenden  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  sind auch bei dieser Melioration recht erhebliche Wassermengen nötig. Diese Art der Gipsdüngung hat sich auch in anderen Trockengebieten der Erde sehr gut bewährt. Zur besseren Bodendurchlüftung und Wiederherstellung einer Krümelstruktur kann man zusätzlich noch eine Gründüngung empfehlen. Eine derartige Melio-

ration dürfte in Böden mit intensiverer Bewirtschaftung auch für SWA erfolgreich und lohnend sein.

Als Grundprinzipien der Melioration kann man daher bezeichnen: Herstellung eines humideren Bodenklimas, Herauslösen von Na-Salzen, Wiedergewinnung eines Ca-Bodens aus einem Na-Boden durch Gipsdüngung.

### 53 Schlußfolgerungen

Es ist tragisch, daß eine bodenkulturelle Maßnahme wie die Bewässerung, die in ariden Gebieten für eine intensive Bodennutzung und höhere Boden-ertragsfähigkeit so unumgänglich notwendig ist, gleichzeitig den Keim einer radikalen Verminderung der Bodenfruchtbarkeit und -ertragsfähigkeit in sich bergen kann. Diese Gefahr kann im allgemeinen nur vermieden werden, wenn eine Bodendynamik erreicht wird, die derjenigen in humiden Gebieten gleicht. Diese Dynamik kann aber in ariden Klimaten bei Bewässerung nur *durch einen Überschuß an Wasser* und dadurch bedingten *abwärtsgerichteten* Bodenwasserstrom erreicht werden. Daraus ergibt sich aber eine flächenmäßige Einschränkung der Bewässerungsfläche gegenüber einer Bewässerungsmethode, bei der das Bewässerungswasser den Boden nicht mehr durchspült, sondern einfach nach geringer Eindringtiefe auf ihm verdunstet und die im Wasser gelösten Salze auf dem Boden zurückläßt.

Recht erschwerend für die Aussprache über die Problematik der Bewässerung in SWA und die Durchführung von Maßnahmen über geeignete Bewässerung mit *nachhaltiger* Bodenfruchtbarkeit ist leider die oft fast völlige Unkenntnis verantwortlicher Stellen über das Wesen der Prozesse, die zur Versalzung der Böden führen können<sup>1)</sup>. Diese Vorgänge sind nur aus der klimatischen und gesamtgeographischen Situation und den besonderen, hieraus folgenden biologischen, chemischen und physikochemischen Bodenprozessen verständlich, keineswegs aber, wie immer noch behauptet wird, allein aus der Anwesenheit bestimmter geologischer Schichten oder wegen der besonderen petrographischen Eigenart des anorganischen Ausgangsmaterials der Bodenbildung.

Unsinnig sind in diesem Zusammenhang immer wieder auftauchende laienhafte Berichte in der Presse und populärer Literatur, die von Plänen über Fruchtbarmachung von Wüstengebieten, wie die Sahara handeln, die man angeblich durch Bewässerung „in einen blühenden Garten“ verwandeln könne. Weder die Namib in SWA noch die Sahara noch andere Trockengebiete der Erde lassen sich auf diese einfache Weise in

<sup>1)</sup> So wurden manchmal die infolge Bewässerung ausgeschiedenen Natriumsalze für harmlosen weißen Sand gehalten!

größerem Umfange in fruchtbares Land verwandeln, viel eher wird ein ertragloser Salzmorast verbleiben! Eine Pressenachricht, die davon sprach, daß es in einem der „jungen Staaten“ gelungen sei, mit salzhaltigem Meerwasser Wüstenland fruchtbar zu machen, ist füglich in das Fach der politischen Propagandalügen einzuordnen.

Für SWA im besonderen ist daher abzuraten von allen uferlosen Bewässerungsplänen, zu denen z. B. auch das oben genannte Fischfluß-Projekt gehört.

Eine Folgerung muß zum Schluß aus dem Gesagten gezogen werden: Die Beratung von Regierungsstellen und Farmern betr. Bodenbewässerung kann nicht allein dem Geologen, der natürlich für die Grundwasserfindung unentbehrlich ist, und nicht allein dem Techniker, der Bohrungen und Anlagen der Wasserrohrleitungen beaufsichtigt, überlassen werden. *Die Hauptverantwortung für die Planungen von Bewässerungen kann nur ein bodenkundlicher Fachmann übernehmen, der unter Beachtung aller Prozesse der Bodenbildung und aller Umweltfaktoren übersehen kann, in welcher Weise der Boden auf die Bewässerung reagiert.*



## 6 BODENEROSION UND ANDERE BODENZERSTORUNGEN IN SWA als naturgegebene Vorgänge und als Folge der Bodennutzung

In [1] hatten wir die Grundlagen und Gesetze der Bodenbildung für SWA kennengelernt. Den Gesetzen der Bodenbildung entsprechen solche der Bodenzerstörung. Sie geben uns u. a. die naturwissenschaftlichen Grundlagen für die Entstehung der Erosion des Bodens durch Wasser und Wind und andere Arten der Bodenzerstörung. Unter Erosion des Bodens versteht man hierbei den Abtrag des Gesamtbodens oder einzelner Horizonte, sei es in waagerechter Lage oder am Hang, unter dem Einfluß des Niederschlagswassers oder des Windes. In diesem Abschnitt ist zu untersuchen, unter welchen Voraussetzungen, nach welchen Gesetzmäßigkeiten und in welchem Umfange die Bodenerosion in SWA stattfindet<sup>1)</sup>.

Ganz allgemein tritt die Erosion des Bodens auf der Erde überall dort zurück, wo eine genügend starke Vegetationsdecke vorhanden ist, die nicht durch wirtschaftliche Maßnahmen gestört, vernichtet oder geschwächt ist. Die Erosion des Bodens kann daher dort, wo schon von Natur aus eine nur dürftige Vegetationsdecke vorhanden ist, durchaus naturbedingt sein — so etwa an der Höhengrenze von Vegetation und Böden im Gebirge oder, wie in SWA, an der Trockengrenze beider. Die Bodenerosion ist aber auf dem größeren Flächenteil ihres Vorkommens nicht natur-, sondern wirtschaftsbedingt. Dies gilt auch für SWA; durch Bevorzugung bestimmter Kulturpflanzen oder Überweidung hat der wirtschaftende Mensch die natürliche Vegetationsdecke auch dort, wo sie in dieser Form den Boden ausreichend geschützt hätte, vernichtet, umgestaltet oder vereinzelt. Mit Recht betont *Walter* (38, S. 74), daß Pflanzendecke und Boden zusammen immer eine Einheit bilden. Wird die Pflanzendecke zerstört, so kann auch der Boden nicht unverändert bleiben.

<sup>1)</sup> Erosion im geologischen Sinne, die durch die Erdzeitalter wirkt, bleibt in diesem Zusammenhang natürlich außer Betracht.

Die immer latent vorhandene Gefahr der Bodenerosion ist im Trockengebiet SWA in den letzten Jahren mit zunehmender Besiedlung und Beweidung mehr und mehr akut geworden und hat schon im ganzen Land groß- und kleinflächig zu offenen Bodenschäden geführt. Gesteigert wird dieser offene Schaden noch durch die nicht bloß geringen, sondern auch unregelmäßig fallenden Niederschläge, die zuweilen in enormen jahrelangen Dürrezeiten ganz ausbleiben können. Dies führt zu einer weiteren Vereinzelnung oder Vernichtung der Vegetation und macht den Boden noch anfälliger für jede Art von Erosion. Es ist somit verständlich, wenn in SWA, gefördert durch Natur *und* Wirtschaft, mehr und mehr schwere Erosionsschäden auftreten. Wertvolle Hinweise auf diese Schäden und Vorschläge zu ihrer Behebung und Verhütung finden sich außer in dem oben genannten Werk von *Walter und Volk* (38) auch in den Schriften von *Seydel* (30) und *Muehlenbruch, Seydel und Eggers* (25).

## 61 Bodenerosion durch Wind

Wie überall auf der Erde, so tritt auch in SWA die Erosion des Bodens in verschiedenen Formen auf – als Erosion durch *Wind* und durch *Wasser* der Niederschläge.

Die Erosion durch Wind (38, S. 78) tritt zwar in ihrer unmittelbaren Wirkung scheinbar gegenüber der Erosion durch Wasser zurück, doch kann sie in ihren mittelbaren Schäden (z. B. durch Bildung von Flugsandfeldern [63]) schweren Schaden anrichten. Sie schädigt nur ausgetrockneten, vegetationsfreien oder -armen Boden und weht die leichten, staubfeinen Teile des Bodens in Form von Staubwirbeln und Staubwolken fort, trägt sie u. U. weit über Land und kann sie an einem sehr entfernten Ort wieder ablagern. *Walter* (a. a. O.) beschreibt einen Staubsturm, der die Sicht auf wenige Meter begrenzte, an einem von Vegetation entblößten Ort SWA's. Verf. erlebte 1958 einen solchen Staubsturm in Maltahöhe. Auch hier war der Zusammenhang zwischen Windabtrag und Vegetationsentfernung sehr deutlich. Staubfahnen kleineren Umfangs, die über Land wandern, sind besonders während der Trockenzeit in SWA oft sichtbar. Wandernde Herden, besonders Schafe im Süden von SWA, die den Boden nicht bloß festtreten, sondern in gewissen Fällen auch lockern können, geben unmittelbaren Anlaß zu intensiver Staubbildung. Schon ein leichter Wind kann den so gelockerten Staubanteil des Bodens weit forttragen (Abb. 6.1) und gegebenenfalls an der Ablagerungsstelle zur Verbesserung armer Böden beitragen.

Neben Staubteilen können auch sandige Bestandteile der Böden in Bewegung geraten, wenigstens auf kurzen Wegstrecken. Oft bleiben sie an Hecken und

Büschen bald wieder hängen. So entstehen Sandablagerungen größerer oder geringerer Flächenausdehnung und Mächtigkeit, deren bodenzerstörende Wirkung in Abschnitt [63] behandelt wird.

## 62 Bodenerosion durch Wasser

Die Bodenerosion durch Wasser tritt weniger großflächig als die Winderosion in fast allen Teilen von SWA auf. Teils ist sie, wie oben schon allgemein dargelegt, naturbedingt, teils aber auch – und dies weit häufiger – wirtschaftsbedingt. Die Bodenerosion durch Wasser war deswegen bereits öfter als die Winderosion Gegenstand ausführlicherer Untersuchungen. Von allgemeiner Wichtigkeit ist die Feststellung in (25), daß die starke Wassererosion im Einzugsgebiet des Omaruru, Ugab und Swakop (Mitte und Nordwesten von SWA) mit ihren verheerenden Folgen auf Farmböden, Wohnhäuser am Fluß und Ufergehölze ganz überwiegend auf eine Weideübernutzung von nur wenigen Jahrzehnten Dauer zurückzuführen ist. Sie beweist die Wichtigkeit der Erhaltung einer intakten Vegetationsdecke und ihren außerordentlich engen Zusammenhang mit der Bodenerhaltung auch in diesem Gebiet, wo Vegetation und Boden infolge der nahen Trockengrenze nur sehr schwer regenerierbar sind. Als Folge der Weideübernutzung treten Bodenverhärtung und -verkrustung auf [63], die wiederum den oberflächlichen Wasserabfluß nach Regengüssen – den schlimmsten Förderer der Bodenerosion – noch verstärken. Diese Art von Abfluß reißt den Boden mit sich fort und verhindert gleichzeitig das Eindringen des Wassers in den Boden und Bildung eines ausreichenden Feuchtevorrats, der die Grundvoraussetzung einer Vegetationsdecke ist, die allein die Schnelligkeit des Wasserabflusses hemmen kann.

Unter den in SWA herrschenden Voraussetzungen kann es nicht wundernehmen, daß neben der Winderosion auch die Erosion durch Wasser, besonders im Hinblick auf Bodennutzung und -übernutzung, in den letzten Jahren immer weitere Gebiete erfaßt hat. Die Schäden sind im allgemeinen viel auffallender als die durch Winderosion hervorgerufenen. Die Erosion durch Wasser kann dabei entweder als Flächen- oder als Furchenerosion (Grabenerosion) auftreten. Die erstgenannte kommt an Hängen und Kuppen mit hartem Gesteinsuntergrund vor, wo sich auch bei Schonung des Bodens nur schwer eine Bodendecke bilden kann. Der Abtrag des Bodens infolge schweren Gewitterregens oder Weidenutzung geht relativ rasch vor sich, so daß sich die Kuppe bald entblößt. So entstehen bodenfreie, harte, meist flache Kuppen von ganz verschiedener Flächenausdehnung – ein Vorgang, den man zuweilen als „Glatzenbildung“

bezeichnet hat. Die entblößten Areale schwanken in der Ausdehnung von wenigen Ar bis zu vielen Hektaren (Abb. 6.2). Im Gebiet von Omaruru sind zahlreiche solche Stellen zu finden.

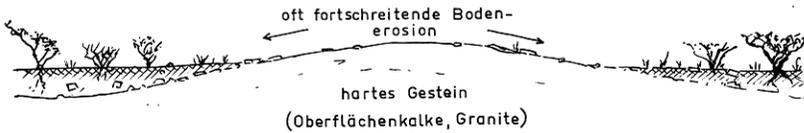


Abb. 6.2. Bodenerosion durch Wasser mit starker Tendenz zur Ausbreitung auf flachen Kuppen und hartem Felsuntergrund. Vielfach im Gebiet von Omaruru verbreitet

Die Furchen- oder Grabenerosion nimmt gegenüber der Flächenerosion meist nur geringere Flächen ein, fällt aber im Gelände durch Bildung tiefer Rinnen und Schluchten sehr auf. Als Ursache der Grabenerosion sind u. a. zu nennen: Autospuren, viel benutzte Viehtriften u. ä. (38, S. 78).

