

Die Entstehung der Etoschapfanne im Rahmen der Landschaftsentwicklung des Etoscha Nationalparks (nördliches Südwestafrika/Namibia)

von

U. Rust

Institut für Geographie Ludwig-Maximilians-Universität
Luisenstr. 37
D-8000 München 2
BR Deutschland

Revidiert: September 1984

Empfang: 18. März 1984

ABSTRACT

The landscape evolution is presented in the form of models. Starting from a surface with a relictic palaeo-soil (Bv-ca-C horizons), accumulative and denudative pedosequences have emerged. Related to the latter, morphosequences have developed above, on and below the Bv-ca-interface (Fig. 44). The Etosha Pan is a super pan, which originates from the fusion of several scarp retreat pans. According to ¹⁴C dates it developed discontinuously; its beginning, however, lies beyond the ¹⁴C-datability. Its development is not related to the fluvial history of the Kunene River. Calcretes in the Etosha National Park are of pedogenetic and evaporitic origin. The late Quaternary palaeoenvironments oscillated between morphodynamically active and stable conditions within the frame of basically semi-arid climates. From 9,2 ka BP active conditions have prevailed.

ZUSAMMENFASSUNG

Die Landschaftsentwicklung wird an hand von Modellen dargelegt. Ausgehend von einer Landoberfläche mit reliktschem Paläoboden (Bv-ca-C) haben sich akkumulative und denudative Pedosequenzen entwickelt. Verknüpft mit letzteren haben sich oberhalb, auf und unterhalb der Bv-ca-Grenzfläche bestimmte Morphosequenzen entwickelt (Fig. 44). Die Etoschapfanne ist eine aus scarp retreat-Pfannen zusammengewachsene Riesenpfanne. Nach Ausweis von ¹⁴C-Daten ist sie zeitliche diskontinuierlich entstanden, reicht aber in ihren Anfängen hinter die ¹⁴C-Datierbarkeit zurück. Ihre Entstehung hat mit der Flußgeschichte des Kunene nichts zu tun. Calcretes im Etoscha Nationalpark sind pedogen und evaporitisch. Die jungquartären Paläoenvironments schwankten zwischen morphodynamisch aktivitäts- und stabilitätszeitlichen Bedingungen im Rahmen prinzipiell „semiarider“ Klimate. Seit 9,2 ka BP herrscht Aktivität.

CONTENTS—INHALT

1 Einführung und Fragestellung	197
2 Befunde	199
2.1 Geländebefunde	199
2.2 Laborbefunde	199
2.2.1 Kommentare zu den Laborbefunden	199
3 Sequenzen der Landschaftsentwicklung im Untersuchungsgebiet	201
3.1 Ausgangslandschaft	201
3.2 Modelle der Landschaftsentwicklung — Modell 1: Pedologische Betrachtungs- ebene	202
3.3 Modelle der Landschaftsentwicklung — Modell 2: Betrachtungsebene pluviale Geomorphologie	203
4 Weitere Formen	205
4.1 Fluviale Formen	205
4.2 Äolische Formen	205
5 Die Entstehung der Etoschapfanne und das Kunene-Problem	206
6 Weitere Gesichtspunkte	207
6.1 Radiometrische Datierungen zum Alter der Etoschapfanne	207
6.2 Palaeoenvironments und Landschaftsgeschichte	208
7 Summary — Zusammenfassung	210
8 Danksagungen	211
9 Literatur	211

1 EINFÜHRUNG UND FRAGESTELLUNG

Der Etoscha Nationalpark liegt — in den Grenzen von 1979/80 — im nördlichen Südwestafrika/Namibia zwischen 18,5° sB und 19,47° sB sowie 14,4° öL und 17,2° öL. Der Etoscha Nationalpark befindet sich auf der kontinentalen Hochfläche oberhalb der Großen Randstufe in der Meereshöhe von 1270 — 1180 m. Nur im äußersten Westen, um Otjovasandu, hat er Anteile unterhalb der Großen Randstufe (Fig. 51).

Kleinmaßstäbig betrachtet liegt der Park in einer ausdruckslosen Flachlandschaft, die die Form einer flachen Schüssel hat. Mit Gefällen von nur 0,16 — 0,08 o/oo fällt die Oberfläche allseitig auf den tiefsten Teil

dieser Schüssel, die Etoschafanne, ab. Im Süden begrenzen Rahmenhöhen des Otaviberglandes die Flachlandschaft. Im Westen (Duineveld, Otjovasandu) (Fig. 45) überragen NW-SE streichende Inselberge die Fläche.

Jaeger (1926/27) hat das Relief der Etoschafanne und ihrer Umrahmungen mit terrestrischen Methoden aufgenommen und in einer exzellenten Karte publiziert. Sein geomorphologisches Hauptergebnis ist, daß die Pfanne von einer „Grasterrasse“ unterschiedlicher Höhe umrahmt wird. Eine „Waldterrasse“ ist auf „Kalkkrusten“ („Kaikkruustenbänke“, z.B. Jaeger, 1926/27, p. 9) ausgebildet. Jaeger hat auch die Etoschafanne genetisch gedeutet, u.z. als Relikt eines ehemaligen Endsees des Kunene (vgl. cap. 5). Weitere geomorphologische Bearbeitungen gibt es nicht.

Für die aus Formen, Sedimenten und Böden erschließbare Landschaftsgeschichte von Etoscha wichtig sind Lagebeziehungen in Bezug zur vorausgegangenen geologischen Entwicklung. Die Kenntnis dieser Entwicklung im Gebiet des Etoscha Nationalpark ist in der Dissertation von Hedberg (1979) zusammengefaßt. Im Zeitraum Mesozoikum/Pleistozän erfolgte die Schüttung der „Kalahari“-Sedimente im Ovambolandbecken (Fig. 7, 8). Im gleichen Zeitraum erfolgte die Randschwellenaufwölbung (? wann). Die Grenze zwischen dem Sedimentationsraum des Ovambolandbeckens und dem zugehörigen Abtragungsraum (in präkambrischem Khoabendus, Nosib, Otavi, Mulden (Schneiderhöhn, 1920, Hedberg; 1979)) durchzieht Etoscha in einem Bogen von NW nach SE (Etoschabogen bei Stahl, 1940). Die Randschwellenaufwölbung hat den äußersten Westen von Etoscha erfaßt und bedingt, daß zwei prinzipiell verschiedene geomorphologische Teilräume entstanden sind: das exorheisch zum Atlantik orientierte Kaokoveld im W mit einem dominant fluviolen Formenschatz sowie das endorheisch orientierte Etoscha mit einem pluvial geprägten Formenschatz.

Nach Schulze/McGee (1978) liegt der Etoscha Nationalpark im Bereich des Köppenschen BS_W — Klimas. Dies wird durch die Aufzeichnungen der 1. Order Weather Station Okaukuejo bestätigt (vgl. Weather Bureau 1974-1983). Einige vorläufige eigene Auswertungen lassen folgende klimatische Eigenschaften erkennen:

Das aus Monatsmitteln konstruierte Thermaisoplethen-Diagramm (Fig. 3) zeigt: Die Station hat ein tropisches Tageszeitenklima (i.S. von Troll, 1943). Die Tagesamplituden liegen bei 17°C (Juli, d.h. Winter) und 12°C (Dezember, d.h. Sommer). Die Tagesminima liegen kurz vor Sonnenaufgang, der vormittägliche Gradient ist sehr steil (12—16°C/6 Std) verglichen mit dem nachmittäglichen (8—5°C/6 Std). Da auch die jahreszeitlichen Schwankungen beträchtlich sind (15°C), liegt die Station nach der thermischen Tropenabgrenzung von Lauer (1975) eigentlich nicht mehr in den Tropen. Die mittägliche Depression Januar/Februar koinzidiert mit dem Höhepunkt der Regenzeit (Fig. 6). Nach Troll/Paffens (1964) Typisierung steht

die Station Okaukuejo thermisch zwischen dem „Indischen Typus des jährlichen Temperaturganges“ (mit 3 Jahreszeiten: kühl-trockener Winter, trockenes und heißes Frühjahr, etwas kühlerer aber feuchter und schwülerer Sommer (= Typ V 2)) und dem Typ des „Tropischen Trockenklimas mit Abstumpfung der sommerlichen Erwärmung durch die kurze Sommerregenzeit“ (= Typ V 4). Nach der Anzahl der ariden (9,5) und humiden (2,5) Monate, d.h. ombrothermisch i.S. von Lauer (1952), gehört Okaukuejo zum Typ V 4 (Fig. 6).

Das Thermaisoplethen-Diagramm verschleiert naturgemäß extreme Ereignisse. Danach ergeben sich für Okaukuejo folgende Aspekte (Tab. 1., Fig. 5): Die absoluten Temperaturmaxima überschreiten ganzjährig 30°C. Wichtig ist (cap. 3.2), daß in den drei Wintermonaten Juni, Juli, August Frost auftreten kann (8.00 Uhr SAST-Ablesung), der allerdings auf die Nacht beschränkt ist. Die Bodentemperaturmessungen zeigen (Fig. 5), daß unmittelbar am Boden (B₀ = 0 cm unter Oberfläche) zusätzlich Frost auftreten kann, auch wenn die Temperatur in der Wetterhütte > 0°C liegt. Das in Fig. 5 dargestellte Beispiel ist typisch für den Meßzeitraum 5/1974 — 12/1979 und lehrt folgendes: Der Frost dringt nicht in den Boden ein. Der Taupunkt wird nicht erreicht. Ob also Frostsprengung auftreten kann, muß nach diesen Daten eigentlich bezweifelt werden. Die Bodentemperaturmessungen lehren weiterhin, daß der Tagesgang der Temperatur bis 60 cm Tiefe nachweisbar ist mit deutlicher zeitlicher Phasenverschiebung, daß die Temperaturamplitude mit der Tiefe abnimmt und daß in 120 cm Tiefe kein Tagesgang mehr auftritt.