Einen deutlichen Beweis für den Zusammenhang zwischen Beweidung, Vegetationsentfernung, daraus folgender Verhärtung (s. a. [63]) des Bodens und oberirdischem besonders erosionsauslösendem Wasserabfluß geben die Versuche von *Thomson* in Pretoria, die *Walter* (a.a.O., S. 75 f.) beschreibt. Danach steigert schon die normale Beweidung den oberflächlichen Abfluß auf das Achtfache, nackter verhärteter Boden zeigt aber schon den 80fachen Abfluß! Die Bodenabschwemmung wächst entsprechend auf das Vier- bzw. mehr als 300fache! Eine Lockerung des Oberbodens erwies sich längst nicht so wirkungsvoll wie der Schutz durch die natürliche Vegetation.

An einzelnen Beobachtungen anderer Schäden durch Erosion seien genannt: Flächen- und Grabenerosion im Gebiet des Waterberges, Grabenerosion in Waldhausen bei Wilhelmstal, flächenhafter Abtrag in Straußfeld (östl. Windhoek), starke Grabenerosion im Distr. Outjo und auch am Stadtrand von Outjo; auch nördlich von Omaruru kann man Graben- und Flächenerosion beobachten. Im Sandfeld konnte der Verf. nach bisherigen Beobachtungen eine geringere Verbreitung der Erosion feststellen. Flächenhafte Bodenerosion mit Sträuchern, die auf erhöhtem Boden stehen und die den Abtrag in ihrem Bereich verhinderten, kann man in den Farmen Garib-Ost (Ostgrenze Bastardland), Otjitambi (Distr. Outjo) und Nomtsas (Distr. Maltahöhe) beobachten. Im Süden des Landes ist, ähnlich wie die Winderosion, auch die Wassererosion wahrscheinlich stärker wirksam. Gefunden wurde sie u. a. in Marienhof (bei Rehoboth), Nomtsas, im Wüstenrandgebiet bei Duwisib und innerhalb der Neuhoof-Reserwe, hier vorwiegend als Flächenerosion. Starke Furchenerosion beobachtet man im Gebiet von Büllsport östlich des Naukluftgebirges auf vegetationsarmen Natronböden. Hier trägt sehr wahrscheinlich die starke Peptisierung durch die Na-Tone während der Regenzeit zur Verschlammung und Erosion der Böden bei.

Auch im südlichen Teil des Bastardlandes sind neben unmittelbaren Schäden durch Überweidung (allgemeine Bodenverarmung) auch Erosionsschäden sichtbar. Im Randgebiet der Wüste zwischen Usakos und den Chuosbergen ist Wassererosion festzustellen.

Die Aufzählung kann naturgemäß nur einen sehr kleinen Teil der wirklich vorhandenen Schäden wiedergeben. Sie ist nur genannt, um die große Verbreitung der Erosion in fast *allen* Teilen SWA's an Beispielen zu erläutern.

### 63 Verschüttete Böden und nicht erosionsbedingte Bodenschädigungen

Die Erosion durch Wasser und Wind verursacht nicht nur Bodenschädigung durch Abriß und Abwehung am Erosionsort, sondern meist auch noch an der Ablagerungsstelle des abgelösten Materials. Hier kann eine Schädigung des gewachsenen Bodens durch die oft sterile Auflagerung erfolgen, denn diese besteht nicht nur aus Bodenmaterial, sondern überwiegend auch aus roher anorganischer Ausgangssubstanz. Es entstehen auf diese Weise verschüttete Böden und damit zum mindesten eine Zeitlang unfruchtbares Gelände. Der Grad der Unfruchtbarkeit dürfte sich nach der Art und Dicke der Schuttdecke richten — eine dünne nur wenige Zentimeter dicke Sanddecke kann sogar für die Erhaltung der Bodenfeuchte nützlich sein, ebenso eine dünne Staubsedimentation auf armen Quarzsandböden [333].

#### 631 Verschüttete Böden als Folge der Wassererosion

Verschüttete Böden infolge Wassererosion sind an einigen Stellen von SWA zu beobachten, so u. a. am Waterberg, in der Farm Hohenau (östlich Windhoek), ganz allgemein in Senken und Tälern, z. B. am Rande von Pfannen und Vleys, wo die helleren Böden der höher gelegenen Umgebung und deren Ausgangsmaterial auf die dunklen Grauen Böden schwerer Textur gespült sein können.

#### 632 Verschüttete Böden als Folge der Winderosion

Wesentlich ausgedehnter als die unter [631] genannten sind die durch wandernden Sand begrabenen Böden als Folge der Winderosion und Deflation, die wir besonders im Westen und Süden des Landes treffen. Im Westen, an der Namibgrenze, weht der Wind den losen Sand der Dünengebiete allmählich immer weiter ostwärts; besonders erfolgte dies in den trockenen Jahren

nach 1958. Betroffen hiervon sind die Westseiten des Naukluftgebirges, des Duwisib Berglandes, der Tirasberge u. a. benachbarter Gebiete.

Im Farmgebiet Vergenoog westlich Duwisib konnte man damals weite Flächen von dünnen Sanddecken beobachten. Weiter nach Westen zu wuchsen die geringen Decksande zu hohen Dünen heran. Übermäßige Weide, in regenreicheren Jahren ohne Schaden durchführbar, vernichtete in dieser Trockenzeit die letzten Grasreste. Auch westlich des Naukluftgebirges (Gebiet der Farm Solitaire) und an der Neuhofreserwe entstanden Sandverwehungen.

Interessant ist in diesem Zusammenhang Entstehen und Verhalten von losen Sanden in den Betten der Trockenflüsse, auf die als „bodenfreie Zonen“ bereits in [42] hingewiesen wurde. Bei Bereisung der Riviere des Fischflußsystems kann man, vom Norden nach Süden in allmählich stärker trockene Gebiete gelangend, eine immer größere Verbreitung von Flugsandfeldern und jungen Dünen beobachten:

Im Oberlauf des Fischflusses und dessen Umgebung findet man Dünen nur im Rivierbett selbst oder in Pfannen ohne Böden i.e.S., so daß also keine Schädigung durch Bodenübersandung eintritt. Vor der Mündung des Lewer-Riviers in den Fischfluß unterhalb von Gibeon findet man bereits einen Kilometer breite Dünengebiete am rechten Ufer. Unmittelbar an der Mündung selbst werden die Flugsandfelder noch ausgedehnter und erreichen eine Breite von ein bis mehreren Kilometern zu beiden Seiten (s. a. Abb. 4.7). Im Konkiep-Rivier, einem Seitenrivier des Fischflusses, erreichen die Dünen erhebliche Breiten und drohen u. a., den Garten der Missionsstation in Bethanien zu verschütten. Bei Kosis, südöstlich Bethanien (Abb. 4.8), sind gleiche Vorgänge zu beobachten. Im Gebiet von Sandverhaar, an der Bahnlinie zwischen Aus und Seeheim, bilden sich große Flugsandfelder aus, daneben auch hohe jüngere Dünen (Abb. 6.3) und geringmächtige Sandverwehungen, die sich in den letzten Jahren vergrößert haben sollen. Sandverwehungen und verschüttete Böden trifft man auch in der Talsohle am Unterlauf des Fischflusses bei Klein Aiais.

Außerhalb des Fischflußsystems sind u. a. noch die Sandverwehungen über gewachsenen Böden beiderseits des Kameldornflusses zwischen Klein Aiais und Grünau zu nennen. Eine eigentümliche Sandverwehung ist zwischen Grünau und Klein Karas auffallend: hier sind Dünensande in Streifenform bis auf Hang und Hochfläche eines Tafelberges aufgeweht.

### 633 Andere biologisch ungünstige Bodenveränderungen

Biologisch ungünstige Bodenveränderungen nach Vegetationsvernichtung in Form von Bodenverhärtungen und Bodenverdichtungen hat auch *Walter* schon beobachtet (38, S. 75). Nicht nur die Regentropfen, wie a. a. O. beschrieben,

sondern auch der Viehtritt bei Überweidung kann die Böden zuweilen verdichten. Das Vieh kann sie in manchen Fällen aber auch locker treten und sie dadurch der Winderosion verstärkt aussetzen. Noch bedenklicher ist aber die Rückentwicklung der Böden, die der Überweidung und Vegetationsvernichtung folgt. Böden in unserem Sinne sind durch Vegetation bedingt. Jede Vegetationsentfernung an der Trockengrenze der Bodenbildung ist einer sehr baldigen tiefreichenden Bodenschädigung gleichzusetzen, die sich in wenigen Jahren auch ohne sichtbaren Abtrag von Böden und Bodenresten zu einer Bodenvernichtung durch völlige Mineralisation des Humus erweitern kann. Die Rückentwicklung der Böden zu bloßen anorganischen, biologisch inaktiven Verwitterungsprodukten ist auch in humideren Klimagebieten grundsätzlich möglich, — so z. B. nach dauernder Streuentnahme aus deutschen Waldböden. Für diese Bodenrückentwicklung, verbunden mit verschiedenen Formen der Verhärtung und Verdichtung der Oberkrume, seien folgende Beispiele aus SWA angeführt:

Die braunen Böden der Baumsavannen aus rotbraunen Verwitterungsprodukten in der Gegend von Otjiwarongo zeigen nach Vegetationsentfernung eine violettrote, harte, äußerlich oft lateritähnliche Kruste mit schwarzen Flecken; dies kann man, in Abwandlung einer Bezeichnung nach *Kubiena*, vielleicht „Pseudorubefizierung“ nennen. Auch bei Erdferkelbauten zeigen sich diese Erscheinungen. Vielleicht lassen sich diese Prozesse auf eine erhöhte Wechselfeuchte (stärkere Überhitzung, nur oberflächliche Befeuchtung und extremere Austrocknung infolge Fehlens des Vegetationsschutzes), entsprechend wie bei den Böden echter Rubefizierung in Randgebieten der Tropen, zurückführen.

Zwischen Tsumeb und Otavi trifft man auf Rotlehmrelikten nach Vegetationsentfernung harte rote Oberflächen, die an ein Kopfsteinpflaster erinnern. Die gleichen Veränderungen, die wir auch als „Dampfnudelstruktur“ bezeichnet haben, zeigten leichte graue Böden aus Oberflächenkalk am Rand einer Senke in der Gegend südlich der Etoschafanne. Diese Prozesse gehen also vielleicht unabhängig von der Natur des anorganischen Ausgangsmaterials der Bodenbildung vor sich. Nach Entfernung der Vegetationsdecke in Farm Heidelberg bei Tsumeb zeigten selbst lose Dünensande eine gewisse Oberflächenverhärtung von eigenartig pockennarbiger Struktur; vgl. dazu das Verhalten von Böden aus Dünensanden unter spärlicher Vegetation in noch trockneren Teilen SWA's mit beginnender polygonartiger Rißbildung [336].

Wir treffen also überall nach Vegetationsentfernung mehr oder weniger deutliche Oberflächenverhärtungen. Die Vegetationsentblößung ruft eine stärkere Austrocknung und Erhitzung der entblößten Böden und damit auch eine stärkere Aufstiegstendenz der heißen Bodenlösungen hervor. Diese enthalten vermutlich oft Kieselsäure als Schutzkolloid und transportieren dadurch

Aluminium-, Mangan- und Eisenoxide an die Oberfläche, wo sie wegen Erhitzung und Austrocknung irreversibel ausfallen und die verhärtete Oberfläche hervorrufen. Jedenfalls ist auch in diesen Fällen eine gleiche Aufstiegstendenz wie sonst in SWA feststellbar, wenn auch der Chemismus dieser Prozesse je nach den Voraussetzungen in den einzelnen Fällen verschieden sein kann.

Außer den Schäden durch Vegetationsvernichtung und folgender Verdichtung der Böden sei hier noch das *Abbrennen der Vegetation* besonders in den Savannen- und Trockenwaldgebieten genannt. In der Trockenzeit kann man zuweilen schon auf große Entfernung riesige Rauchwolken erkennen, die von solchen Bränden herrühren und die sogar Wolkenbildungen in der Atmosphäre veranlassen können; so z. B. beobachtet Mitte und Ende Juni 1958 östlich und nordöstlich der Etoschapfanne. Über die Nachteile solcher Brände auch in bodenkundlicher Hinsicht (Humusverluste, Bodenentblößung, verstärkter oberflächlicher Wasserabfluß und Erosion, Verluste von Nährstoffen) hat sich schon *Walter* geäußert (38, S. 90). Es sei auf diese Stelle verwiesen.

Zusammenfassend kann man feststellen: Schädigungen des Bodens treten in SWA viel eher und stärker auf als in Gebieten mit humidem, ausgeglichenem Klimaablauf, weil Böden und Vegetation meist nahe an der Trockengrenze ihrer Existenzmöglichkeit liegen. Vernichtung oder Vereinzlung der Vegetation, sei es durch menschliche Wirtschaft (Überweidung) oder durch Naturereignisse (Dürrejahre) haben meist Erosion, Verschüttung und Verhärtung der Böden zur Folge. Der Mahnung *Walters* zur Schonung und Wiederherstellung der Weide in SWA muß man sich auch als Bodenkundler voll anschließen, *denn die möglichste Schonung bzw. der Wiederaufbau der Vegetation ist stets die unabdingbare Voraussetzung für Bodenerhaltung, Bodenwiederaufbau und Bekämpfung der Bodenerosion.*

In der folgenden Übersicht 6.1 sind Ursachen, Erscheinungsform und Folgen der Bodenschädigungen und Vernichtung im Hinblick auf Bodenkultur und Bodennutzung in SWA schematisch dargestellt.



## 64 Schlußfolgerungen aus Abschnitt 5 und 6

Die in [5] und [6] genannten Erfahrungen und Beobachtungen lassen sich in dem einen Satz zusammenfassen:

*Eine Übertragung von Methoden der Bodennutzung und Bodenkultur, die sich in humiden Gebieten mit ausgeglichenem Klimaablauf bewährt haben, in aride Gebiete wie SWA ist nicht möglich, da es hierdurch zu schweren Bodenschädigungen, Bodenzerstörungen und Fruchtbarkeitseinbußen kommen kann.*

Schon die Natur selbst weist auf bestimmte Gefahren hin, die den Böden in SWA drohen, so die Salzabscheidungen in Trockenflüssen und die natürliche Erosion an den Trockengrenzen der Bodenbildung. Bewässerung und Weideübernutzung, besonders in Trockenjahren, vergrößern diese Gefahren ins Vielfache, flächenmäßig wie graduell, weil sie die Voraussetzungen, unter denen schon die natürlichen Versalzungs- und Erosionsprozesse ablaufen, noch weiter begünstigen. Ja sogar die Mineraldüngung, die in Mitteleuropa für eine Erhaltung der Bodenerträge unerlässlich ist, kann unter bestimmten Voraussetzungen die Ertragsleistung der Böden vermindern.

Diese allgemeinen Gefahren, auf die schon *Vageler* mehrfach hinwies (34, S. 28) und die er auch für tropisch-feuchte Gebiete erläutert hat, sind für SWA in vollem Umfang vorhanden. Es ist Aufgabe des Wirtschafters in Verwaltung und Praxis, diese eigentlich selbstverständlichen Grundlagen der Bodenkultur gründlicher und genauer als bisher zu beachten, um die Fruchtbarkeit von SWA zu erhalten. Diese richtige, den Klimavoraussetzungen angepaßte Art von Bodenkultur muß sich weitgehend auf eine nur extensive Wirtschaft beschränken. Eine intensivere Bodenkultur mit dauernd höheren Erträgen ist nur durch arzeigene Methoden, die die oben geschilderten Gefahren streng vermeiden, indem sie die Besonderheiten von Umwelt und Böden in SWA berücksichtigen, örtlich begrenzt möglich.

## 7 SCHLUSSWORT

Im Rahmen dieses Buches ist der Versuch unternommen, eine Klimapedologie auf geographischer Grundlage für ein Trockengebiet zu verfassen. Hierbei galt der Grundsatz, daß die Bodenkunde kein Teil der Geologie oder Agrikulturchemie ist, sondern eine *selbständige* Wissenschaft mit arteigenen Forschungsmethoden, und daß die Böden mit ihrer Umwelt auf das engste zusammenhängen, woraus sich wiederum zwangsläufig eine geographisch ausgerichtete Betrachtung der in diesem Buch angeschnittenen Probleme der Bodengenetik und Bodennutzung als Arbeitsgrundlage ergibt.

Wie in allen übrigen Regionen sind also auch die Böden in SWA von ihrer Umwelt abhängig — d. h. von der gesamten geographischen Situation. Es ist daher ein Ziel dieses Buches gewesen, zuerst die Umweltfaktoren als Grundlage für die Beschreibung der Böden und ihrer Bildungsräume zu kennzeichnen. Dies erleichtert die Arbeit des Bodenkundlers in einem ihm pedologisch fremden Gelände ganz wesentlich, denn das Abhängigsein der Böden von der Landschaft — abgeleitet aus ihren Kräften, Energien und Stoffen — bedeutet, daß gleiche und ähnliche Landschaften immer auch etwa gleiche oder ähnliche Böden hervorbringen werden. Dies ist innerhalb SWA's sicherlich der Fall.

Unter diesen Umweltfaktoren erwies sich die Aridität des Klimas SWA's als besonders wichtig, denn sie gab die Grundlage für Bewegungsrichtung, Zusammensetzung und Konzentration der Bodenlösungen, der daraus folgenden Umtauschreaktionen mit den Sorptionsträgern der Böden und der Zusammensetzung der Bodenhorizonte. Die Genetik der Böden und damit auch die so auffallenden Prozesse der Kalzifizierung (Verkalkung) und Solontschakierung (Versalzung) — seien sie nun von Natur aus vorhanden oder künstlich ausgelöst — sind letztlich ebenfalls als spezifische Wirkung ariden Klimas aufzufassen, da es unter sonst gleichen Voraussetzungen in humiden Klimagebieten keinerlei Verkalkungen und Versalzungen gibt.

Die richtige Deutung von Umwelt, Bodengenetik und Bodeneigenschaften läßt auch rechtzeitig die Gefahren erkennen, die den Böden unter wirtschaftlicher Nutzung in SWA drohen. Dies bedeutet für den Wirtschaftler in SWA eine große Verantwortung und Gebot zur Vorsicht in der Wirtschaftsführung, denn die Voraussetzungen der Bodenbildung und Bodenzerstörung sind bestimmt durch die Tatsache, daß in SWA Böden und Vegetation an und nahe der Trockengrenze ihrer Existenzmöglichkeit stehen. Daher kann jede Nutzung, auch eine extensive, als solche schon bedenklich für den Boden sein – denn selbst in humiden Gebieten schädigt der Ackerbau den Boden! – diese Nutzung wird aber im ariden Klima SWA's bei Überweidung, d. h. allgemein bei zu starker Intensivierung und auch bei „normaler“ Nutzung während der Dürrejahre zur Katastrophe für die Böden an ihrer Existenzgrenze.

Hieraus wird klar, weswegen wir SWA, vom Standpunkt der Bodennutzung aus gesehen, als dicht bevölkert, ja sogar z. T. als schon überbevölkert ansehen müssen [11]: mit den heute üblichen Bodenkultivierungsmethoden, besonders mit der primitiven Bewässerung, kann man i. d. R. keine intensivere Wirtschaft und höhere Bodenerträge für die Ernährung einer größeren Bevölkerung ohne Exportverminderung *auf die Dauer gesehen* erzwingen, ohne die Nachhaltigkeit der Böden zu gefährden. Dies gilt im übrigen nicht nur für SWA, sondern für alle die Gebiete, deren Böden und Vegetation an der Grenze ihrer Existenz liegen, sei es an der Trocken-, Höhen- oder Kältengrenze oder an einer anderen Stabilitätsgrenze, die in den bodeneigenen Kriterien begründet ist, wie etwa in der naturbedingten Verarmung der Böden großer Teile der immergrünen tropischen Regenwälder.

Wie wenig Gedanken man sich bisher gemacht hat, Bodenkultur und Bodennutzung mit Umwelteinflüssen, Bodengenetik und Bodeneigenschaften zusammenzustimmen, wurde mehrfach im vorliegenden Buch betont. Um Fehlgriffe zu vermeiden, die zumeist in der Übertragung bodenkultureller Methoden aus anderen Klimagebieten zu suchen sind, und um Bodenschäden sinnvoll heilen zu können, war es daher nötig, in den ersten Teilen des Buches eine weitausholende Theorie der Bodengenetik und der Beziehungen Boden–Umwelt für SWA und andere Trockengebiete zu bringen, bevor die Möglichkeiten von Bodenkultur und Bodennutzung folgerichtig behandelt werden konnten.

Das vorliegende Werk ist nur ein Anfang einer bodenkundlichen Durchforschung SWA's; viele Probleme sind noch zu behandeln, so um nur einige zu nennen: die genauere Definierung, Abgrenzung und analytische Kennzeichnung der verschiedenen Zonalen Böden nach bodeneigenen Merkmalen und die nähere Untersuchung der Huminstoffe oder der wichtigen Tonminerale in diesen Böden. Viel Arbeit wird noch zu leisten sein und manche Richtigstellung

erforderlich werden, um ein zutreffendes und abschließendes Bild der Böden in SWA zu erlangen. Die in SWA erarbeiteten Ergebnisse mögen wiederum anregend und befruchtend für Bodenerforschung und Bodennutzung in anderen Ländern der warm-ariden Klimate wirken.



## 8 LITERATURVERZEICHNIS

1. ABEL, H.: Beiträge zur Morphologie der Großen Randstufe im südwestlichen Afrika. Deutsche Geograph. Blätter, 48, Heft 3—4, 1959
2. ders. Beiträge zur Landeskunde des Rehobother Westens (Südwestafrika). Mitt. Geogr. Ges. Hamburg, 51, 1955, S. 55—97
3. ders. Beiträge zur Landeskunde des Kaokoveldes. Deutsche Geograph. Blätter, Reihe C, 47, Heft 1—2, 1954
4. BERGER, J.: Die Bodentypen in Südwestafrika und ihre wirtschaftliche Bedeutung. Versuch einer Klassifikation. Unveröffentlichtes Manuskript, o.O., nach dem 2. Weltkrieg verfaßt
5. GANSSEN, R.: Bodenbenennung, Bodenklassifikation und Bodenverteilung in geographischer Licht. Die Erde, 92, S. 281—295, 1961
6. ders. Böden und Landschaft in Südwestafrika. 7<sup>th</sup> Intern. Congress of Soil Science, Transactions. Vol. IV, S. 49—55, Madison (Wisc.), USA, 1960
7. ders. Landschaft und Böden in Südwestafrika. Die Erde, 91, S. 115—131, 1960
8. ders. Bodengeographie. Stuttgart 1957
9. GANSSEN, R. u. MOLL, W.: Beiträge zur Kenntnis der Böden warm-arider Gebiete, dargestellt am Beispiel Südwestafrikas. Z. f. Pflanzenern., Düng., Bodenk. 94, S. 9—25, 1961
10. GELLERT, F. J.: Die Niederschlagsschwankungen im Hochland von Südwestafrika. Abh. Meteor. u. Hydrol. Dienstes d. DDR, Nr. 32, Bd. IV, Berlin 1955
11. GEVERS, T. W.: Aus der geologischen Vergangenheit SWA's. Veröff. d. Wiss. Ges. f. Südwestafrika, S. 84 ff., Windhoek 1931/32
12. ders. Geologische Verhältnisse bei Windhoek. Veröff. d. Wiss. Ges. f. Südwestafrika, S. 75 ff., Windhoek 1931/32

13. JANITZKY, P.: Salz- und Alkaliböden und Wege zu ihrer Verbesserung. Ein Vergleich russischer und amerikanischer Forschungsergebnisse. Gießen 1957
14. KLUTE, F.: Südwestafrika. in: Hdb. d. Geogr. Wissenschaft, Bd. Afrika. Potsdam, 1930
15. KREBS, N.: Vergleichende Länderkunde. Stuttgart 1951
16. KUBIENA, W. L.: Neue Beiträge zur Kenntnis des planetarischen und hypsometrischen Formenwandels der Böden Afrikas. Stuttg. Geogr. Studien, 69, S. 50-64, Stuttgart 1957 (Lautensach-Festschrift)
17. ders. Über die Braunlehmrelikte des Atakor. Erdkunde IX, Heft 2, S. 115—132, 1955
18. ders. Entwicklungslehre des Bodens. Wien 1948
19. KURON, H. u. JANITZKY, P.: Zum Problem der Takyre. Gießener Abh. z. Agrar- u. Wirtsch.-Forsch. d. europ. Ostens, Bd. 3, Gießen 1957
20. LAATSCH, W.: Dynamik der mitteleuropäischen Mineralböden. Dresden und Leipzig 1957
21. LOGAN, R.: Die Landschaften SWA's. Geogr. Rdsch. 10, Heft 9, 1958
22. MECKELEIN, W.: Forschungen in der zentralen Sahara. Braunschweig 1959
23. MILNE, Gg.: Some suggested units of classification and mapping, particularly for East African soils. Bodenkdl. Forschung IV, No. 3, S. 183—198, 1935
24. MORTENSEN, H.: Die Wüstenböden. Hdbch. d. Bodenlehre III, S. 437 ff., Berlin 1930
25. MÜHLENBRUCH, E., SEYDEL, R. u. EGGERS, O.: Erosion in den Einzugsgebieten des Ugab, Omaruru und Swakop. Nicht veröff. Manuskript, verf. im alliierten Konzentrationslager Andalusia (Südafrika), 1942
26. PALLMANN, H.: Grundzüge der Bodenbildung. Schweiz. Landwirtsch. Monatshefte XX, Heft 6/7, S. 1—24, 1942
27. PALLMANN, H. u. Mitarbeiter: Über die Zusammenarbeit von Bodenkunde und Pflanzensoziologie. Mitt. d. 10. Kongr. d. Intern. Verb. Forstl. Forsch.-Anstalten 1948, S. 84, Zürich 1949
28. SCHNEIDERHÖHN, H.: Beiträge zur Kenntnis der Erzlagerstätten und der geologischen Verhältnisse des Otaviberglandes, Deutschsüdwestafrika. Abh. d. Sendenbergs. Naturf. Ges., 37, Heft 3, S. 275—288, Frankfurt a. M. 1921
29. SCHOKALSKAJA, S. Ju.: Die Böden Afrikas (mit einer Bodenkarte Afrikas), S. 323 ff., S. 351, Berlin 1953

30. SEYDEL, R.: Das Schwemmland im Swakoptal 1913—1943. Veröff. d. Wiss. Ges. f. Südwestafrika, S. 13—40, Windhoek 1951
31. von 'SIGMOND, A. A. J.: Böden trockener Gebiete. Hdbch. d. Bodenlehre III, S. 294 ff., Berlin 1930
32. STEPHENS, C. G.: A Manual of Australian Soils. Melbourne 1953
33. VAGELER, P.: Die agrogeologische Aufnahme jungfräulicher Großräume als Grundlage der Wirtschaftsplanung. Acta tropica IX, 1, 1952 — Landwirtschaft
34. ders. Die Untersuchung tropischer Böden und ihre Auswertung für die Praxis. Berlin 1942
35. ders. Koloniale Bodenkunde und Wirtschaftsplanung. Berlin 1941
36. ders. Grundriß der tropischen und subtropischen Bodenkunde. 2. Aufl. Berlin 1938
37. WALTER, H.: Analysen von Bodenproben. Der SWA-Farmer, Jan.-, März- und Aprilheft, Windhoek 1956
38. WALTER, H. u. VOLK, O. H.: Grundlagen der Weidewirtschaft in SWA. Stuttgart 1954
39. WALTER, H.: Die Periodizität von Trocken- und Regenjahren auf Grund von Jahresringmessungen an Bäumen in Deutsch-SWA. Ber. d. Dtsch. Bot. Ges. 54, S. 608—611, 1936
40. WELLINGTON, J. H.: Southern Africa, a geographical study. Vol. I, S. 305 ff., Cambridge 1955
41. WILENSKI, D. G.: Bodenkunde. Übersetzg. aus d. Russ. Berlin 1957
42. WILHELMY, H.: Klimamorphologie der Massengesteine. Braunschweig 1958
43. ders. Die Bewässerungsoase am Rio Negro (Argentinien). Stuttg. Geogr. Stud., 69, S. 398, Stuttgart 1957 (Lautensach-Festschrift)
44. Veröff. der Wiss. Ges. f. SWA, Heft 1956/57, Windhoek. Karte der Jahresniederschläge in Isohyeten, 1:2 Mio.
45. ZELLE, E.: Die Grundlagen des Klimas in Windhoek. Denkschr. z. Errichtung einer Lungenheilstätte (zitiert nach H. Walter), Windhoek 1931
46. Karte von SWA, 1 : 1 750 000, dreisprachig, in vier Farben, herausgegeben von der Wiss. Gesellschaft Windhoek, 1957