Im Jahresmittel nehmen die Niederschläge in Etoscha von E nach W von 500 mm auf 200 mm ab (Fig. 1). Ein realistischeres Bild des Niederschlags ergibt ein Vergleich der zwei Stationen Okaukuejo und Otjovasandu (Fig. 4). Der Jahresniederschlag schwankt an den beiden Stationen erheblich; er kann an der westlichen Station Otjovasandu die Summe der östlichen Station übertreffen; die Verteilung und Intensität innerhalb der Regenzeitperiode Oktober/März sind von Jahr zu Jahr an einer Station sehr verschieden; innerhalb einer Regenzeit sind Verteilung und Intensität an den beiden Station verschieden. (Ähnliches berichtet Hüser (1976) vom Erongogebirge).

Trotzdem entspricht die Tatsache, daß Okaukuejo mehr Niederschlagsereignisse als Otjovasandu innerhalb einer Regenzeit-Periode aufweist doch dem oben mitgeteilten mittleren Trend einer ost-westlichen Niederschlagsabnahme.

Nach der ganz Südwestafrika erfassenden Vegetationskartierung von Giess (1971) hat der Etoscha Nationalpark ganz im Osten (Raum Namutoni) Anteil an Bergsavanne und Karstveld sowie Baumstrauchsavanne und Karstveld sowie Baumstrauchsavanne (Südliche Kalahari), wird sonst dominiert von der Mopanesavanne und weist um die Etoschafanne herum Salzwüste mit Kurzstrauch-Saum

auf. Le Roux/Verster (o.J.) haben eine sehr detaillierte Vegetationskarte des Etoscha Nationalparks vorgelegt und in ihren Grundzügen diskutiert.

Le Roux/Verster (o.J.) haben auch eine erste Bodenkarte des Etoscha Nationalparks vorgelegt in Anlehnung an einen Kartierschlüssel von Loxton/Hunting *et al.* (1971, zitiert nach Le Roux/Verster. Nach dieser Kartierung existieren im Etoscha Nationalpark Böden folgender „Assoziationen“: Dark Coloured soils of the Kalkveld, red and grey brown Kalahari Soil Associations, red colluvial Soil Associations, sandy Soil Associations, mainly of aeolian provenance, miscellaneous land classes (rock, pans). Aus dem Raum um Otjovasandu hat Joubert (1971) im Rahmen einer geoökologischen Bestandsaufnahme auch Bodenprofile publiziert. In seinem Arbeitsgebiet um das Great Escarpment erfaßt Joubert (1971) folgende Bodentypen: Kalahari-like red sand (über sheet calcrete), granitic red sand, surface limestone and calcrete rubble, alluvial soil sowie weitere lokale Varietäten. Auch Ganssen (1963) hat einige Bodenprofile aus Etoscha publiziert.

Eine hydrogeographische Bearbeitung des Etoscha Nationalparks existiert noch nicht. Nach Stengel, (1963) ist die Etoschapfanne letztes Ziel der „Efundja“, d.h. des regenzeitlichen Wasserfilms des Cuvelai-Systems, welches die Niederschläge der südlichen Lundaschwelle zwischen Kunene und Okavango sammelt und durch das Ovamboland nach Süden leitet.

Wie kurz skizziert, liegen aus dem Gebiet des Etoscha Nationalparks sowohl kursorische als auch systematische Bearbeitungen verschiedener erdwissenschaftlicher Fragestellungen vor.

Die *eigene Fragestellung* war schlicht folgende: Wie ist die Etoschapfanne entstanden? Diese Fragestellung ist eine geomorphologische, da es eine Oberflächenform zu erklären gilt. Der Autor ist ihr mit geomorphologischen und ergänzend mit bodenkundlichen Methoden nachgegangen.

In dieser Arbeit werden die eigenen Befunde (Gelände- und Laborbefunde) präsentiert (cap. 2). Sie erlauben, die Entstehung der Etoschapfanne (cap. 5) als Ergebnis zweier miteinander verknüpfter Sequenzen (Morphosequenzen, Pedosequenzen) in einem Entwicklungsmodell zu beschreiben, mit Hilfe dessen auch die übrigen, im Etoscha Nationalpark existierenden Reliefs erklärt werden können (cap. 3, 4). Die Entstehung der Etoschapfanne ist integriert in die Landschaftsgeschichte des Etoscha Nationalparks. Um es vorwegzunehmen: Die Etoschapfanne ist nicht hervorgegangen aus irgendeinem Endsee des Kunene (Jaeger, 1926/27), sondern sie ist dadurch entstanden, daß Pfannen durch Rückverlegung von umrahmenden Stufen zu einer Riesenpfanne zusammengewachsen sind.

Einige weitere Gesichtspunkte werden zwar angefügt (cap. 6), werden jedoch ausführlicher an anderer Stelle erörtert (Rust, 1983). Wie auch gezeigt werden wird

(cap. 6.1), führte der Versuch, Zeitpunkte in der Landschaftsgeschichte des Etoscha Nationalparks zu fassen, dazu, die Untersuchungen auf das westlich unmittelbar anschließende Kaokoveld unterhalb der Großen Randstufe auszuweiten.

2 BEFUNDE

2.1 Geländebefunde

Die Feldarbeiten 1979/80 werden in Fig. 2 dokumentiert. Nach Erkundungsfahrten September/Oktober 1979 wurden über das Untersuchungsgebiet verteilt Oktober 1979/Januar 1980 gezielt 227 Geländeprofile nach geomorphologischen, sedimentologischen und pedologischen Gesichtspunkten für nachfolgende Laboruntersuchungen genommen. Mit 2 Rundflügen über das östliche sowie westliche Untersuchungsgebiet werden die Feldarbeiten im Januar 1980 abgeschlossen.

Ausgewählte, in dieser Arbeit verwendete Geländeprofile werden in Fig. 10. — 26., 54, 55 dokumentiert. Auswertungen von während der Feldarbeiten verfügbaren Luftbildern sowie von topographischen Karten in Zusammenschau mit den eigenen Geländebefunden ergaben weitere Informationen (Fig. 45, 48, 50). Einige klimatologische Auswertungen des Urmaterials der First Order Weather Station Okaukuejo wurden in cap. 1 präsentiert. Eigene Photos (Photo 1—15) ergänzen die Dokumentation der Feldarbeiten.

2.2 Laborbefunde

Im Geolabor des Instituts für Geographie, Ludwig-Maximilians-Universität München, wurden in Auswahl folgende einfache Laboranalysen an 218 Sedimentproben durchgeführt: Korngrößenanalyse der Feinerde (nicht karbonatisch), quantitative Bestimmung des CaCO_3 — Gehaltes, quantitative Bestimmung des $\text{CaSO}_4 \cdot x \text{H}_2\text{O}$ — Gehaltes, quantitative Bestimmung der organischen Substanz. Die Ergebnisse der Analysen sind in Tab. 2 zusammengefaßt. Die Korngrößenverteilungen, dargestellt im Wahrscheinlichkeitsnetz mit logarithmischer Abszisse, werden in Fig. 27—38 dokumentiert. Einige statistische Parameter der Korngrößenverteilungen werden in Tab. 3 zusammengestellt. An 28 aus 12 Geländeprofilen stammenden Proben (Calcretes, Sinter, Seekreide, Stromatolithen) wurden von Dr. J.C. Vogel, NPLR, CSIR, Pretoria, radiometrische Messungen durchgeführt. Die Ergebnisse werden hier nur kurz mitgeteilt (cap. 6.1, Fig. 51, 52).

2.2.1 Kommentare zu den Laborbefunden

Granulometrie (Fig. 27—38)

Die Korngrößenanalyse der Proben aus Etoscha erfolgte nicht zum Selbstzweck, sondern um das Sedi-

mentationsmilieu von Lockersedimenten über die Ansprache im Gelände hinaus zusätzlich zu kennzeichnen. Wieneke (1976) hat unter Berücksichtigung insbesondere angelsächsischer Literatur für ca. 200 Sedimentproben aus der südwestafrikanischen Namibwüste gezeigt, daß mit Hilfe der Summenkurven der Korngrößenverteilung im Wahrscheinlichkeitsnetz mit logarithmischer Abszisse unterschiedliche Sedimentationsmilieus gekennzeichnet werden können, wenn man die Steilheit der Kurve, ihre Lage im Netz zu den gröberen und feineren Fraktionen sowie ihre Abweichung von der theoretisch zu erwartenden Geraden (Normalverteilung) untersucht. Diese Technik konnte mit Erfolg auch auf die Proben aus Etoscha angewandt werden.

Danach lassen sich folgende Sedimentationsmilieus i.S. einer Geomorphologie der Azonalität der Prozesse (Rust, 1980) voneinander trennen: äolisch, pluvial, gemischt äolisch-pluvial. Außerdem lassen sich durch Anwendung der so gewonnenen Ergebnisse einige Geländebefunde betreffend Sedimentationsmilieus bzw. geomorphologisch-landschaftsgeschichtliche Ansprache präzisieren.

Die weit überwiegende Mehrzahl der untersuchten Proben läßt sich nach dem Vorschlag von Wieneke (1976) zu 3 Hauptklassen zusammenfassen, die in der graphischen Darstellung (Fig. 39) 3 Bündel definierten Sedimentationsmilieus ergeben (äolisch, pluvial, gemischt äolisch-pluvial). Die die Bündel konstituierenden Summenkurven der einzelnen Proben sind eindeutig jeweils nur einem Bündel zuzuordnen, d.h. daß sich die Bündel nicht überdecken. Bei Summenkurven, die nicht in eines der Bündel fallen, kann die Korngrößenverteilung nicht ohne Zusatzannahmen zur Interpretation herangezogen werden.

Äolische Sedimente

Die Kurven der Proben 87 I, II aus einer fossilen Längsdüne bei Omahongodomajara (Fig. 2) können als Eichkurven gelten. Der Kurvenverlauf ist sehr steil, die Fraktion 125 — 250 Modalklasse mit ca. 60%, gefolgt von der Fraktion 63 — 125 mit ca. 30%, d.h. das Sediment ist sehr gut sortiert und die Verteilung positiv schief. Weitere Beispiele für äolische Sedimente: 12 II, 23 I, II, 95 I, II, III, IV, 101, 22 I, II, 51 I, II, 102 I.

Pluviale Sedimente

Pluviale Sedimente sind durch niederschlagsbedingte kurzdistanzte Schwemmtransporte entstanden. Sie finden sich auf den in bezug auf die Riesenpfanne Etoscha als Altflächen anzusprechenden Flachlandschaften (96 I, II, 97 I, II), am Fuße der Rahmenhöhen des Otaviberglandes (98 I, II, III) und als korrelierte Sedimente zum Scarp retreat am Pfannenrand (104 I, II) (cap. 5). Die Summenkurven liegen — im Vergleich — im Netz weit auseinander, verlaufen jedoch annähernd parallel. Sie haben sämtlich geringe Steilheit, sind also

alle schlecht sortiert. Weitere Beispiele für pluviale Sedimente sind: 33 I, 39 I, II, 57 I, 61 IX, 66 I, 80 I. Auch die Beckenverschüttungen im Kaokoveld sind durch pluviale Sedimente charakterisiert: 81 I, II, III, 83 I, II, 92.

Gemischt äolisch-pluviale Sedimente

Das Vorkommen von Lockersedimenten auf morphologischen Hochs einerseits, das während der Feldarbeiten zu beobachtende großwetterlagenabhängige Auftreten von Spülvorgängen bzw. Windtransporten am gleichen Standort andererseits führten zu der Schlußfolgerung, daß es gemischt äolisch-pluviale Sedimente geben müsse. Die Korngrößenanalyse konnte dies bestätigen.

Lockersedimente auf Altflächenresten sind 10 II, 69 I, II. Dem Kurvenverlauf dieser Proben ist eigen: Steiler Verlauf über die Fraktionen 63—125, 125—250, 250—500. Modalklasse ist entweder 125—250 mit 45—50%, zweitstärkste Fraktion dann 250—500 mit 25—30% oder 125—250 und 250—500 sind etwa gleich stark besetzt (um 30%). Drittstärkste Fraktion ist 63—125. Die Sedimente sind also deutlich schlechter sortiert als die rein äolischen. Außerdem zeigen die Fraktionen <63 stets die typisch pluviale schlechte Sortierung und sind stets $\geq 10\%$, insgesamt ca. 10—35% vertreten. Weitere Beispiele für gemischt äolisch-pluviale Sedimente sind: 6 I, II, 11, 22 I, II, 25, 27 I — IV, 50, 60 I, II, 105 I, II, 106, 111 I. Auffällig bei dem Verlauf dieses Typs ist, daß der „pluviale“ Charakter in den feineren Fraktionen auftritt (<63) (er hätte ja auch im Bereich des Grobsandes auftreten können!). Eine vorsichtige Ansprache ergibt, daß das Zusammenwirken von äolischer und pluvialer Morphodynamik an einem Standort darin resultiert, daß der Wind die typisch äolischen Fraktionen (Grob-schluff bis feiner Mittelsand) relativ anreichert.

Unklarheiten

Einige Kurven lassen sich nicht den ausgeschiedenen Sedimentationstypen zuordnen. Beispiele sind: 33 III, 38, 79, 90 I, 99 I, Ugab I.

Kalk und Gips

Die Laboranalysen wurden auch deshalb durchgeführt, um die Befunde aus Etoscha vergleichen zu können mit denen von früher durchgeführten landschaftsgeschichtlichen Untersuchungen in der Namibwüste (Rust/Wieneke, 1976). In der Namib sind Gipskrusten von der Küste bis ca. 600—800 m ü M verbreitet, an die sich nach E Kalkkrusten anschließen (Besler, 1972). Die Befunde aus Etoscha und Kaokoveld harmonisieren mit diesem großräumigen Muster. Gips tritt im Untersuchungsgebiet nur in Spuren auf (<1%). Der Extremwert von 7,96% (56 IV) stammt von genau dem Horizont, aus welchem Wilczews-

ki/Martin (1972) lakustre pliozäne (?) Stromatoliten beschrieben haben.

Die Karbonatanalysen wollen die in Etoscha verbreiteten Ca-Horizonte quantitativer kennzeichnen. CaCO_3 streut von 0% bis nahe 100% (16 III, 29, 30, 21 I, II, 42, 52 I, 103 II—V, 96 III). Der Ondundu CaC ist reiner Otavikalk. Insbesondere die morphologisch harten Calcretes sind natürlich durch hohe CaCO_3 -Gehalte gekennzeichnet (z.B. 7, 16 III, 21, 52 I, 56 I, 61 I—VII, 67 I, III, 75, 85 II, IV).

3 SEQUENZEN DER LANDSCHAFTSENTWICKLUNG IM UNTERSUCHUNGSGEBIET

3.1 Ausgangslandschaft

Von prinzipieller Bedeutung ist folgendes Ergebnis: Am Anfang der Landschaftsentwicklung von Etoscha steht die Ausbildung eines Bodens mit der Horizontfolge Bv-ca-C (Ein zugehöriger Paläo-A-Horizont existiert nirgends).

Der Paläoboden ist als reliktscher Boden vor allem im W von Etoscha verbreitet. Der Bv-Horizont ist ein eisenoxidhaltiger Horizont. Die Farben sind rot, häufig grellrot (typische Munsell-Werte 2.5 YR 4/6, 5 YR 5/8, 5 YR 4/6) (Eto 34, 87, 95 in Fig. 14, 18, 20). Ganz überwiegend besteht seine Feinerde aus Quarzkörnern (Quarzsande), von Eisenoxidhüllen überzogen. Das Gefüge ist Einzelkorngefüge. Unter heutigen Standortbedingungen ist er gut durchwurzelt, in einer Tiefe von 20 cm feucht (z.B. Eto 95 II)(vgl. Leser, 1976).

Sein ca-Horizont überspannt *ubiquitär* das Flachrelief binnenwärts des Great Escarpment. Morphologisch betrachtet ist er verbreitet in Anpassung an eine Landoberfläche, was an sich schon ein Argument für seine pedogene Bildung ist. Seine Zuordnung zum geologischen Untergrund macht dies evident: Der ca-Horizont überspannt die Oberfläche von „Kalahari“ sowie die Abtragungsflächen auf „Otavi“ (Fig. 8).

Wo die Profilteile des Paläobodens erhalten sind (bes. W-Etoscha) treten Bv-Horizonte und ca-Horizonte als Bodenkomplexe (i.S. von Ganssen, 1963) vergesellschaftet auf, ein Argument für ihren pedogenetischen Zusammenhang (Photo 1). Bv-ca-Horizonte (d.h. kalzifiziertes Bv-Material) zeigen pedogene Alterung des erschlossenen Normalprofils an (Eto 80 in Fig. 54).

Da dieser Paläoboden reliktsch ist — d.h. seit seiner Erstausbildung auch pedogen weitergebildet werden konnte (s.u.) (vgl. cap. 3.2) — ist eine bodentypologische Zuordnung schwierig, eigentlich nicht möglich. Nach d'Hoeres (1964) Karte liegt der Boden im Bereich der „Brown and reddish brown soils of arid and semi-arid regions on loose sediments“. d'Hoeres (1964) Bezugsprofile aus Südafrika zeigen zwar Ähnlichkeiten im Profilaufbau, es fehlen ihnen jedoch die roten Farben um 2.5 YR und vor allem vollentwickelte

ca-Horizonte. Nur „powder calcrete“ i.S. von Netterberg (1978) wird erwähnt.

Der ca-Horizont des Paläobodens ist ein Calcrete (Netterberg, 1969; Goudie, 1973; Gile, 1966). Bei der Diskussion um die Entstehung von Calcretes wird zu recht aus bodenkundlicher Sicht folgendes gefordert (z.B. Blümel, 1979): Wenn Calcretes pedogen sein sollen, muß es sich um ca-Anreicherungshorizonte im Unterboden handeln, denen ca-Verarmungshorizonte im Oberboden entsprechen. Fehlen letztere, ist eine Ansprache als pedogen nicht schlüssig. In Etoscha ist der zugehörige Oberboden vorhanden: Es ist der beschriebene H Bv-Horizont. Das Problem der primären Anlieferung von Kalzium bzw. Kalziumkarbonat ist in Etoscha irrelevant. Im umrahmenden Etoschabogen (Stahl, 1940), dessen Abtragungsformen auf die Etoschadepression hin vergieren, stehen Kalke und Dolomite an.

Vollentwickelte Kalkkrusten existieren im *Flachrelief* (z.B. in Etoscha oder auf Fußflächen im Kaokoveld Fig. 56), was einer normalen Bodenhorizontentwicklung entspricht. In hängigem Relief ist die Horizontdifferenzierung nach dem Catenaprinzip abgewandelt (Eto 90 in Fig. 19).

Die Ausbildung des Paläobodens Bv-ca-C folgte zeitlich auf die Schüttung der „Kalahari“-Sedimente i.S. von Hedberg (1979). Da der Boden auch auf Prä-Kalahari-Schichten übergreift (Fig. 8), handelt es sich mit Sicherheit nicht um eine synsedimentäre Bildung im Zuge der „Kalahari“-Sedimentation sondern um eine postsedimentäre Bildung. Diese Aussage bedarf der Präzisierung, da es dabei um die zeitliche Einstufung des Paläobodens einerseits, seine erdwissenschaftliche Interpretation andererseits geht.

Aus *geologisch-stratigraphischer* Sicht markiert die Bodenbildung eine endkalaharische continental unconformity. Aus dieser Sicht hatte der Verfasser in einem vorläufigem Bericht (Rust, 1981) als Zeitbegriff die Einstufung in „etoscha“ = Abschnitt am Ende von Kalahari, in welchem der Paläoboden gebildet wird, vorgeschlagen.

Aus *pedologischer* Sicht hat sich die Vermutung des Verfassers (Rust, 1981) bestätigt, daß zumindest die vollentwickelten Bodenprofile mit mächtigen ca-Horizonten in W-Etoscha mehrere Calcrete-Bildungsphasen dokumentieren. Allein im Rahmen der ^{14}C -Datierbarkeit bis 33,900 B.P. (Tab. 5) lassen sich drei Zeitabschnitte mit Calcrete-Bildung nachweisen (Rust, 1983). Da an einigen Proben radiometrische Maximalalter gemessen wurden (z.B. Eto 85 in Fig. 51), ist eine unbekannt Anzahl weiterer ca-Anreicherungen anzunehmen. Dies entspricht der Auffassung Netterbergs (1978), daß Calcretes nicht während eines bestimmten events gebildet werden, sondern Karbonat verschiedenen Alters enthalten. Aus pedologischer Sicht repräsentiert der Paläoboden deshalb einen *zeitlichen Ablauf*, dessen Beginn hinter die ^{14}C -Datierbarkeit zurückreicht.