## 9 VERZEICHNIS DER ABBILDUNGEN

### *Farbbilder*

1. Drei typische Bodenprofile aus SWA ..... nach Seite 136
2. Rote Düne und Pflanze in der Kalahari ..... nach Seite 136
3. Südrand der Etoschappflanze ..... nach Seite 136
4. Boden mit Gemüseanbau bei Tsumeb ..... nach Seite 136

### *Zeichnungen und Photos*

- 1.1. Karte der mittleren jährlichen Niederschlagsmengen in SWA ..... 14
- 1.2. Gewitterwolken während der Regenzeit in SWA ..... 137
- 1.3. Typische Wollsackverwitterung im ariden Klima SWA's ..... 138
- 1.4. Querschnitt und Bodenbildung in Talzügen ..... 19
- 1.5. Blick auf das Canon im Unterlauf des Fischflusses ..... 139
- 1.6. Wand mit Kalkabscheidungen im Naukluftgebirge ..... 140
- 1.7. Termitenhügel im Buschwald ..... 138
- 1.8. Kandelaber-Aloe und Milchbüsche ..... 141
- 1.9. Baumsavanne mit Dornakazien im Farmgebiet Okaputa ..... 141
- 1.10. Breites Trockental des Swakops oberhalb Swakopmunds ..... 142
- 1.11. Uferwald am Khanrivier ..... 142
- 1.12. Inselberg bei Rehoboth ..... 143
- 2.1. Düne im Grenzgebiet der Kalahari ..... 143
- 2.2. Blick von der Farm Steinfeld ..... 28
- 2.3. Grauer Boden leichter Textur ..... 31
- 3.1. Vorläufige Bodenskizze von SWA ..... 144
- 3.2. Profil eines Braunen Halbwüstenbodens ..... 41
- 3.3. Landschaft im Khomas-Hochland ..... 145
- 3.4. pH-Werte einiger Bodentypen von SWA ..... 45
- 3.5. Chuos-Berge zwischen Jakalswater und Usakos ..... 146
- 3.6. Kameldornbaum in der Wüste ..... 147
- 3.7. Im Naukluftgebirge ..... 148
- 3.8. „Scherbenböden“ im Farmgebiet Haribes ..... 150
- 3.9. sog. „Scherbenboden“ ..... 47
- 3.10. Im Sandfeld ..... 149
- 3.11. Häufige Form der Dünenfolge im Grenzgebiet zur Kalahari ..... 49
- 3.12. Bodenprofil aus Flugsandresten mit Kalkdurchtragung ..... 49
- 3.13. Brauner Boden der Halbwüste ..... 50

3.14. Vereinfachter W-E-Geländeschnitt am Kaoko-Veld .....	51
3.15. Brauner Boden der Halbwüste, im Unterboden versalzt .....	52
3.16. Geringwüchsige sehr lichte Savanne bei Tsumeb .....	150
3.17. Dichter Trockenwald bei Tsumeb .....	151
3.18. Wahrscheinlich solodartiger Boden am Friedhof Waterberg .....	63
3.19. Solontschak .....	65
3.20. Wasserstelle im Rivier bei Farmhaus Voigtsgrund .....	152
3.21. Bodenverteilung an der Wasserstelle Alt-Nomtsas .....	66
3.22. Eine typische Bodenfolge hangab .....	70
3.23. Bodencatena im Gebiet der Farm Rehderstal .....	72
3.24. Catena-artige Bodenfolge am Stadtrand von Otjiwarongo .....	72
3.25. Typische Bodenkomplexe .....	73
3.26. Typische Bodenkomplexe und Termitenhügel .....	74
3.27. Geländeschnitt durch ein „Vley“ .....	75
4.1. Wüste Namib bei den Rössing-Bergen .....	153
4.2. Tafelberge der Fischflußformation bei Seeheim .....	154
4.3. Landschaft im Otavibergland südl. Tsumeb .....	155
4.5. Sodapfanne zwischen Schwarzem und Weißem Nossob .....	155
4.4. Bodenfreies Gelände auf Dolomitkuppe südl. Otavi .....	154
4.6. Idealer Querschnitt mit Verteilung von Böden und bodenartigen Formen ..	91
4.7. Querschnitt durch das Tal des Fischflusses .....	91
4.8. Landschaft und Bodenbildung in einem Seitental des Konkiep-Riviers ....	92
5.1. Landnutzung in SWA .....	157
5.2. Kampeinteilung bei einer Rinderfarm .....	156
5.3. Garten der Missionsstation in Bethanien .....	158
5.4. Kultur von Eukalyptusbäumen auf bewässerten Böden .....	158
5.5. Salzausscheidungen am Stausee bei Otjitambi .....	159
5.6. Querschnitt durch Gelände und Böden (Stausee Haribes) .....	105
5.7. Infolge Grundwasseraufstaus versalzter Boden bei Keetmanshoop .....	159
6.1. Staubbildung durch ziehende Herden .....	160
6.2. Bodenerosion durch Wasser .....	114
6.3. Wanderdüne und Zeugenberg bei Sandverhaar .....	160

## 10 SACH- und ORTSREGISTER

*Zahlen bedeuten Seiten im Text. Angaben über Abb. beziehen sich auf die Farbtafeln nach Seite 136 und auf die Schwarzweißfotos Seite 137 u. ffe.*

- A
- Aalborg (Farm) 69  
 Aarhus (Farm) 69  
 Abbabis 38  
 Alkaliflora 66  
 Alkalisierung 68, 101 f.  
 Alluvium 70  
 Alt Nomtsas 52, 66, 67  
 Angola 12  
 Aroab 67  
 Atakor 68  
 Auasgebirge 46  
 Auenböden 79
- B
- Bastardland 43, 53, 96, 115  
 Baumsavannen 22; Abb. 1.9  
 -, böden 40, 47, 74, 88, 117  
 Bethanien 74, 116; Abb. 5.3  
 Blumtal 53, 62, 67  
 bodenähnliche und bodenartige  
     Formen 74, 83 ff., 88 f.  
 Bodenbildung in SWA, Grundsätz-  
     liches 27 ff., 98  
 bodenfreie Gebiete 12, 74, 92; Abb. 4.4  
 Bodenkunde, dynamische 25  
 Bodenlehre, klimatische 76 f.  
 Bodenskizze von SWA Abb. 3.1
- Bodentypen, klimatische 76  
 Bodenwasserhaushalt 101  
 Böden in SWA  
 -, Alkalisierung 68, 101 f.  
 -, Analysenwerte 38, 53, 62, 80 f., 93  
 -, Bewässerung 20, 97, 101 ff., 108 f.;  
     Abb. 5.3, Abb. 5.4  
 -, biologisch 12  
 -, Bodenlösungen 32, 101  
 -, Catenen 24, 69 ff.  
 -, Düngemittel und Nährstoffe 99 f.  
 -, Düngung 95, 97 ff.  
 -, Durchwaschung 31  
 -, Erosion 111 ff.  
 -, -, durch Wasser 113 ff., 119  
 -, -, durch Wind 112, 119  
 -, -, naturbedingt 111  
 -, -, wirtschaftsbedingt 111 ff.  
 -, genetisch 11  
 -, Vgl. zu Gesamtafrika 33 ff.  
 -, Gliederung, vorläufige 88 f.  
 -, Grundfeuchte 18 f.  
 -, -, wasser 18 f., 51, 63, 65  
 -, Halbzonale 52, 54, 76, 88 f.  
 -, Humusgehalt 30 (s. a. -, Analysenwerte)  
 -, Intrazonale 52 ff., 76, 88 ff.  
 -, Komplexe 24, 69 ff., 73 ff.  
 -, Kultur 95 ff.  
 -, Vgl. zu mitteleurop. Böden 76 ff., 82

- , Nutzung 95 ff.
- , pH-Zahlen 32,45 (s. a. -, Analysenwerte)
- , Reliefeinfluß 23 f., 69 f.
- , Rückentwicklung 117
- , Stalldüngerwirkung 100
- , substanziall 11
- , Tierbesatz 12, 21
- , und Vegetationsdecke 20 ff., 111 f.
- , Verbreitung Abb. 3.1 (vorl. Skizze)
- , Verdichtung 116 f.
- , Verdrängung 32
- , Verhärtung 116 f.
- , Verkalkung 20, 28, 29, 67
- , Versalzung 20 f., 51 f., 62, 64 ff., 67, 74, 89, 101 ff., 121; Abb. 3.20, Abb. 5.7
- , verschüttete 115, 119
- , Zerstörung 111 ff.
- , Zonale 37 ff., 88 f.
- , -, Subtypen und Varianten 46 ff., 88 f.
- , Zusammenfassung 92 ff.
- Bondelswart-Reserwe 28, 44, 75
- Braune Böden leichter Textur 48, 74, 80, 89
- Braune Böden schwerer Textur 56 f., 80, 88, 89, 90
- Braunerden, Mitteleurop. 58, 77, 81
- Braune u. Graue Böden der Halbwüste 40 ff., 47, 49, 50, 56, 59, 60, 71, 77, 80, 89, 90, 91, 105; Abb. 1 b (Farbtaf.)
- Braunlehme 81
- Büllsport 114
- Buschsavannen 22, 89
- , -böden 40 ff.

## C

- Caprivi-Zipfel 12
- Catenen 70 ff., 75, 93
- Catenenglieder 69, 71 (s. a. Böden in SWA, Catenen)
- Chab 53
- Chuosberge 28, 44, 115; Abb. 3.5
- Colluvium 70

## D

- Damara-Reserwe 47
- Dampfnudelstruktur 117
- Deflation 115
- Dolomit 61
- Dordabis 85
- Dünen, Dünensande 24, 64, 68, 69, 84, 85, 89, 105, 116, 117; Abb. 2 (Farbtaf.), Abb. 2.1
- Dunkle Böden aus Kalken 60, 74
- Duwisib 38, 114, 116

## E

- Ebony 84
- Eisenberg (Farm) 38, 61
- Eisenkrusten 84
- Eluvium 70
- Eriksons Pütz 104
- Erosion s. Böden in SWA, Erosion
- Etoschapfanne 20, 28, 39, 53, 56, 59, 60, 62, 65 f., 73, 78, 87, 88, 117, 118; Abb. 3 (Farbtaf.)

## F

- Faktoren der Bodenbildung in SWA 11
- Feinsedimente, bodenähnliche 83 ff., 89
- Fischfluß 12, 64, 85, 91, 92, 106, 109, 116
- , -canon 45, 106; Abb. 1.5
- , -projekt 106, 109
- Flächenerosion 113 f., 119
- Flugsanddecken u. -felder 84, 85, 89, 91, 92, 116
- Formenwandel der Böden Afrikas, planetarischer 34
- Franken (Farm) 38, 50
- Fransfontein 50, 56, 62
- Furchenerosion 113 f.

## G

- Gans-Berg 43
- Garib-Ost 48, 52, 85, 114

Gebirgsböden 46, 71, 72, 88 f., 90, 92  
 Gelwater 85, 106  
 Gesteinsverwitterung 27 ff.  
 Gibeon 74, 85, 91, 106  
 -, -Reserwe 28, 43  
 Gips 45, 102, 107 f.  
 Glattenbildung 113  
 Glaubersalz 61  
 Gleye 81, 82  
 Gleypodsole 78, 82  
 Gobabis 53, 55, 62, 67, 74  
 Grabenerosion 113 f., 119  
 Graslaagte 53, 70  
 Graue Böden der Halbwüste s. Braune  
 und Graue Böden d. Halbwüste  
 Graue Böden leichter Textur (aus Kalk)  
 58 ff., 70, 72, 73 f., 80, 82, 88 f., 104  
 Graue Böden schwerer Textur 54 ff., 60,  
 69, 70, 71, 74, 76, 78, 80, 88, 90, 93,  
 115; Abb. 1 c (Farbtaf.)  
 -, hydrogene Durchmischung 55  
 Graue Wüstenböden 44  
 Grootfonteiner Fläche 28, 66  
 Groß Otavi 69  
 Grünau (SWA) 74, 116  
 Grundwasser 18 ff., 51, 63, 65, 102

## H

Halbwüstenböden s. Braune u. Graue Bö-  
 den d. Halbwüste  
 Halophyten 65, 66  
 Haribes 28, 47, 53, 64, 90 f., 105  
 Hauchabfontein 20, 104  
 Hayas 65, 104  
 Heidelberg (Farm) 38, 53, 59, 60, 117  
 Heimaterde 48, 53, 55  
 Hessen (Farm) 53, 55, 62  
 Hohenau 38, 57, 115  
 Hydrolyse 27 ff., 64, 67, 101 f.