Aus *geomorphologischer* Sicht muß dieser pedologische Befund bestätigt werden. Nicht nur die in cap. 3.3 und 5 erläuterte Entwicklung von Etoscha selbst, sondern auch die geomorphologische Entwicklung im Kaokoveld zeigt, daß seit der Erstausbildung des Paläobodens eine Zeitspanne unbekannter Dauer abgelaufen sein muß. Rabie/Smit (1954) haben im nördlichen Kaokoveld zwei continental unconformities in morphologisch tieferem Stockwerk als der kontinentalen Hochfläche kartiert. Hedberg (1979) hat aus Luftbildern von der Hochfläche durch Denudation isolierte Plateaus mit „superficial deposits“ (SD) kartiert z.B. westlich Orumana, westlich Okatjangee), die nach eigener Beobachtung dem Paläoboden entsprechen (Eto 218 in Fig. 25). Fazit: Die Abtrennung dieser Plateaus und die damit verknüpften Talbildungen und Beckenverschüttungen im Kaokoveld (Eto 81, 83 in Fig. 13, 18, Photo 14), welche wiederum von Calcrete-Bildungsphasen unterbrochen worden sind (Rust, 1983), folgen zeitlich der Ausbildung des Paläobodens nach.

Da aus geologisch-stratigraphischer Sicht die oben geschilderten pedologischen und geomorphologischen zeitlichen Abläufe alle in „Kalahari“ zu stellen sind, möchte der Verfasser den selbst vorgeschlagenen Zeitbegriff „etoscha“ nicht weiter strapazieren, um Verwirrungen zu vermeiden. Für die Landschaftsentwicklung von Etoscha oberhalb des Great Escarpment ist die Tatsache wichtig, daß mit Ausbildung des Paläobodens die Sedimentation von Kalahari-Sedimenten abgeschlossen ist. Die pedologisch-geomorphologische Entwicklung (cap. 3.2, 3.3) *beginnt* mit der Ausbildung des Paläobodens. Für die Darlegung der eigenen Ergebnisse soll „etoscha“ deshalb als interner Arbeitsbegriff in folgendem Sinne hier verwendet werden: Zeitpunkt der *Erstausbildung* des Paläobodens. Dieser ist radiometrisch nicht zu fassen. Er kann an verschiedenen Standorten des Untersuchungsgebietes verschieden alt sein.

Im übrigen ist aus den erwähnten pedologischen Befunden heraus die Frage obsolet, ob die mächtigen Calcretes im Untersuchungsgebiet dem „Kalaharikalk“ (Netterberg, 1969) zuzuordnen sind oder nicht.

Die Laboruntersuchungen ($\Delta 13C$ ‰ — Bestimmungen, Tab. 7 haben ergeben, daß nicht alle Calcretes in Etoscha pedogen sind (z.B. Eto 61 VII, 35 III in Fig. 16, 14), sondern evaporitisch sein können. In den „Kalahari“-Lockersedimenten (Lockersedimente als „host material“ für Calcrete-Bildung i.S. von Netterberg, 1969) treten Calcretes im Vertikalprofil auch übereinander gestaffelt auf (Eto 61, 69 in Fig. 16, 17). Auf den Prä- „Kalahari“-Festgesteinen ist dies nicht der Fall (Eto 96, 97 in Fig. 21). Für die auf die Paläobodenbildung folgende Landschaftsentwicklung ist diese Differenzierung von Bedeutung: Im Bereich der „Kalahari“-Sedimente kann ein Wechsel von morphologisch harten (= Calcretes) mit morphologisch weichen Schichten existieren.

3.2 Modelle der Landschaftsentwicklung — Modell 1: Pedologische Betrachtungsebene

Die Forschungsergebnisse aus dem Untersuchungsgebiet (Etoscha und Kaokoveld) sollen nachfolgend mit Hilfe von verschiedenen Modellen dargelegt werden. Der genetische (entwicklungsgeschichtliche) Aspekt unterliegt ihnen. Es sind Modelle von Entwicklungsreihen. Auf räumliche Differenzierungen wird allerdings verwiesen.

Das pedologische Grundmodell (Modell 1) wird in Fig. 40 dargestellt. Es vereinfacht, da Übergangshorizonte nicht berücksichtigt werden.

Die vereinfachte Annahme rein lokaler pluvialer (niederschlagsabhängiger) Abtragung bzw. Aufschüttung führt zu 8 verschiedenen Horizontdifferenzierung (inclusive des Ausgangsprofils 1). Entscheidend für den Grundtyp (Profil 1 in Fig. 40) ist die Horizontdifferenzierung in einen *mobilen*, leicht beweglichen Horizont Bv und einen *standfesten* Horizont ca. Die Folge ist, daß die Ausprägungen 1, 4, 5 im Gelände nicht auseinander gehalten werden können. Unter Berücksichtigung des Alters (vgl. cap. 3.1) ergibt sich, daß die Bv-Horizonte durchweg den Charakter von *Bodensedimenten* aufweisen („M“-Symbol). Nach Ausweis der Korngrößenanalysen existieren gemischt äolisch-pluviale Bodensedimente (z.B. Eto 91, 105 I, II, 106 in Fig. 35, 38), pluviale Sedimente (z.B. Eto 80 I in Fig. 33) und äolische Sedimente (z.B. 87 I, II, 95 I, II, V, VI in Fig. 34, 36).

Die im Modell 1 zusammengefaßten Bodenentwicklungen existieren sämtlich im Untersuchungsgebiet. Wie im Modell 1 ausgewiesen, sind die Ausbildungen 4—6 vor allem im Westteil von Etoscha, die Ausbildungen 7—8 vor allem im Ostteil aufzufinden.

Aus Modell 1 folgt, daß die Überprägung des Ausgangsprofils in zwei Richtungen verläuft: Dekapitierung und Akkumulation. Im Verlaufe der Zeit können sich an einem Standort die beiden Entwicklungsrichtungen ändern. Auf morphologischen Hochs in bezug auf die „etoscha“-zeitliche Landoberfläche (d.h. auf Abtragungsresten) herrscht Dekapitierung vor, in morphologischen Tiefs Akkumulation. Für morphologische Hochs ergibt sich z.B. die Dekapitierungssequenz von Fig. 41. Die Akkumulation von Profiltellen auf Restprofile des Ausgangsprofils führt zu bestimmten Profilausbildungen. Folgende Ausbildungen durch pluviale Akkumulation sind für die Landschaftsgeschichte von Etoscha wichtig und im Gelände festgestellt worden: MBv-ca, MBv-Cca-C, MBv-C, Mca-Cca-C, Mca-C (Fig. 42).

Vollständige „etoscha“-Böden existieren in W-Etoscha. Sie zeigen Alterung. Diese ist gekennzeichnet durch Horizontvertiefung (z.B. ca \rightarrow Bvca, C \rightarrow Cca) (Eto 80 in Fig. 54) und Mächtigkeitszunahme der Horizonte (z.B. ca- bzw. Cca-Horizonte über 10 m mächtig) (Eto 85 in Fig. 18, Photo 2).

Dekapitierung der vollständigen Profile überwiegt in Etoscha. Fig. 43 veranschaulicht die Veränderung eines gealterten Profils unter der vereinfachten Annahme sukzessiver Dekapitierung der einzelnen Horizonte. In dieser Reihe ergeben sich — auf dem Umwege der in situ-Alterung — als Endglieder die Ausbildungen 11 und 12, 11 und 12 entsprechen den Endgliedern ohne Annahme von Alterung in Modell 1 (Fig. 40, 43).

Mächtige ca-C-Profile sind im Ostteil von Etoscha verbreitet. Diese Profile belegen folgendes: Auf eine (? mehrere) Phase *intensiver Bodenbildung* (mit Profilalterung) folgte eine (? mehrere) Phase der *Dekapitierung*. Wo derartige Profile die Landoberfläche aufbauen (z.B. Eto 56, 61 in Fig. 15, 16) ist diese *Landoberfläche* Abtragungsrest unterer Profileteile vollentwickelter und gealterter Paläoböden.

Die Beziehung zwischen Alterung und pluvialer Akkumulation wird nicht im Modell dargestellt, da ein Modell wegen der Vielzahl denkbarer Varianten eher verwirren als erhellen würde.

Indirekt lassen sich Schlüsse auf die pedogenetische Entwicklung aus faziellen Eigenschaften der „Kalahari“-Sedimente ableiten. Verschiedentlich ist deren Fazies konglomeratisch. Die Gerölle entstammen den umrahmenden Liefergebieten (Hornsteine, Stinkkalke, Quarzite, Dolomite usw.). In ca-Horizonten sind die ursprünglichen Komponenten enthalten (Eto 71, 218 in Fig. 55, 25). In Bv-Horizonten fehlen Kalke und Dolomite. Im Extremfall sind ferruginisierte Hornsteine und Quarzite residual als *stone layers* über ca-Horizonten angereichert (Eto 105 in Fig. 22). Bodenkundlich indizieren sie dort die ehemalige Existenz eines Bv-Horizontes, geomorphologisch weisen sie ihren Standort als Abtragungsstandort im Relief aus.

3.3 Modelle der Landschaftsentwicklung — Modell 2: Betrachtungsebene pluviale Geomorphologie

Die Differenzierung der Oberflächenformen in Etoscha steht in enger Beziehung zur Ausbildung des in cap. 3.2 abgehandelten „etoscha“-Paläobodens. Genau genommen haben sich *bestimmte Morphosequenzen des Paläobodens* entwickelt. Diese Beziehungen werden in Modell 2 (Fig. 44) zusammengefaßt und nachfolgend mit Belegen erläutert. Die räumliche Verbreitung der aus den Morphosequenzen resultierenden Oberflächenformen ist aus Fig. 45 ersichtlich. Fig. 45 faßt die Geländebeobachtungen, ergänzt durch Karten- und Luftbildauswertung, zusammen.

Sanddecken im ererbten Bv-Horizont sind vor allem in W-Etoscha verbreitet. Sie sind Produkt gemischt äolisch-pluvialer und äolischer Umlagerung innerhalb des pedogenen Lockermaterials und damit Ausdruck der geringfügigsten Überprägung der „etoscha“-Altlandschaft. Populärsprachlich charakterisieren sie in Etoscha das *Sandveld* (Photo 1).

Die Grenze Bv/ca ist morphologisch von hervorragender Bedeutung, da sie eine *Grenzfläche (interface)* zwischen hangendem Lockergestein und liegendem Festgestein ist. Sie ist damit eine Strukturfläche im geomorphologischen Sinne. Die Grenzfläche ist karstisch überprägt. Obwohl im hier betrachteten Landschaftsstockwerk (vgl. cap. 1 zum Klima) kein Karstwasserkörper existiert, sind doch im Bodenwasserkörper karstische Kleinstformen entwickelt (Eto 95 in Fig. 20). Die Bv-Bodensedimente sind relative Feuchtespeicher (vgl. Leser, 1976 für die SW-Kalahari), unter welchen sich Formen des bedeckten Karstes einstellen: Rundkarren, glatte Oberflächen (Photo 3), Kalkfilme, Korrosionslöcher (Eto 95 in Fig. 20). Die Oberfläche der Grenzfläche ist im allgemeinen nicht geoidal, sondern schwach reliefiert in ein Muster geschlossener Vertiefungen, die durch Schwellen voneinander getrennt sind. Diese Reliefierung dürfte sich bereits bei der Bv-ca-Horizontdifferenzierung selbst eingestellt haben, mag aber beim Fortgang der Entwicklung auch karstisch in Richtung auf Lösungsdolinen weiterentwickelt worden sein. *Kleinpfnannen* (afrikaans: pannetjies) sind identisch mit den Hohlformen der Grenzfläche. Sie sind subkutan angelegt und durch nachfolgende Abtragung der Bv-Sedimente als Relief freigelegt worden (Eto 31, 95 in Fig. 14, 20). Rote Kleinpfnannen (Fig. 46), vergesellschaftet mit Bv-Sanddecken, bezeichnen das initiale Stadium pluvialer Zerstörung des ca-Horizontes nach Exhumierung (Photo 4). Sie sind *auf* dem ca-Horizont entwickelt. Unter Bv-Sedimenten innerhalb der Kleinpfnannen existieren noch die Kleinstformen des bedeckten Karstes, bei den aufragenden ca-Schwellen sind Kleinstformen des nackten Karstes (Rillen, Schratzen) zu beobachten. Der Prozeß der Exhumierung ist noch im Gange, wie einzelne Rundkarrenfelder in W-Etoscha bezeugen (Photo 3).

Die exhumierte Kalkkruste (ca-Horizont) zerfällt in Hammadas. Die Hammadaisierung ist keinem bestimmten Prozeß zuzuordnen. Biogene Auflösung der Kalkkruste ist zu beobachten (Wurzeldruck, Elefantwälder) (Photo 5), doch sind Frostwirkung (vgl. cap. 1) und pluviale Bewegung von gelockerten Gesteinsbrocken nicht auszuschließen. Hammadaisierung ist hier am besten schlicht als Alterung einer in allmählicher Abtragung befindlichen ca-Landoberfläche anzusehen (Im Calcrete-Modell von Netterberg (1978) entspricht sie dem „boulder calcrete“). Die Hammadas auf Calcrete sind verbreitet im Zentrum, S und E von Etoscha (Eto 21, 104 in Fig. 10, 22, Photo 6) und auf den ca-Inseln („Zeugenberge“, s. cap. 5). Sie kennzeichnen eine in Abtragung befindliche Strukturfläche. Populärsprachlich charakterisieren sie das *Kalkveld* (Fig. 48).

Je nach Bewahrung des Paläo-Bv sind Hammadas vergesellschaftet mit roten Kleinpfnannen oder schwarzen Kleinpfnannen oder beiden. Schwarze Kleinpfnannen sind fortentwickelte Kleinpfnannen *im* ca-Horizont (Eto 94, 257 in Fig. 20, 26). Die grauen bis schwarzen

Sedimente in diesen Kleinpflanzen sind Bodensedimente von jungen, auf der ca-Kruste entwickelten Kalkböden (Hinweise schon Schneiderhöhn, 1920).

Die Entwicklungsreihe pluvialer Abtragung kann nach dem Hammadastadium am einsichtigsten in der Betrachtungsebene der Geomorphologie von Schichtstufenlandschaften (Blume, 1971) dargelegt werden. Als Initialstufen sind Stufen (Dezimeter) in kompakten ca-Horizonten zu beobachten (Eto 2, 3, 4, 88 in Fig. 10, 19, Fig. 47). Von diesen Stufen aus erfolgen pluviale Sedimenttransporte in Richtung auf die Kleinpflanzen. Korrelat zur Abtragung solcher Stufen werden Calcrete-Brocken vor der Stufe sedimentiert. *Calcrete-Streu* in Pfannensedimenten bzw. auf der Pfannenoberfläche ist die korrele Fazies zur Stufenabtragung (Photo 7, 11). Der Prozeß ist aktuell zu beobachten. Die Etoschapfanne wird deshalb zu Beginn der Regenzeit unbefahrbar, weil sie zunächst am Rande stärker durchnäßt wird. Dies ist eine Folge des vom Rande in die Pfanne abfließenden Regenwassers (Zuschußwasser), das auch Sedimente vom Rande in die Pfanne führt.

Die nachfolgend zu einem genetischen *Modell der Riesenpfannenbildung* (Fig. 44) verbundenen Gesichtspunkte basieren auf der im Gelände festgestellten, völlig überraschenden und bisher nicht bekannten Tatsache, daß in der Etoschapfanne in einer Entfernung von einigen hundert Metern bis zu Kilometern (!) zum Festland oberflächennah eine Kalksandsteinkruste ansteht (Eto 9, 61, 56, 39, 35, 192 in Fig. 10, 16, 15, 14, 24 und Tabelle 4). Der Verfasser hat diese Kruste nach ihrer Entdeckung im Bereich des Ekuma (Fig. 2) (Photo 8) als Ekumasandstein bezeichnet (Rust, 1981). In allen scarp retreat-Pfannen, die der Verfasser aufgesucht hat (Fig. 2) und bearbeiten konnte, steht der Ekumasandstein oberflächennah unter den in der Trockenzeit salzigen, vegetationslosen Pfannensedimenten an.

Der Ekumasandstein existiert nur im Bereich der „Kalari“-Schichten (cap. 1). Folglich ist die Verbreitung von scarp retreat-Pfannen ebenfalls geknüpft an den Bereich von „Kalahari“, d.h. den zentralen bis nördlichen Teil des Untersuchungsgebietes (Fig. 7). Der Ekumasandstein hat keine besondere hydrologische Bedeutung als wasserdurchlässige Schicht. Seine Bedeutung liegt darin, daß er als morphologisch harte Schicht (ca₂ — Horizont) Denudationsbasis für den Stufenrückgang im ca (= ca₁) — Horizont ist und als Transportfläche für die abgetragenen Sedimente fungiert.

Nach den Geländebefunden hatte der Verfasser den Ekumasandstein als pedogen angesprochen auf Grund seiner Profilmorphologie mit kalzifizierten Röhren und Knollen. Radiometrisch untersuchte Proben des Ekumasandsteins (Eto 35 III, 61 IX in Fig. 51) weisen ihn als Evaporit aus (Tab. 6). Er ist also zu verstehen als oberflächennahe evaporitische Fazies der „Kalahari“-Sedimente. Aus landschaftsgeschichtlicher Sicht

ist diese Ansprache insofern zu begrüßen, als damit der morphologische Stockwerkbau (ca₁, ca₂) nicht umständlich mit zwei pedogenen Phasen, die durch eine Sedimentationsphase voneinander getrennt wären, zu erklären ist. Im übrigen weisen die radiometrischen Bestimmungen an Proben des Paläo-ca-Horizontes (ca₁) diese sämtlich als pedogen aus (Tab. 6, 7), was der Geländeansprache genügt (cap. 3.1).

Das Endglied der Entwicklungsreihe pluvialer Abtragung ist die *scarp retreat-Pfanne** in Anpassung an eben den Stockwerkbau. In Hinsicht auf das Ausgangspaläobodenprofil sind die scarp retreat-Pfannen Ergebnis der weitestgehenden Denudation.

Die in Modell 2 (Fig. 44) aufgezeigten Weiterentwicklungen der scarp retreat-Pfannen (Riesenpfannenbildung) können sowohl im Sinne einer zeitlichen als auch räumlichen Sequenz aufgefaßt werden. Da der räumliche Aspekt des Modells 2 in bezug auf die Etoschapfanne selbst erläutert werden soll (cap. 5), sei hier nur auf folgendes verwiesen: Man kann die Morphosequenz von der sich ausweitenden Hohlform her oder von der sich auflösenden höheren umrahmenden Landoberfläche her betrachten. Ersteres führt zur Deutung der Riesenpfanne Etoscha (cap. 5), letzteres sei hier skizziert.

Der Stufenrückgang löst das ca₁-Altrelief in Halbinseln, Inseln (sozusagen „Zeugenberge“), schließlich gänzlich auf (Fig. 44, 48). Der ehemalige Zusammenhang von Inseln und Halbinseln mit dem ca₁-Relief wird durch die Existenz von krönenden hammadaisierten Calcretes auf eben diesen dokumentiert (Photo 9, Eto 56 in Fig. 15). Im Bereich der Etoschapfanne sind diese Altflächenreste durch für Etoscha ungewöhnliche Höhensprünge (bis > 20 m) mit kliffartigen Abfällen gegenüber der scarp retreat-Pfanne ausgewiesen (Eto 39, 61, 75 in Fig. 15, 16, 55). Hier gerät sogar das ca₂-Niveau in den pluvialen Abtragungsprozeß, wodurch bisweilen eine Doppelstufe auftritt (Photo 7). Die topographisch tiefere Stufe (im Ekumasandstein) entspricht genetisch der initialen im ca₁-Horizont. Im unteren Hangprofil von Inselkernen und Halbinseln erscheinende Verflachungen sind in Etoscha sämtlich *Strukturterrassen* in Anpassung an das ca₂-Stockwerk (Photo 10). Dies ist wichtig in Hinsicht auf Wasserspiegelschwankungen eines Sees in der Etoschapfanne und damit zusammenhängende Deduktionen zur paläoökologischen Entwicklung (cap. 6).