## I, J

Inselberg Abb. 1.12

Intrazonale Böden s. Böden in SWA,  
 Intrazonale  
 Jakalswater 44

## K

Kainuchas 20, 104  
 Kalahari 16, 28, 48 f., 52, 62, 67, 69, 89;  
 Abb. 2 (Farbtaf.), Abb. 2.1  
 -, -kalke 48  
 Kalkbänke 18, 27, 59, 67, 78  
 -, -böden 58, 59, 60  
 Kalke, kristalline 59  
 Kalkfeld 40, 60  
 -, -konkretionen 18, 28 f., 58, 73, 78  
 -, -krusten 18, 20, 27 f., 43, 58, 59, 89, 102  
 -, -pfannen 87  
 -, -rinden 18, 27; Abb. 1.6  
 Kalzifizierung, kalzifizierte Böden 74, 89,  
 90, 106, 121  
 Kalziumkarbonatbildung 27, 29  
 Kamanjab 28, 38, 69  
 Kameldornfluß 116; Abb. 3.6  
 Kaokoveld 42, 51, 69, 71, 84  
 Karasberge, Große 46, 49  
 Karasburg 28, 44, 74  
 Karesis 60  
 Karibib 28, 38, 42, 57, 59  
 Kationensorption, selektive 32, 101  
 Keetmanshoop 28, 74, 105  
 Khanrivier 57; Abb. 1.11  
 Khomas-Hochland 38, 42, 57; Abb. 3.3  
 Kieselsäure als Schutzkolloid 29, 117  
 Klein Aiais 44, 106, 116  
 Klein Aub 28, 96  
 Klein Karas 116  
 Klein Omaruru 62, 104  
 Klein Windhoek 42  
 Klippenberg bei Karibib 38  
 Kochsalz 61 f., 65  
 Kosis 116  
 Konkiep-Rivier 92, 116  
 Krustensolotschake 61, 64, 65, 79  
 Kurawato-Mine 38

## L

Landnutzung Abb. 5.1  
Laterisierung 33  
lateritähnliche Krusten 117  
Lever-Rivier 85, 91, 106, 116  
Lockermassen (ohne Bodenbildung) 83 ff.  
Löwenfluß 44

## M

Maisanbau 56, 96  
Maltahöhe 28, 112  
Mangankrusten 84  
Man made desert 43, 96  
Marienhof 51, 57, 114  
Mariental 28, 74, 106

## N

Namib 28, 43, 83, 84 f., 89, 108; Abb. 4.1  
Natriumionen (im Sorptionskomplex) 55, 106 f.  
-, -karbonat 29  
-, -salze 61 f.  
Natronböden 61, 114  
Naukluftgebirge 43, 46, 66, 84, 114, 116;  
Abb. 3.7  
Navachab 53  
Nomtsas 38, 43, 47, 66, 114  
Neuhof-Reserwe 114, 116  
Nordenburg (Farm) 44

## O

Oberflächenkalk 50, 59  
-, -verhärtung 117 f.  
Okahandja 40  
Okaputa 53, 56  
Okarusukemue 53  
Okaukuejo 73  
Okavango 12  
Okombahe 38, 43, 47  
Okongue 38, 42  
Okosongomingo 59

Omaruru 42, 60, 86, 114  
-, -Rivier 113  
Omuramba 19  
-, -böden 54, 88  
-, -Ovambo 56, 65  
Oranje 12, 84, 106  
Otavi 28, 29, 38, 86, 117  
-, -bergland 46, 61, 69, 85, 89; Abb. 4.3  
-, -fontein 69  
-, -tal 39, 69, 70  
Otjikondo 40, 69, 74  
Otjitambi 73, 105, 114  
Otjiwarongo 56, 60, 69, 71, 72, 74, 117  
Outjo 69, 73, 74, 114

## P

Pararendzinen 81, 82  
Pfannen (s. a. Kalk-, Soda-, Salzpflanzen)  
19, 20, 78, 85, 91; Abb. 2 (Farbtaf.)  
Pseudogleye 81, 82  
pseudorubefizierte Formen 88, 117

## Q

Quarzsande 57 f., 68, 69

## R

Regenflüsse 85  
Regure 54  
Rehoboth 43, 51, 57, 96  
Relief u. Böden 23 f., 70  
Rendzina, Rendzinen 58, 81, 82  
Rhederstal 69, 71, 72  
Rieselbewässerung 101  
Rivier 18, 19  
-, -betten 85, 89, 91  
Rössingberge Abb. 4.1  
Roterdereste 60, 72, 73  
Rotlehmrelikte 60, 68, 69, 73, 74, 89, 117  
Rubefizierung 33

## S

- Sahara 84, 108  
 Salzanalysen 22  
 –, -böden (s. a. Böden in SWA, Versalzung u. Solontschake) 61 ff., 76, 107; Abb. 4 (Farbtaf.)  
 –, -krusten (s. a. Krustensolontschake) 20, 65, 79, 89; Abb. 5.5  
 –, -pfannen 67  
 Sand, Sandböden 57, 64, 113  
 Sandfeld 74, 114; Abb. 3.10  
 Sandverhaar 28, 74, 116  
 Savanne Abb. 3.16  
 Seeheim 28, 44, 74, 106  
 Senkenböden aus Kalk 60  
 Sickerwasser in Böden 57  
 Skeletonküste 84  
 Sodabildung 29, 64  
 –, -pfannen 64, 67, 87, 92; Abb. 4.5  
 –, -solontschake 82  
 Solitaire (Farm) 116  
 solodartiger Boden 63, 64, 80  
 Solodierung 48  
 solonezartige Böden u. ä. 61, 63, 79, 82; Abb. 4 (Farbtaf.)  
 Solonezierung (= Solonzierung) 33, 61, 63 ff., 86  
 Solontschake (s. a. Krustensolontschake u. Salzböden) 61 ff., 79, 80, 82, 83, 86, 89, 105  
 Subtypen Zonaler Böden durch Gesteins-einfluß 46  
 –, durch Verkalkung 49  
 Südwest-Afrika (allgemeine Angaben)  
 –, bodenbildende Gesteine 16 ff.  
 –, Größe, Grenzen 13  
 –, Kalziumkarbonatbildung 17  
 –, Niederschläge 13 ff.; Abb. 1.2  
 –, Temperatur 16  
 –, Vegetation u. Böden 15  
 –, Zuschußwasser in Böden 18 ff., 68  
 Swakop 101, 106, 113  
 –, -mund 84, 101  
 –, -tal 97, 106; Abb. 1.10

## Sch

- Schaf-Rivier 85  
 Scherbenböden 47, 90, 92; Abb. 3.8  
 Schokoladefarbene Böden 60, 72, 73, 89  
 Schwarzbrack 65, 66, 105  
 Schwarzerden, subtrop. 54  
 Schwarzer Nossob 67, 87  
 Schwarzrandplateau 66, 89

## St

- Stagnogleye 78, 82  
 Staubbildung Abb. 6.1  
 Staubzufuhr zu Böden 58  
 Staudämme, -seen 105 f.  
 Steindecken 46, 47, 89  
 Steinfeld (Farm) 28  
 Steinpflaster 43  
 Straußfeld 114

## T

- Tafelberge 51, 85; Abb. 4.2  
 takyrartige Formen u. Böden 56, 76, 78, 83, 84, 85, 86 ff., 88 f., 90 ff.  
 Takyre 86  
 Termitenhügel 21, 74  
 Terre rosse 58  
 Tirasberge 84, 116  
 Tirse, tirsartig 54, 90  
 Tirsifizierung 33, 54  
 Trockenflüsse (s. a. Rivier) 116, 120  
 Trockenwald Abb. 3.17  
 –, -böden 39, 58, 61, 66, 70, 73, 77, 80, 88; Abb. 1 a (Farbtaf.)  
 Tsaris-Berge 20, 28, 43, 84, 89  
 Tschernoseme 55  
 Tses 74  
 –, -Reserwe 43  
 Tsumeb 39, 105, 117; Abb. 4 (Farbtaf.)

## U

- Überweidung s. Weideübernutzung  
 Ugab-Rivier 113  
 Umweltfaktoren der Bodenbildung 11  
 Usakos 28, 115

## V

Vegetation in SWA 20 ff.  
-, Abbrennen 118  
-, Bedrohung durch Dürre u. ä. 22, 112  
-, Schutzwirkung für Böden 22, 111  
-, Vernichtung 111, 116 f.  
Vergenoog 116  
Verkalkung s. Böden in SWA, Verkalkung  
Versalzung s. Böden in SWA, Versalzung  
Verwitterung u. Bodenbildung 27 ff.  
Verwitterung in ariden Gebieten 29 f.  
Vley 9, 20, 78  
-, -böden 54 f., 74, 88, 92  
Voigtsgrund 53, 62

## W

Waldhausen 52, 114  
Waldmoorböden 82

Walfischbay 84

Wanderdünen 21, 84, 91, 92; Abb. 6.3  
Warlingcourt 59  
Wasserabfluß, oberflächlicher 113 f.  
Waterberg 20, 39, 48, 52, 55, 56, 63, 69,  
74, 80, 104, 114, 115  
Wechselfeuchte der Böden 19, 55, 93  
Weidenutzung 96  
Weideübernutzung 113, 117, 122  
Weißbrack 63  
Weißer Nossob 67, 87  
Weißrandplateau 66  
Wilhelmstal 52, 57, 114  
Wollsackverwitterung 51; Abb. 1.3  
Wüstenböden 43, 44, 74, 75, 80, 89, 92

## Z

Zonale Böden s. Böden in SWA, Zonale

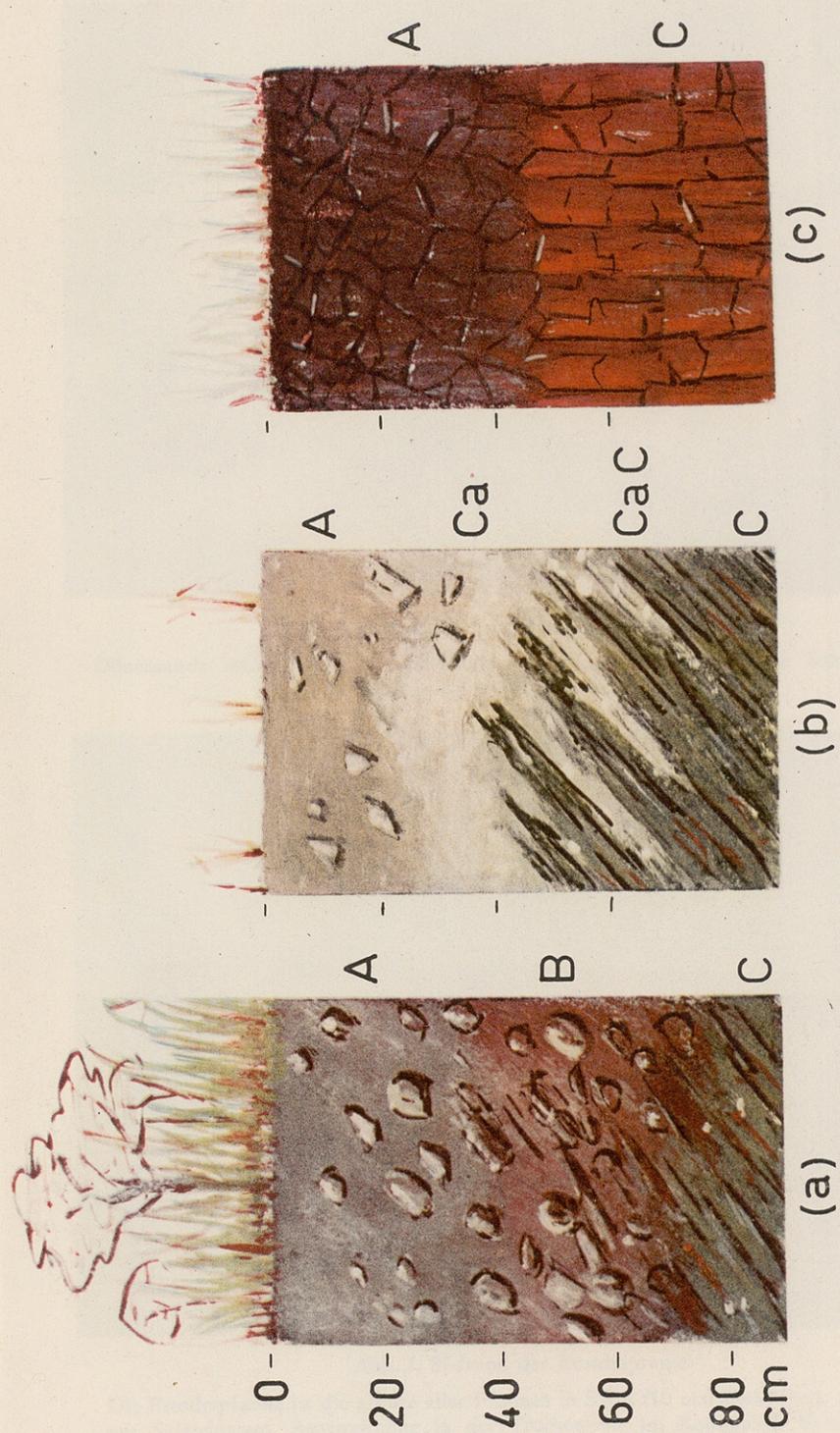


Abb. 1. Drei typische Bodenprofile aus SWA

(a) Trockenwaldboden am Otavital [311]

(b) Brauner Halbwüstenboden, im Untergrund kalzifiziert (Ca,CaC), an der Ostgrenze des Bastardlands [323]

(c) Grauer Boden schwerer Textur aus fossilen Rotlehmrelikten bei Groß Otavi [337]

Nähere Erläuterungen im Text bei den genannten Ziffern. (Entwurf: Verf.)