Wie in Modell 2 (Fig. 44) dargelegt, ist die genetische Weiterentwicklung von scarp retreat-Pfannen nicht mehr nur in pluvialer Betrachtungsebene zu sehen.

* Es gibt keinen tradierten wissenschaftlichen Begriff für die Entstehung der Pfannen, wie der Verfasser sie nach seinen Geländebefunden darlegen muß. Da scarp retreat in der englischen Literatur ganz allgemein für Hangrückverlegung gebräuchlich ist, da andererseits die deutsche Schichtstufenfentiminologie zu Konstrukturen wie „Pfannen aufgrund von Stufenrückverlegung“ zwingen würde, möchte der Verfasser den kürzenden Arbeitsbegriff der scarp retreat-Pfanne einführen.

Äolische und fluviale Wirkungen bestimmen zusätzlich die Morphosequenz.

4 WEITERE FORMEN

4.1 Fluviale Formen

Hydrologisch betrachtet gehört ganz Etoscha zu den abflußlosen Gebieten der Erde. Hydrologische Meßstellen existieren nicht, aber es gibt Berichte über das Abflußgeschehen (z.B. Berry, 1972). Stengel (1963) hat die Verhältnisse für das nördlich anschließende Ovamboland geschildert.

Echt fluviale Formen (Tal, Hoch- und Niedrigwasserbett, Levées, Deltas, fluviale Erschließung durch Nebentäler) sind in bezug auf Etoscha außenbürtig. Sie sind das Ergebnis von Fernwirkungen aus den niederschlagsreicheren (Fig. 1). Nachbarräumen im N (Ovamboland, Angola) und NE (Mangetti, Buschmannland). Oberirdisch abfließendes Wasser sammelt sich in fünf Rinnen (Efundja, Stengel, 1963) und erreicht in guten Regenjahren die Etoschapfanne: Ekuma, Oshingambo, Oshinkangabango, Omuramba Omuthiya, Omuramba Ovambo (Fig. 2). 1977/78 z.B. reichte ihr Zuschußwasser zusammen mit den in Etoscha selbst fallenden Niederschlägen aus, die Etoschapfanne zu fluten (mdl. Mitt. der Ranger, Okaukuejo). 1979/80 war leider ein Dürrejahr.

Auch diese allochthonen Systeme sind in Längs- und Querprofilentwicklung angepaßt an die diskutierten lithologischen Differenzierungen (cap. 3.1) im Bereich der „Kalahari“-Sedimente. Der Ekumasandstein (ca₂-Horizont) ist die Sohle des Ekumaflußbettes (Photo 8). Der Ekuma hängt in seinem Unterlauf auf dieser Strukturfläche. Das Omuramba Ovambo verläuft sich auf einer Fläche dort, wo sein Talweg die ca₁-Kruste erreicht, (= flood out i.S. von Bremer, 1967) und bifurkiert zur Omuramba Omuthiya (Fig. 49).

In Modell 2 (Fig. 44) wird der Übergang von pluvialen zu fluvialen Abtragungsformen dargestellt. Scarp retreat-Pfannen verwachsen über Verbindungsschläuche (Fig. 50). Im Bereich der Verbindungsschläuche mag es in guten Regenjahren zum Überfließen von Pfanne zu Pfanne kommen. Die Geländebeobachtung zeigt jedoch (Eto 151 in Fig. 23), daß scarp retreat in Richtung auf den Schlauch vorherrscht, also flache Talwasserscheiden existieren.

Nicht alle Reliefteile im Etoscha Nationalpark sind aus der Morphosequenz in Fig. 44 allein zu erklären. Sie sind deshalb nicht im Modell ausgewiesen. Ergebnis episodischer Sedimenttransporte sind Flood plains (bodenkundlich sind dies Akkumulationssequenzen, Fig. 42). Ausgehend von den umrahmenden Bergländern im S sind Teile der Kleinpffanfelder und Hammas auf und in dem ererbten ca-Horizont verschüttet worden (terrestrische Transgression) (Fig.

45). Die flood plains sind gebunden an Schichtflutnahtransporte.

Bei Okaukuejo und westlich Grünwald (Grootvlak) existieren unreliefierte Flächen auf ca-Kruste. Auf ihnen kommt nodularer Calcrete in einigen Zentimetern Bodentiefe sowie als Oberflächenstreu vor. Ihre Stellung im Entwicklungsmodell ist nicht ganz klar. Es fehlt einerseits die karstische Überprägung (abgesehen von einzelnen Vleys auf Grootvlak), andererseits tritt der ca-Horizont nicht direkt an die Oberfläche und ist nicht hamadaisiert. Der ubiquitäre nodulare Calcrete spricht für pedogene Calcretebildung (Netterberg, 1978), die Calcretestreu für pluviale Umlagerung. Die Nachbarschaft dieser Ebenen zur südlichen Flood plain (Grootvlak) bzw. zur Etoschapfanne mit ihren Pffanranddünen (Okaukuejo) läßt vermuten, daß die dünnmächtigen Lockersedimente über dem ca-Horizont pluvial und/oder äolisch umgelagerte Sedimente aus der Flood plain bzw. Etoschapfanne darstellen, d.h. daß diese Ebenen Sandschwemmebenen i.S. von Hövermann (1963) sind.

4.2 Äolische Formen

Die Verbreitung der Dünen in Etoscha läßt folgende Regelmäßigkeit erkennen: Sie sind in ihrer räumlichen Verbreitung erstens gebunden an transportable Lockersedimente (Paläo-Bv, Pffanensedimente), zweitens von Winden aus E bis SE aufgehäuft worden. Die Dünen sind fossil (Eto 23, 27, 35, 36, 88 in Fig. 10, 11, 14, 19) (vgl. cap. 7.2). Die Längsdünen aus Bv-Material im W sind bewachsen, die Dünen im Bereich der Etoschapfanne ebenfalls, haben Bodenbildungen und werden pluvial zerschnitten.

Im Bereich der Etoschapfanne ist bei diesen Dünen zwischen freien Dünen (Barchane und Barchanabkömmlinge) (Bucht westlich Poacher's Point, Andonibucht, Fisher's Pan) (Photo 15) sowie an Hindernissen aufgehäuften gebundenen Dünen zu unterscheiden. Letztere befinden sich im Luv gegenüber E/SE-Winden und können als Pffanranddünen aufgefaßt werden (z.B. Westrand der Etoschapfanne zwischen Okondeka und Okotumare (Fig. 45)) (Photo 12). Sogar die kleinen ca-Restsinseln in der Namutonibucht zeigen dieses räumliche Muster (Fig. 48, Eto 182 in Fig. 24).

Die Verbreitung der Dünen im Bereich der Etoschapfanne zeigt, daß für die Ausgestaltung der Pfanne als Hohlform Windformung eine bedeutende Rolle spielt. Windrippelfelder auf der Pfanne sowie selbst beobachtete Sandstürme in der Pfanne zeigen, daß die äolische Überformung der Pfanne noch weitergeht. (Tab. 4).

Die Pffanranddünen erinnern an Küstendünen, die im äolischen Stockwerk an der Grenze See/Festland aufgehäuft werden. Die der offenen See vergleichbare Fetch-Situation wird hier durch die vegetationslose Pfanne ersetzt.

Eine nach Rückkehr des Verfassers erschienene Arbeit von Cooke (1980) ließ ihn an seinen Befunden zweifeln. Cooke interpretiert vergleichbare Formen als aquatische Strömungskörper in einem pluvialen See im Bereich der Makarikaripfannen*. Wie Cooke dem Verfasser auf Nachfrage schriftlich mitteilte hat er außer dieser geomorphologischen Interpretation keine zusätzlichen Indizien als stützendes Argument. Die Korngrößenanalysen können die eigene Interpretation stützen. Die Barchane, Barchanabkömmlinge und Pfannenranddünen zeigen äolische Kurventypen (Eto 101, 23 I, II, 12 II, 50) bzw. gemischt äolisch-pluviale Kurventypen (5 I, 102 I, II, III, 60 I, II, 27 I — IV, 111 I). Die gemischt äolisch-pluvialen Sedimente lassen sich unschwer aus der Lagebeziehung zur Etoschafanne als kurzdistant äolisch umgelagerte Pfannensedimente erklären.

Die roten Längsdünen in W-Etoscha sind vergesellschaftet mit Sanddecken und liegen auf dem ca-Horizont des Paläobodens (Eto 88 in Fig. 19). Hier liegt nur eine lokale äolische Überprägung des Paläo-Bv vor.

5 DIE ENTSTEHUNG DER ETOSCHAPFANNE UND DAS KUNENE-PROBLEM

Die Etoschafanne ist eine *Abtragungshohlform* gegenüber der „etoscha“-zeitlichen Landoberfläche. Der Pfannenboden ist eine Abtragungsfläche in Anpassung an den ca₂-Horizont, der im einzelnen durch das Zusammenwirken von Windwirkung (Akkumulation, Durchtransport, Deflation), Niederschlägen (pluviale Akkumulation, Umlagerung) und allochthonem Zuschußwasser (Sedimente) überformt worden ist. Dazu tritt die feinere Ausgestaltung durch Salze.

Nach den topographischen Karten existieren innerhalb der ca. 4600 km² großen Etoschafanne (Pfannenboden) Höhenunterschiede bis zu 13 m. Mit Hilfe gezielter eigener Nivellements wurde festgestellt, daß diese Unterschiede um den Faktor 10 zu groß, also falsch sind. Immerhin könnten bei der Annahme einer vollständigen Flutung der Pfanne im Bereich der topographischen Tiefs morphodynamische Wirkungen (Wellen, Brandung) an der unteren Grenzfläche bzw. am Rande der Wasserkörper angenommen werden. Am westlichen Kliff von Poacher's Point und der Halbinsel zwischen Bucht von Stinkwater und Namutonibucht gibt es Stellen, wo die Pfanne in kleinen Buchten gegen das Kliff ausgreift (Eto 69, 75 in Fig. 17, 55). Nach den topographischen Karten liegen diese Punkte in topographischen Tiefs der Pfanne. Die kleinen Buchten können als Spuren limnisch-litoraler For-

mung *im Niveau* der Pfanne gedeutet werden. Dies entspricht den Ergebnissen der eigenen Nivellements.

Die Etoschafanne ist eine Riesenschale, die aus scarp retreat-Pfannen zusammengewachsen ist. Die dargelegte nachfolgende Überprägung der Pfanne (cap. 4) hat bewirkt, daß eine derzeitige Momentaufnahme mehr denudative und mehr akkumulative Abschnitte erkennen läßt. Aus dem räumlichen Lagevergleich im Bereich der *denudativen Abschnitte* zwischen Pfanne selbst und den umgebenden Reliefteilen läßt sich die Morphosequenz bis hin zur Riesenschale ableiten (Fig. 48).

Das Anfangsstadium der von der Pfanne ausgehenden Auflösung der Altfläche läßt sich eindrucksvoll zwischen Springbokfontein und Etoscha-Aussichtspunkt veranschaulichen. Ausgehend von schwarzen Kleinpflanzen (Vleys) auf der Altfläche (Hammadass auf Calcrete) erstrecken sich kurze breite Talungen in Richtung auf die Etoschafanne. Die Talungen sind pluvial geformt. Das Formengefüge zeigt, daß die Altfläche in Inseln aufgelöst wird. Etoscha-Goas-Agab nebeneinander zeigen den unterschiedlichen Grad der Auflösung.

Die Halbinsel Gonob/Homeb mit hammadaisierten Calcretekappen ist noch mit dem Rückland verbunden, wird aber beidseitig von flachen, auf die Etoschafanne auslaufenden Talwegen angegriffen. In diesen Talwegen verstreute Reste aus Calcrete sowie Calcretestreu auf dem Boden der Talungen zeigen den Auflösungsvorgang an (Eto 21 in Fig. 10, Photo 11).

Doringdraai in der südlichen Namutonibucht dokumentiert den nächsten Schritt (Eto 104 in Fig. 22): Inseln mit hammadaisierten ca₂-Kernen, die gegenüber der Pfanne mit einer Stufe abgesetzt sind und durch eine tiefere, mit losem Calcrete überstreute Fläche vom Rückland getrennt sind.

Hohe Kliffs mit Doppelstufen kennzeichnen die nächste Etappe. Sie treten auf gegenüber der Pfanne auf folgenden Halbinseln: Oshingambo, Poacher's Point, Halbinsel zwischen Andonibucht und Bucht von Stinkwater, Halbinsel zwischen Bucht von Stinkwater und Namutonibucht mit Leeunes. (Eto 52, 61, 69, 75, 76, 190 in Fig. 15, 16, 17, 54, 55, Photo 9). Bei Poacher's Point ist ein Inselkern der Altfläche nur noch durch Dünen bzw. äolisch/pluviale Decksedimente mit dem Festland im N verbunden. Die Halbinsel Leeunes ist nur über eine schmale Einsattelung mit dem Festland verbunden. Schuttfächer aus Calcretebrocken vor dem Kliff auf der Pfanne zeigen, daß der pluviale Abtrag noch andauert (Eto 39 in Fig. 15). Bei Leeunes ist an der Schmalstelle zum Festland Schollengleiten zu beobachten. Dies dürfte derjenige Vorgang sein, der im Zuge der Pfannenausweitung einen Restinselnkern endgültig vom Festland ablöst (Übersteilung von zwei Seiten, Verlust der Standfestigkeit).

In der Etoschafanne existieren festlandfern einige Inseln (Fig. 45, 48), die aus Bauteilen der Altfläche aufgebaut sind (Eto 56 in Fig. 15). Diese *Inseln* sind das

* Dies wäre ein Fall von *Formenkonvergenz* (PRIESNITZ 1980)

schlagendste Argument für die Auflösung der Altfläche durch Ausweitung von scarp retreat-Pfannen. Sie sind auf den Süd- und Ostteil der Etoschafanne beschränkt, was anzeigt, daß in den inselfreien Abschnitten (Westen, Mitte) die Abtragung weiter fortgeschritten ist.

Zwischen Poacher's Point und Insel befinden sich sili-fizierte Stromatolithen, die von Flamingos zu Brutplätzen aufgehäuft sind (Eto 192 in Fig. 24)*. Die Stromatolithen sind ein Residuum aus „Kalahari“-Schichten (vgl. cap. 7.1). In der Nähe (Eto 193 in Fig. 24) überragt eine flache Kalksandsteinbank den Pfannenboden um 0,7 m. Sie wird von Pelikanen als Brutplatz genutzt. Hier, mitten in der Pfanne, also der Hinweis, daß die Altfläche bis in das Niveau der Pfanne allseitig abgetragen worden ist.

In der Betrachtungsebene „verbleibende Altfläche“ folgt (vgl. cap. 3.2 Betrachtungsebene „scarp retreat-Pfanne“), daß dem Zusammenwachsen von scarp retreat-Pfannen als geomorphologisches Gegenstück die *Inselauflösung* der Altfläche entspricht. Wie dargelegt, lassen sich alle Einzelschritte dieser Inselauflösung im S und E der Etoschafanne aus dem Aktualrelief rekonstruieren. Die Reihe der Inselauflösung ist mit folgenden Schritten zusammenzufassen:

- a Etoscha — Goas — Agab
- b Gonob — Homob
- c Doringdraai
- d Halbinseln zwischen Buchten von Andoni, Stinkwater und Namutoni
- e Leeunes
- f Insel
- g Flamingonester, Kalksandsteinbank

In den hohen Kliffs der Formen der Stadien d — f dokumentiert sich, daß die pluviale Abtragung bis zu den Kernen der Altflächenreste vorgedrungen ist.

Details der weiteren Ausgestaltung der Riesenpfanne Etoscha sind in cap. 4 dargelegt worden. Weitere Gesichtspunkte werden in cap. 6 diskutiert. In Tabelle 4 sind Beispiele für die Sedimente in der Etoschafanne zusammengestellt. Die Oberfläche der Pfanne weist (in der Trockenzeit) die aus Pfannen bekannten Kleinstformen auf (Polygone, Trockenrisse usw.).

JAEGER (1926/27) hat versucht, die *Etoschafanne* aus einem flußgeschichtlichen *Zusammenhang mit dem Kunene* zu erklären. Er deutet die „Grasterrasse“ und die verschiedenen Niveaus der „Waldterrasse“ als lacustre Terrassen. Ihre abnehmenden Höhen sollen den sukzessiven Prozeß der Austrocknung eines ehemali-

gen Endsees des Kunene dokumentieren, nachdem dieser zum Atlantik hin angezapft worden sei. Nach FEJO (1970) hat diese Anzapfung im Tertiär stattgefunden.

Wohl wegen der beeindruckenden Größe der Etoschafanne (ca. 4600 km², d.h. die Pfanne entspricht grob einem Rechteck von 150 x 30 km Seitenlänge!) hat die Frage nach der Entstehung der Pfanne nicht nur den wissenschaftlichen Geist, sondern stets auch den Laien interessiert. Der Verfasser hat JAEGER'S Sicht zwar stets auch im Auge behalten, ist aber aufgrund seiner Befunde zu dem Ergebnis gekommen, daß die Entstehung der Etoschafanne in keiner Beziehung zum Kunene gesehen werden kann. Nach den eigenen Beobachtungen besteht die „Grasterrasse“ weitgehend aus äolischen und gemischt äolisch-pluvialen Sedimenten und wird dazu von Pfannenranddünen und Barcahnfeldern aufgebaut. Vor den Kliffs können Spülsäume, die mit Gras bewachsen sind (z.B. *Suaeda spp.* nach LE ROUX/VERSTER (o.J.)) den Pfannenrand markieren. Alle sonstigen Terrassen JAEGER'S sind Strukturterrassen in Anlehnung an ca-Horizonte (Photo 9, 10).

JAEGER (1926/27) hat richtig vermutet, daß — besonders in der östlichen Etoschafanne — die Buchten und Halbinseln auf ehemals zusammenhängende Landoberflächen schließen lassen, hat die Entstehung der Buchten zwischen den Halbinseln aber so gedeutet (JAEGER 1926/27, p. 18): „... daß beim Sinken des Wasserspiegels“ ... (sc. eines Endsees des Kunene) „... hier einmündende Riviere die Mittellinie der Buchten erodiert haben“. Für diese Erklärung gibt es keine Befunde.

Es gibt die in dieser Arbeit dokumentierten Zeugen, daß die Etoschafanne eine Denudationsbohlform ist. Daß der Kunene (irgendwann im Tertiär, FEJO (1970)) in Richtung auf Etoscha entwässert hat, ist anzunehmen. Damit hätte er zur Schüttung der „Kalahari“-Sedimente beigetragen. Doch diese sind, wie dargelegt, in Etoscha zeitlich älter als die Etoschafanne selbst.

6 WEITERE GESICHTSPUNKTE

6.1 Radiometrische Datierungen zum Alter der Etoschafanne

An 33 Proben aus 12 Geländeprofilen (Fig. 51) wurden Messungen (14C, 13C) von Dr. J.C. Vogel, NPRL, CSIR, Pretoria, durchgeführt. Gemessen wurde an Stromatolithen, Calcretes, Quellsintern und lacustren Evaporiten.