Abb. 2. Rote Düne und Pfanne in der Kalahari

Dünensande infolge Eisenoxidumhüllung rot gefärbt. In der Pfanne Solontschake (Böden mit Kochsalz, Glaubersalz, Gips, Kalk)

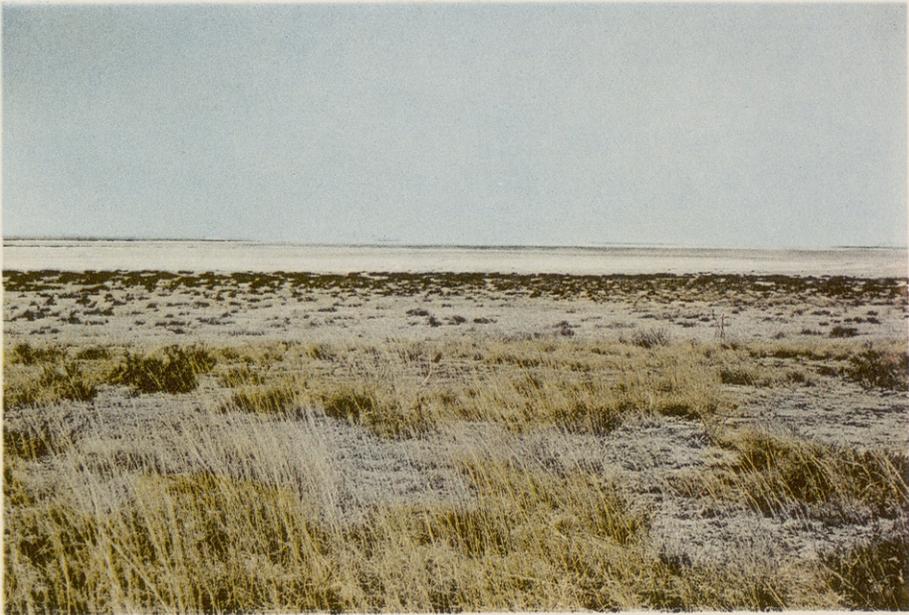


Abb. 3. Südrand der Etoschapfanne

Die Etoschapfanne ist die größte aller Pfannen in SWA (10 mal Bodensee!). Ausfüllung mit Salzschlamm, Austrocknung in der Trockenzeit. Im Randgebiet Salzböden mit Halophyten und Kalkausscheidungen





Abb. 4. Boden mit Gemüseanbau bei Tsumeb, infolge künstlicher Bewässerung versalzt und solonchiert. Auffallend ist die braunschwarze Farbe und schmierige Konsistenz der Böden, sie reagieren stark alkalisch





Abb. 1.2. Gewitterwolken während der Regenzeit in SWA  
In der Regenzeit, die gleichzeitig die heiße Zeit umfaßt (November bis gegen März), bilden sich nachmittags oft schwere Gewitterwolken, die sich meist in örtlich begrenzten Gebieten in Form schwerer Regengüsse entladen. Die große Regendichte bewirkt oft Bodenerosion nach langer Trockenzeit

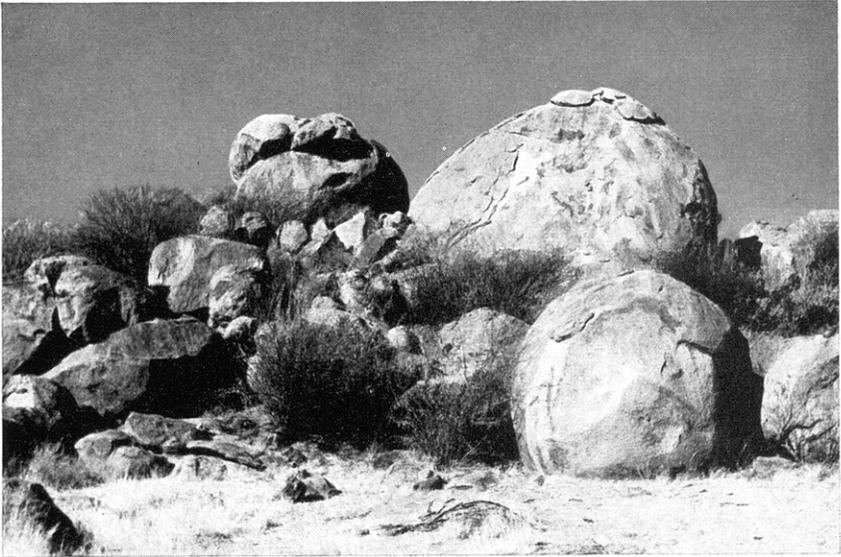


Abb. 1.3. Typische Wollsackverwitterung im ariden Klima SWA's  
Dolerite, Granite (wie hier im Bilde) u. ä. Massengesteine verwittern in eigentümlicher Weise zu runden Gebilden. Die „Wollsäcke“ liegen oft als einzige Erhöhung in völlig verebnetem Gelände, das aus umgelagerten Verwitterungsprodukten geologischer Vorzeiten aufgebaut ist. Aus diesen entstehen nunmehr die rezenten Böden



Abb. 1.7. Termitenhügel im Buschwald (Bez. Outjo)  
In relativ niederschlagsreicheren Gebieten von SWA findet man z. T. mehrere Meter hohe Termitenhügel, je nach Boden in den verschiedensten Farben (s. hierzu auch Abb. 3.26)



Abb. 1.5. Blick auf das Canon im Unterlauf des Fischflusses  
Dieses wohl großartigste Landschaftsbild SWA's mit dem tief eingeschnittenen Fischflußcanon, das an Schönheit, wenn auch nicht an Größe mit dem Colorado-Canon vergleichbar ist, liegt ganz im Süden von SWA. Der Fischfluß weist hier auch während der Trockenzeit oft zahlreiche zusammenhängende Wasserstellen auf. Am Ufer weiße Streifen von Kalk- und Salzausblühungen



Abb. 1.6. Wand mit Kalkabscheidungen im Naukluftgebirge (Bläßkranz)  
Nach Wassereinwirkung bilden sich im ariden Klima auf silikatischen Gesteinen in längeren Zeiträumen oft starke Kalkkrusten; teils durch Abscheidung des im Wasser gelösten Kalzium-hydrogen-karbonats, teils durch Hydrolyse der Kalziumaluminium-silikate im Gestein. Hierbei wird das anfangs gebildete Kalziumhydroxyd in Kalziumkarbonat umgebildet. Am Bläßkranz dürften beide Ursachen gegeben sein

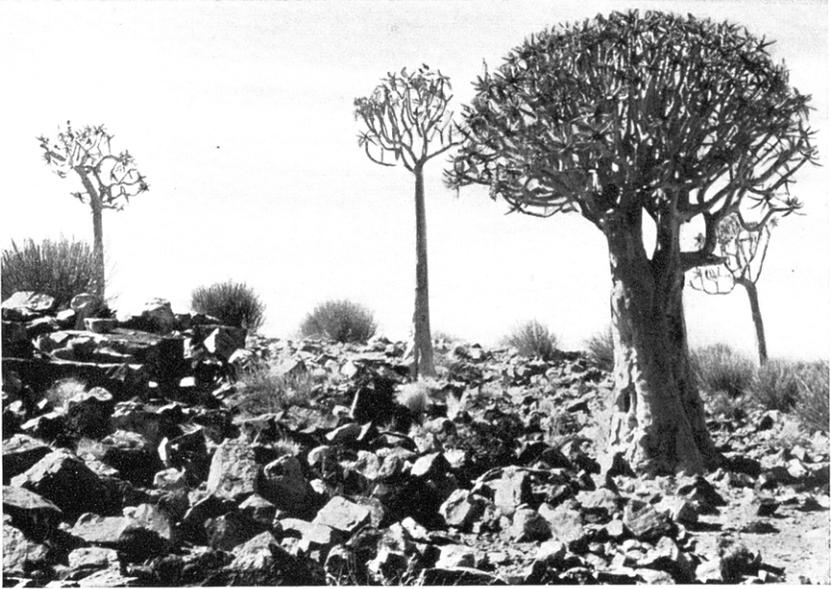


Abb. 1.8. Kandelaber-Aloë und Milchbüsche  
in der Wüste östlich des Fischfluß-Canons. Auf den steinigten Wüsten und Halbwüsten  
im S von SWA ist als kennzeichnender Baum die Kandelaber-Aloë (*Aloë dichotoma*)  
neben Milchbüschen zu finden



Abb. 1.9. Baumsavanne mit Dornakazien im Farmgebiet Okaputa  
Zwischen Otjiwarongo und Otavi im mittleren Norden von SWA fallen etwa 400 mm  
Regen im Jahresmittel, die einen lockeren Baumbestand mit dichtem Graswuchs ermög-  
lichen. Vgl. dazu den schütterten Graswuchs im Süden, Abb. 3.6



Abb. 1.10. Breites Trockental des Swakops oberhalb Swakopmunds  
 Im schroffen Gegensatz zur vegetationslosen Kernwüste ist der Boden des Swakoptals infolge örtlich oberflächennahen Grundwasserstandes teilweise begrünt und dient dann als Viehweide. Bewässerung ermöglicht Kleinfarmbetrieb mit Intensivkulturen. Die Böden sind oft von Natur aus, z. T. auch schon künstlich versalzt



Abb. 1.11. Uferwald am Khanrivier  
 Dort, wo auch nur wenige Tage durch „abkommende“ Riviere Grundwasser im Boden zur Verfügung steht, gedeiht ein schmaler Uferwaldstreifen, während in der benachbarten Savanne oder Halbwüste nur lichter Busch und dürrtuge Gräser in trockenen, grundwasserfreien Böden wachsen können

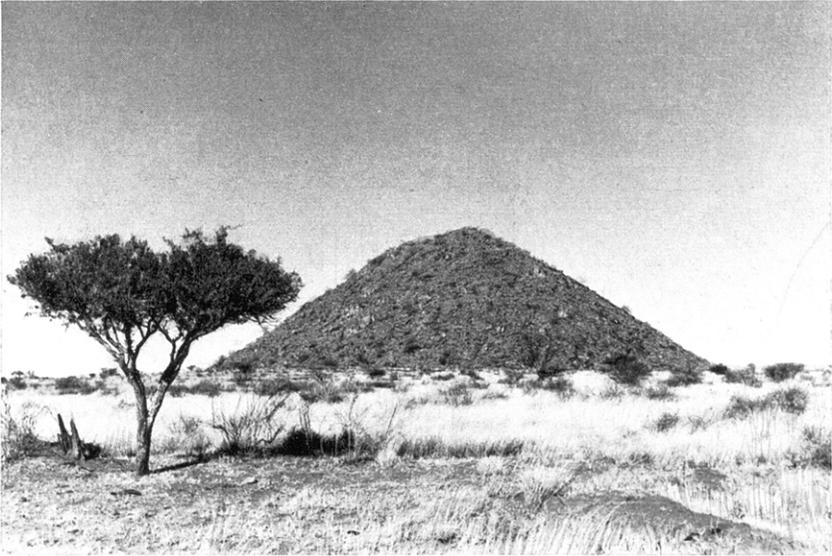


Abb. 1.12. Inselberg bei Rehoboth

Aus der Ebene von Rehoboth, 90 km südl. Windhoek, erhebt sich dieser typische Granit-Inselberg. Infolge Übernutzung erscheinen im Rehobother Bastardland Vegetation und Böden wüstenhafter als es ihnen den Niederschlägen nach zukommen würde



Abb. 2.1. Düne im Grenzgebiet der Kalahari östlich der Karasberge. Die Dünen sind teils isoliert, teils enger — parallel laufend — beieinander liegend. Sie sind meist mit Sträuchern und einzelnen Bäumen sehr licht bewachsen, nur die Kämme sind oft vegetationsfrei und vermögen kurze Strecken hin- und herzuwandern. Zwischen den Dünen oft lose Kalkkonkretionen (im Vordergrund sichtbar)





Abb. 3.3. Landschaft im Khomas-Hochland  
etwa 120 km westl. Windhoek aufgenommen. Grassaanne, einzelne Bäume, Braune Böden der Halbwüste  
auf Schieferen

(Fortsetzung von S. 144): bodenfreien Dünen und Flugsandfeldern. — 6. Graue Böden leichter Textur aus Kalken, im Komplex mit Trockenwaldböden und Böden der Baumsavannen. — 7. Gebirgs-Subtypen der jeweiligen Böden. — 8. Rotlehmrelikte, örtlich beobachtet, mit rezenten Böden. — 9. Solontschake und solonezähnliche Böden, örtlich beobachtet in Senken und Talzügen. — 10. Gebiete mit takyrartigen Formen in Senken. — 11. Größere bodenfreie Wanderdünenengebiete (Namib).

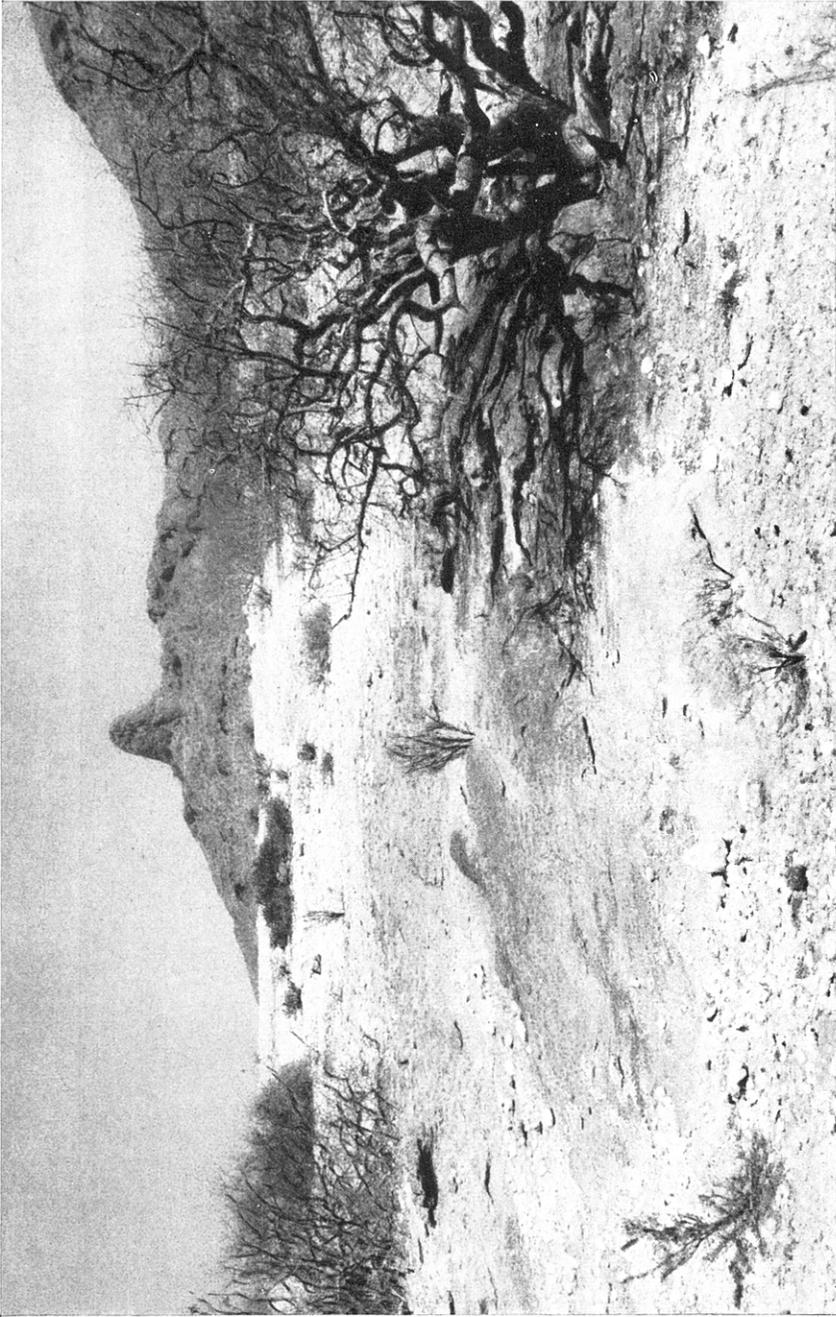


Abb. 3.5 Chuos-Berge zwischen Jakalswater und Usakos mit der „Sphinx“. Mildquarzbedeckte Wüstenböden mit einzelnen bizarr geformten Büschen sind typisch für diesen Teil von SWA, der infolge geringer Niederschläge nur eine sehr extensive Schafzucht gestattet



Abb. 3.6. Kameldornbaum in der Wüste westlich des Bondelswart-Reservats (Distr. Karasburg). In der fast völlig baumlosen Wüste ist nur im oder am Bett des episodisch abkommenden Kameldornflusses genug Feuchte für einzelne Bäume mit sehr tiefreichenden Wurzeln vorhanden. In der Nähe des flachen Flußbettes oft Sandüberwehungen mit verschütteten Wüstenböden



Abb. 3.7. Im Naukluftgebirge

Das nahezu 2000 m hohe Naukluftgebirge am Ostrand der Namibwüste zeigt Braune Gebirgs-Halbwüstenböden und Wüstenböden, die in den Tälern  $\text{CaCO}_3$  und teilweise örtlich Salzflecken aufweisen. Ein solches teilweise verkalktes und örtlich versalztes Tal mit Tamarisken u. a. niedrigwüchsigen Bäumen ist in unserem Bilde festgehalten



Abb. 3.10. Im Sandfeld (Distr. Gobabis)  
Weite Ebenen — Dünenande mit Braunsande mit Braunen Böden leichter Textur — und einzelne flache Höhenzüge herrschen im Sandfeld vor



Abb. 3.8. „Scherbenböden“ im Farmgebiet Haribes  
 Im Süden von SWA, so auch hier in Haribes (Distr. Maltahöhe) findet man als Subtyp  
 des Braunen Halbwüstenbodens den „Scherbenboden“ auf Fischflußsandstein u. ä., aus-  
 gezeichnet durch hohen Gehalt an scherbenartigen Platten an der Oberfläche. Typisch  
 sind hier die horstweise stehenden Grasbüschel

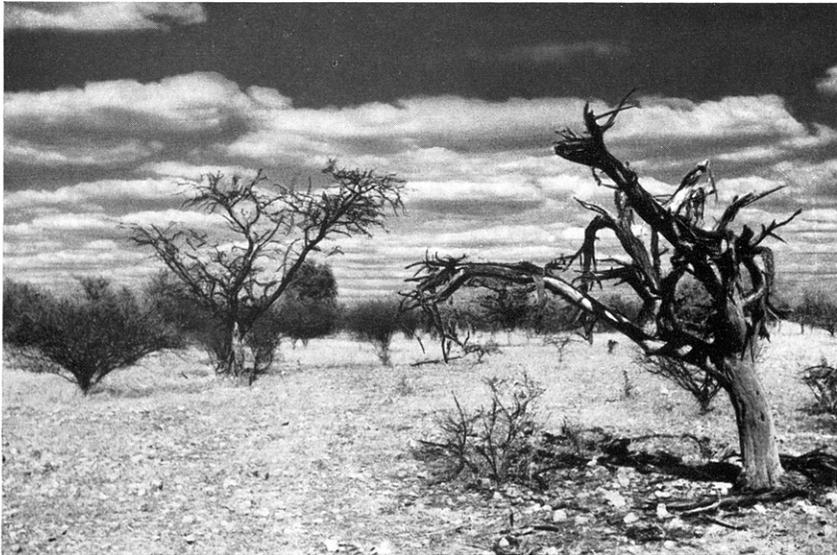


Abb. 3.16. Geringwüchsige sehr lichte Savanne bei Tsumeb  
 Dieser Aufnahmeort liegt in unmittelbarer Nähe von dem der Abb. 3.17. Der hier auf-  
 tretende recht flachgründige Boden leichter Textur aus Kalk läßt infolge seines viel  
 trockneren Bodenklimas nur eine geringwüchsige, sehr lichte Savanne aufkommen. Der  
 Boden ist von festen Kalkstücken durchsetzt, die z. T. sogar auf der Bodenoberfläche  
 liegen

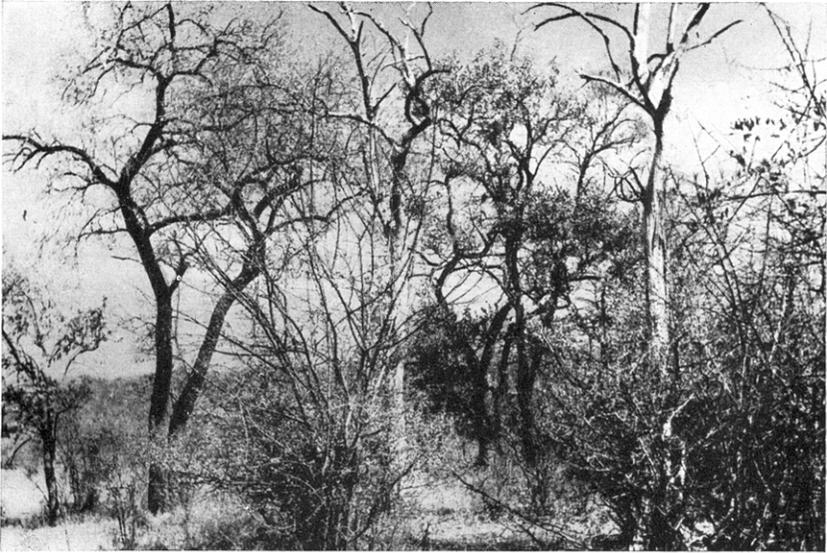


Abb. 3.17. Dichter Trockenwald bei Tsumeb  
Im relativ regenreichen Norden von SWA findet man einen ziemlich dichten, wüchsigen  
Trockenwald meist dornloser Bäume und Sträucher auf tiefgründigem Trockenwald-  
boden aus silikatischem Lockermaterial

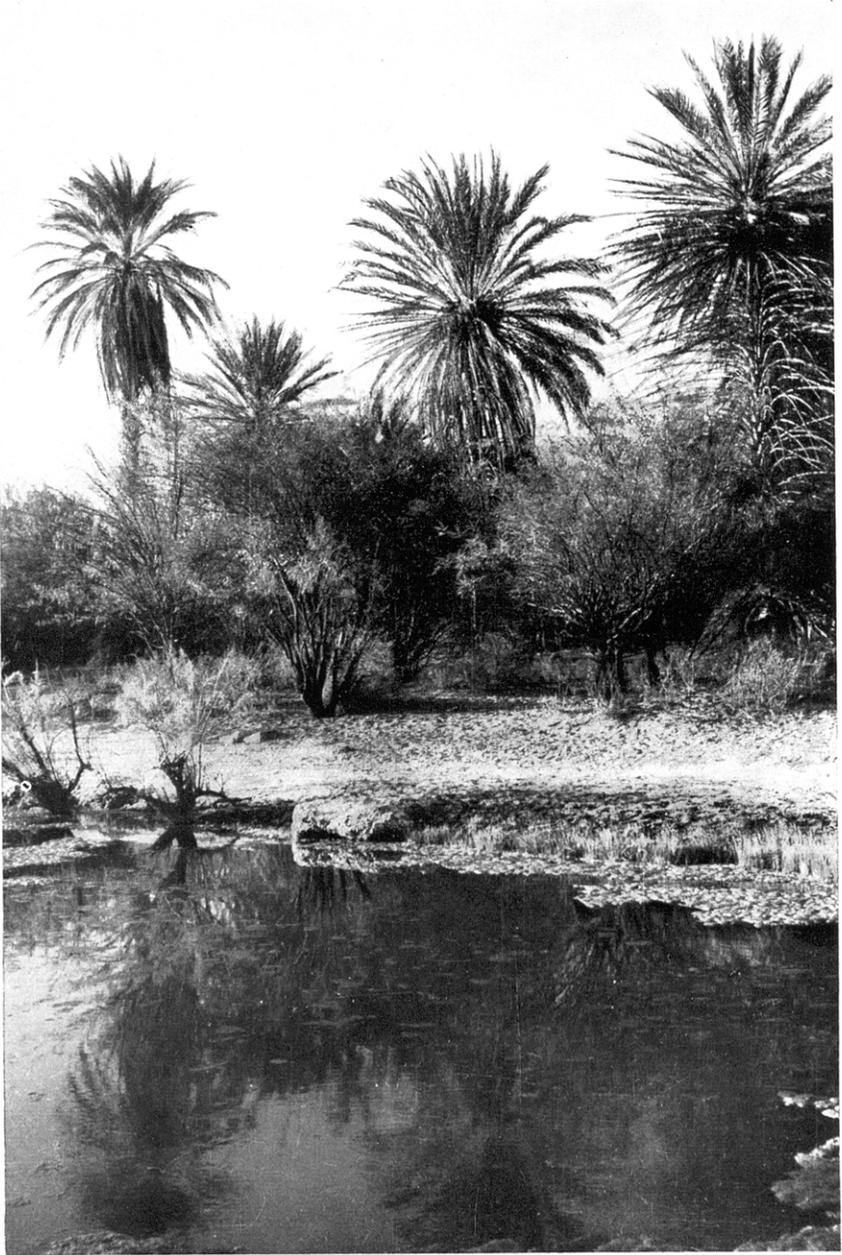


Abb. 3.20. Wasserstelle im Rivier bei Farmhaus Voigtsgrund (Distr. Maltahöhe)  
Oberflächennahes Grundwasser erzeugt in ariden Gebieten üppiges Wachstum aller Pflanzen, doch bildet es hier wie anderswo eine stete Gefahr der Bodenversalzung, die hier auf den Böden am Rand der Wasserstelle deutlich erkennbar ist (weiße Kruste). Die auf dem Bilde sichtbare natürliche Vegetation hat sich auf die Salze eingestellt, doch leiden Kulturpflanzen sehr viel stärker durch oft schon geringe Salzkonzentration



Abb. 4.1. Wüste Namib bei den Rössing-Bergen  
zwischen Ebony und Namib. Übergang zwischen Wüstenböden und bodenartigen Feinsedimenten, durchsetzt mit  
zahlreichen Erosionsrinnen. Nur sporadische Vegetationsreste



Abb. 4.2. Tafelberge der Fischflußformation bei Seeheim  
 Im wüstenhaften Süden fehlen an den Hängen und Steilabbrüchen der Tafelberge Böden und Vegetation. Nur in den Tälern findet sich eine spärliche, oft nur punktweise erscheinende Vegetation, die nur nach episodischen Regengüssen größere Flächen bedeckt

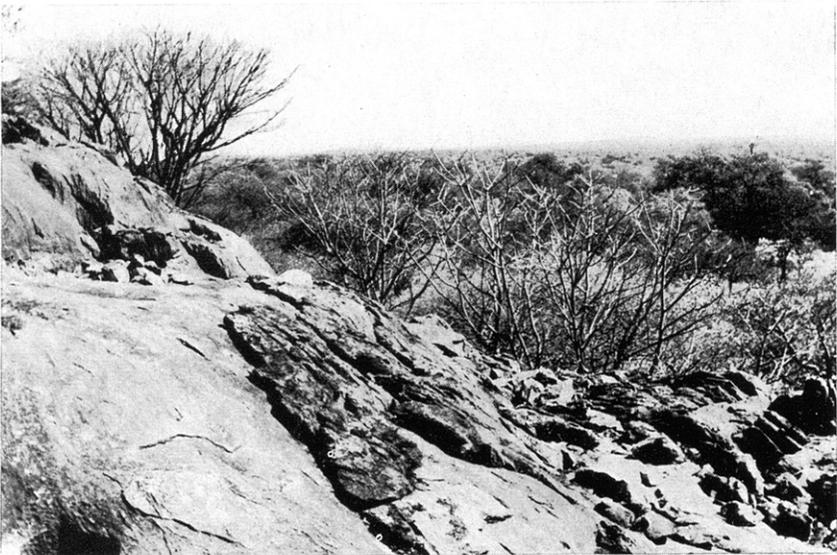


Abb. 4.4. Bodenfreies Gelände auf Dolomitkuppe südl. Otavi  
 Harte Gesteine, wie alte „kristalline“ Kalke, Dolomite oder Granite lassen im Trockenklima SWA's oft keine Bodenbildung aufkommen, besonders in hängiger Lage

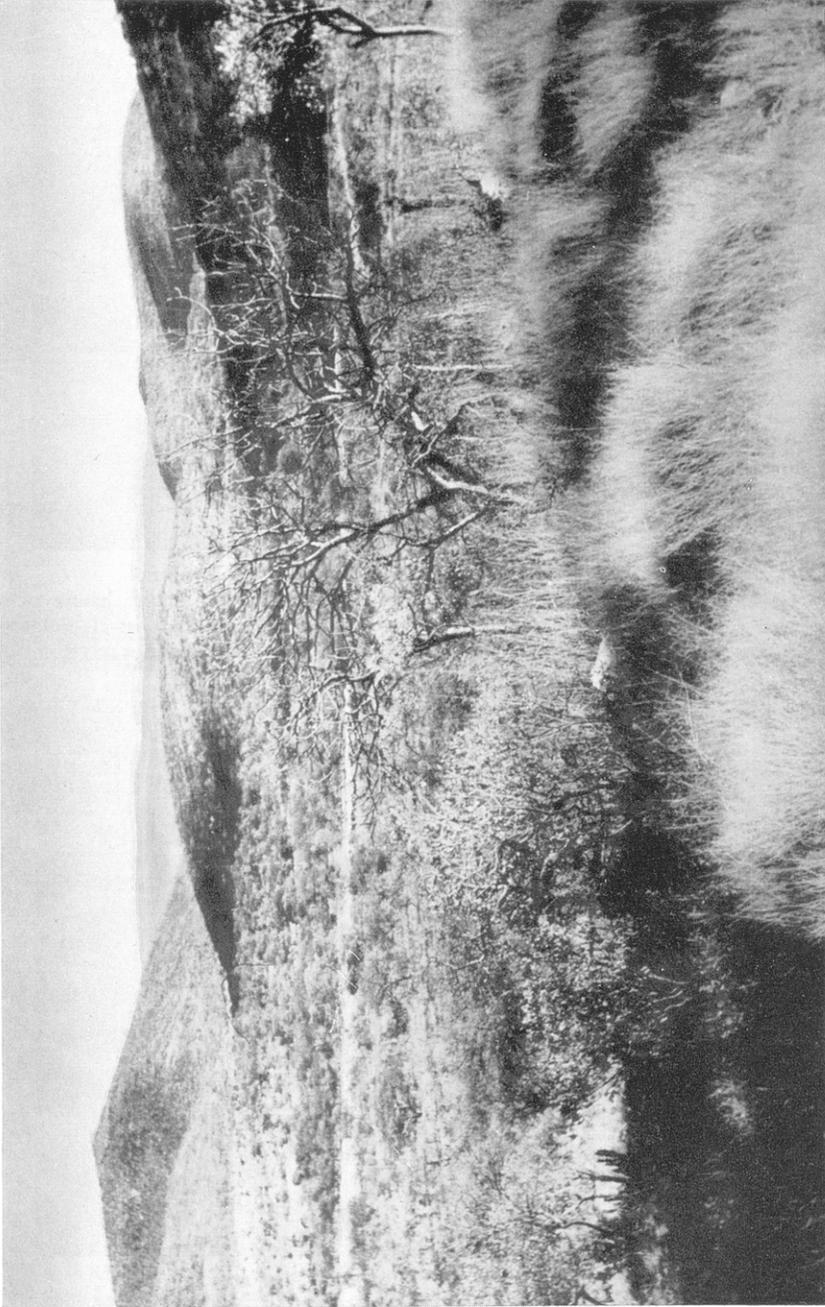


Abb. 4.3. Landschaft im Otavibergland südl. Tsumeb  
Infolge höherer Niederschläge (bis über 500 mm) sind die Berge oft bis in größere Höhen mit einem lichten  
Trockenwald begrünt



Abb. 4.5. Sodapfanne zwischen Schwarzem und Weißem Nossob (Distr. Gobabis). Im Distrikt Gobabis sind Salz- und Sodapfannen ähnlich häufig zu finden wie im Grenzgebiet zur Kalahari. Die Sodapfanne auf dem Bilde ist als Folge der alkalischen Reaktion (pH bis über 10!) völlig vegetationslos



Abb. 5.2. Kampeinteilung bei einer Rinderfarm  
Diese Einteilung ermöglicht eine vorübergehende Schonung der Weide und damit einen Schutz gegen Übernutzung und Bodenerosion. Links genutzter, rechts geschonter Kamp

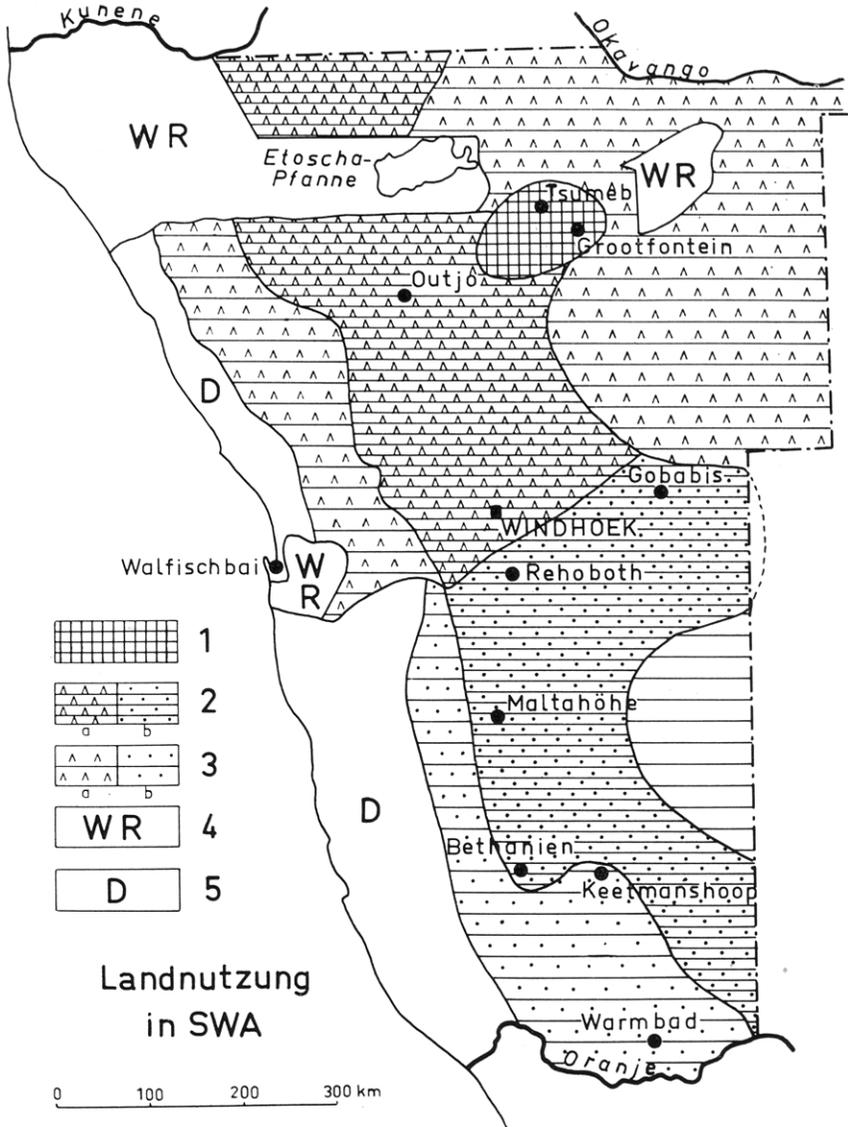


Abb. 5.1. Landnutzung in SWA  
(nach Wellington (40), Bd. II, Karte 1)

1. Halbintensiv genutztes Acker- und Weideland; Rindviehwirtschaft mit Getreidebau.
2. Extensiv genutztes Weide- und Ackerland.  
a = Rinder      b = Schafe und Ziegen, Anbau mit Bewässerung.
3. Sehr extensiv genutztes Weideland.  
a = Rindviehwirtschaft, wo Wasser verfügbar.      b = nomadische Schafzucht.
4. Wildreservate.      5. Extreme Wüste

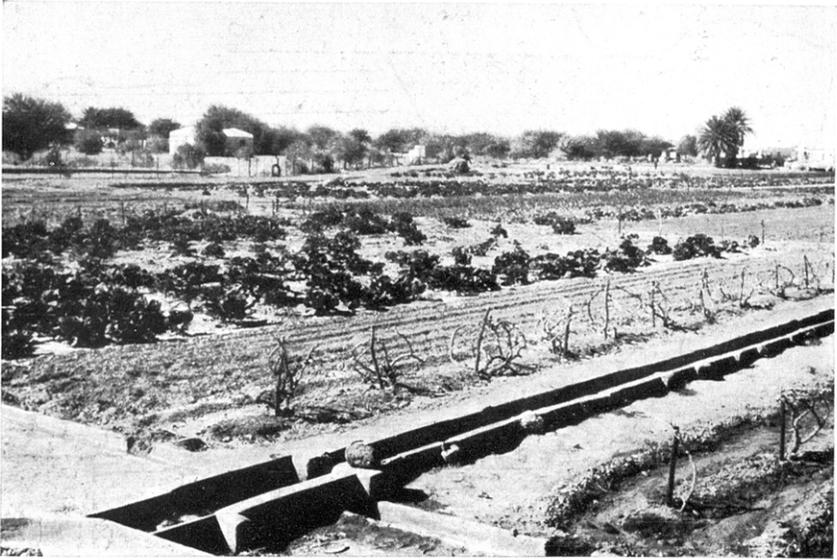


Abb. 5.3. Garten der Missionsstation in Bethanien

Im stark ariden Gebiet, wie es der Süden SWA's darstellt, läßt sich eine intensive Bodennutzung als Gartenland selbstverständlich nur mit künstlicher Bewässerung durchführen. Dabei erfolgt, wie auch hier in Bethanien, eine zunehmende Bodenversalzung. Daneben droht noch eine Versandung des Bodens durch Wanderdünen aus dem nahen Konkiep-Rivier



Abb. 5.4. Kultur von Eukalyptusbäumen auf bewässerten Böden

Der Holzbedarf der Tsumebmine kann nicht aus dem natürlichen Zuwachs des umgebenden Trockenwaldes gedeckt werden. Deswegen war ein Kunstforst von Eukalyptusarten notwendig, wobei zur Beschleunigung des Wachstums bewässert wurde. Auch hier zeigen sich die Folgen der Bewässerung in einer beginnenden Bodenversalzung

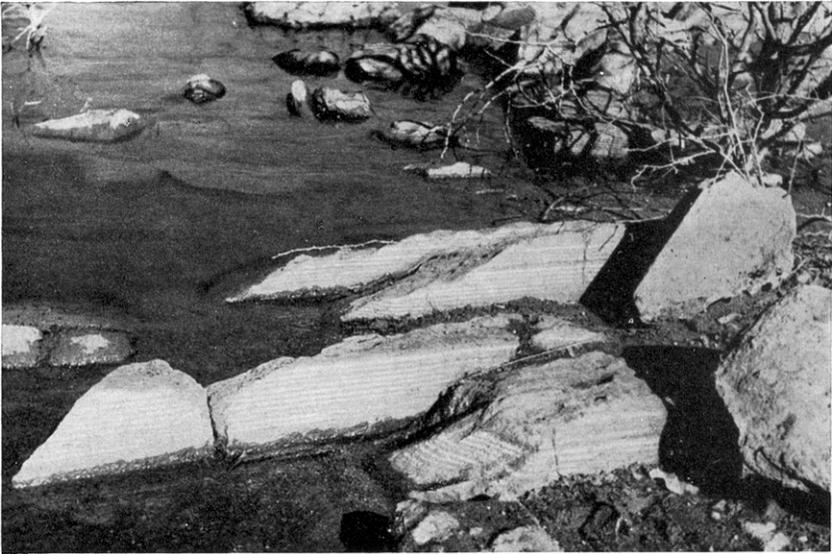


Abb. 5.5. Salzausscheidungen am Stausee bei Otjitambi  
Trotz Aufstau ursprünglich salzfreien Regenwassers zeigen sich bei Verdunstung des Wassers oft Salzleisten an Steinen oder Salzkränze auf Böden. Das Regenwasser löst die in den überströmten Böden in sehr geringer Menge enthaltenen Salze und führt sie den Staubecken zu. Hier konzentriert sich die Salzlösung durch Verdunsten, wobei es zu Salzabscheidungen kommt

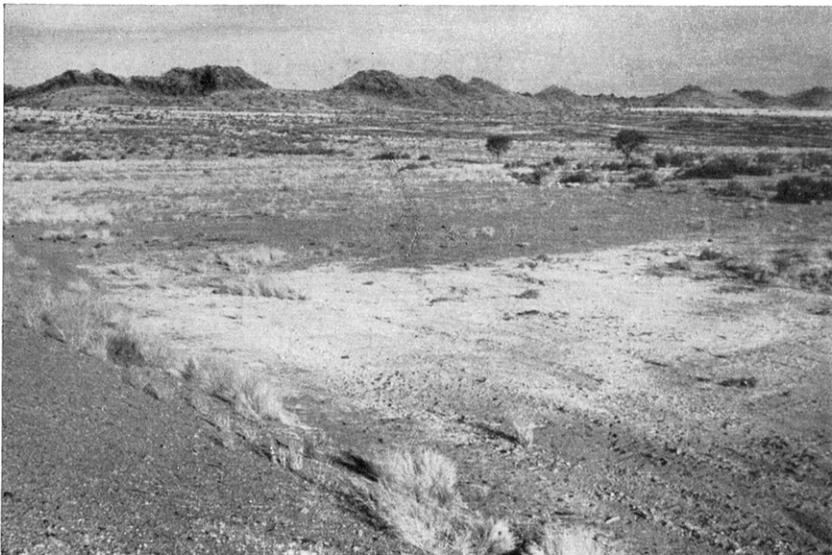


Abb. 5.7. Infolge Grundwasseraufstaus versalzter Boden bei Keetmanshoop  
Nicht nur infolge Bewässerung, sondern auch nach Grundwasseraufstau kann ein Boden im ariden Klima versalzen, weil nunmehr das Grundwasser so nahe unter Flur steht, daß es „kapillar“ bis zur Bodenoberfläche steigt und nach Verdunstung die stets in ihm gelösten Salze zurückläßt. Die ausgeschiedenen Salze bedecken den Boden wie eine Schneedecke



Abb. 6.1. Staubbildung durch ziehende Herden  
 Herdentiere, wie z. B. Schafe im S von SWA, vermögen den Boden oberflächlich zu lockern, so daß Staubteile schon bei geringer Windgeschwindigkeit weggeblasen werden; dies besonders an Tränken und Triften



Abb. 6.3. Wanderdüne und Zeugenberg bei Sandverhaar  
 an der Bahnlinie Seeheim-Lüderitz. Wanderdünen außerhalb der Namib findet man in kleinerem Umfange in und in der Umgebung der Riviere des sehr trockenen Südens. Diese und aus den Riviersanden entstehende Flugsandfelder bedrohen die an sich schon recht geringe Fruchtbarkeit der als Schafweide genutzten Halbwüsten- und Wüstenböden