Eine zeitliche Gruppierung der 14C-Daten (Fig. 52) läßt Abschnitte mit events und ohne events erkennen. Tab. 6 faßt die Meßwerte der einzelnen Proben zusammen. Außerdem werden in Tab. 6 die einzelnen Meßwerte in ihren Lagebeziehungen (geomorphologisch, bodenkundlich, stratigraphisch) kommentiert. Die Δ

* Die Flamingos in Etoscha brüten in der Regenzeit. Sie wählen ihre Brutplätze mitten in der Pfanne aus Schutz vor Räubern (BERRY 1972). Die Tatsache, daß die aus Stromatolithen aufgehäuften Nistplätze nur um ca. 10 cm den Pfannenboden überragen, dokumentiert, daß hier die Wassertiefe in der aktuellen Pfanne kaum tiefer als 10 cm bei einer Flutung sein kann.

¹³C o/oo-Werte geben Hinweise auf das Bildungsmilieu von kalkhaltigen Ausfällungen (Vogel, 1982). Aus Tab. 7 ist ersichtlich, wie sich mit Hilfe dieser Werte pedogene und evaporitische Ausfällungen deutlich trennen lassen. Ausgenommen die Proben Eto 61 I, II stützen die Labormessungen die Geländeansprache zusätzlich.

Über die erdwissenschaftlichen Aspekte der ¹⁴C-Daten aus Etoscha an sich sowie im Vergleich zu anderen aus Südwestafrika publizierten ¹⁴C-Daten wurde berichtet (Rust, 1983). Tab. 5 ist das Resultat der Interpretation der ¹⁴C-Daten aus Etoscha in ökomorphodynamischer Betrachtungsebene.

Einige Datierungen geben Hinweise zum Alter der *Etoschapfanne* als scarp retreat-Pfanne im Rahmen der ¹⁴C-Datierbarkeit (Geyh, 1971). Der evaporitische Kalksandstein Eto 61 VII (46 300 ± 4060/2680 BP) dokumentiert die Existenz der *Etoschapfanne* vor der Oshingambo-Halbinsel, der evaporitische Kalksandstein Eto 35 III (37 900 ± 1550 BP) bei Logan's Island. Die Seekreiden Eto 19 (11 900 ± 120 BP) bei Kapupuhedi und Eto 21 I (21 400 ± 230 BP) bei Ondongab liegen im Niveau der aktuellen Pfanne. Sie dokumentieren Flutungen in der Pfanne. Diese vier ¹⁴C-Daten insgesamt beweisen, daß zum jeweiligen event die *Etoschapfanne* an der Lokalität existiert hat. Da die vier Proben an der Oberfläche der Pfanne bzw. oberflächennah genommen worden sind, dokumentieren sie mehrere Phasen der Entwicklung der *Etoschapfanne*.

Die Marge der Radiocarbon-Chronologie deckt allerdings kaum den Zeitraum der Entwicklung der *Etoschapfanne* ab. Bei Poacher's Point (Photo 13) sind Stromatolithen an der Oberfläche der *Etoschapfanne* angereichert. Stromatolithen werden in Flachwassermilieu gebildet (Lancaster, 1979). An den Stromatolithen wurden folgende Alter gemessen: Eto 276 = 37 600 ± 940 BP oder älter, Eto 277 = > 42 000 BP, > 44 800 BP, > 41 700 BP. Damit liegen sie außerhalb der ¹⁴C-Datierbarkeit. Nach den Geländebeobachtungen des Verfassers sind diese Stromatolithen aus dem Kliff von Poacher's Point durch pluviale Denudation in die *Etoschapfanne* gelangt (Eto 69 in Fig. 17), d.h. sie dokumentieren sowieso nicht die Existenz der *Etoschapfanne* an ihrem Fundort, sondern eine lacustre Phase unbekanntes Alters im Zuge der Sedimentation der „Kalahari“-Sedimente. Eto 75 und 76 (Fig. 55, 54) zeigen den gleichen geomorphologisch-stratigraphischen Befund. Auch die Stromatolithen auf der Insel in Profil Eto 56 (Eto 56 IV = 39 300 ± 1470 BP, > 40 000 BP, 42 400 ± 1950 BP) sind wegen der gemessenen Alter sowieso schon mit Vorsicht zu interpretieren. Sie befinden sich ca. 8 m über dem Niveau der *Etoschapfanne* und geben nur insoweit einen Hinweis auf das Alter der Pfanne, daß diese nach ca. 40 ka BP durch scarp retreat auf Kosten der Insel ausgeweitet worden ist. Die Stromatolithen in Eto 56 entstammen dem gleichen Stromatolithenlager, für

welches Wilczewski/Martin (1972) pliozänes (!) Alter vermutet haben.

Heine (1979) hat drei für das Alter der *Etoschapfanne* relevante ¹⁴C-Daten publiziert. Nach Heine (frdl. schriftliche Mitt.) ergab Seekreide zwischen Springbokfontein und Okerfontein 12 720 ± 165 BP, Seekreide vom Beobachtungspunkt Pan nord-östlich Okaukuejo 13 680 ± 175 BP, Süßwasserschnecken in den „Alten Dünen“ bei Okondeka 10 670 ± 465 BP. Nach Heine (1979, 1982) dokumentieren diese Daten nicht nur einen spätwürmzeitlichen pluvialen See, sondern auch eine humide Klimaphase in Etoscha. Der ersten Interpretation stimmt der Verfasser zu. Sein eigener event von Kapupuhedi (Seekreide 11 900 ± 120 BP) ergänzt Heines Daten. Der zweiten Schlußfolgerung gegenüber ist er sehr skeptisch, weil es problematisch ist, aus Seespiegelschwankungen in Trockengebieten auf Klimaschwankungen zu schließen (Ebert-/Hitchcock, 1978; Rust/Schmidt/Dietz, 1984), insbesondere wenn sich im „pluvialen See“ auch hydrogeographische Fernwirkungen aus feuchteren Klimagebieten niederschlagen können. Dies hat Cooke (1980, 1983) am Beispiel der Magkadigkadi-Pfannen in Nordbotswana gezeigt. Für Etoscha sind derartige Fernwirkungen ebenfalls anzunehmen (cap. 4.1).

6.2 Palaeoenvironments und Landschaftsgeschichte

In den Pedosequenzen und Morphosequenzen der Modelle 1 und 2 (cap. 3.2, 3.3) ist die Landschaftsentwicklung in Etoscha bewußt mechanistisch vereinfacht dargestellt worden. Auf grund von regionalen Analysen in anderen Untersuchungsgebieten des südwestlichen Afrika (z.B. Cooke (1980) Nordbotswana, Heine (1978) Kalahari, Lancaster (1979) Westkalahari, Rust/Wieneke (1976) Zentrale Namib) und auf grund vergleichender Zusammenfassungen für das südliche Afrika (z.B. van Zinderen Bakker (1967, 1975, 1980), Coetzee (1978), Heine (1982)) mußte der Verfasser annehmen, auch in Etoscha Spuren (zumindest) jungquartärer Klimaschwankungen zu finden. Solche Spuren existieren.

Für die Interpretation der Spuren ergeben sich zwei Schwierigkeiten. Erstens ist es prinzipiell methodisch schwierig, aus pedologischen oder geomorphologischen Proxydaten auf bestimmte „Klimate“ zu schließen (vgl. Netterberg, 1969; Rust/Schmidt, 1981), weil Böden und Relief in komplizierten und nicht unbedingt bekannten Zusammenhängen mit den andern Untersystemen des „Klimatischen Systems“ (Flohn, 1977) stehen. Zweitens hat sich als Hauptergebnis der eigenen Geländearbeiten herausgestellt (Modell 2), daß die post-„etoscha“-Überprägung von Etoscha diejenige einer endorheischen *Denudationslandschaft* ist.

Die pedogenen Calcretes in Etoscha (vgl. cap. 3.1, Tab. 7) ergeben gewisse palaeoenvironmentale Hinweise.

Zwar scheint die klimatische Bandbreite, unter welchen pedogene Calcretes gebildet werden, sehr groß zu sein (Netterberg, 1969; Blümel, 1982). Doch wenn man alle Faktoren der Calcrete-Bildung im Zusammenhang sieht, sind „semiaride Klimate“ optimal (van Zuidam, 1975). Das derzeitige Klima in Etoscha ist semiarid (cap. 7).

Andererseits haben die radiometrischen Messungen an Calcretes in Etoscha (Rust, 1983) Alter zwischen radiometrischen Maximalaltern (z.B. Eto 85 I, III in Fig. 51: $> 43\ 500$ BP, $> 43\ 300$ BP) und $10\ 400 \pm 90$ BP (Eto 30 in Fig. 51) sowie im Kaokoveld unter dem Great Escarpment 9210 ± 90 (Eto 83 II in Fig. 51) ergeben. Dies bestätigt die früher von Netterberg, (1969) geäußerte Ansicht, daß seit ca. 10 000 BP im südlichen Afrika keine (fortgeschrittene) Calcrete-Bildung zu beobachten ist.

Hier liegt also ein interpretatorisches Dilemma vor. Nach Auffassung des Verfassers kann dieses Dilemma beim derzeitigen Forschungsstand am besten im ökomorphodynamischen Denkmodell von Rohdenburg (1970) (auch Rohdenburg/Sabelberg, 1980) gelöst werden. Danach dokumentieren pedogene ca-Horizonte morphodynamisch stabilitätszeitliche Verhältnisse. Die gegenwärtigen Verhältnisse wären als morphodynamisch aktivitätszeitlich einzustufen (Rust, 1983). Logischerweise sind beide Verhältnisse als *Ausprägungen „semiarider“ Klimate* anzusehen. Die derzeitige Niederschlagsverteilung (Fig. 4) wäre als „akzentuiert“ i.S. von Rohdenburg (1970) anzusprechen. Calcrete-Bildung würde „gleichmäßigere“ Niederschlagsverteilung erfordern.

Die aktuell aktivitätszeitlichen Verhältnisse sind morphodynamisch nicht sehr wirksam. Zerschneidung bewachsener Dünen (Eto 27 in Fig. 11) scarp retreat an Pfannenrändern (Eto 21, 20, 61 in Fig. 10, 12, 16, Photos 7, 11) und auch die Hammadaisierung der ca-Horizonte (d.h. auch die Abtragung von Feinerde, vgl. Le Roux, 1977) zeugen von morphodynamischer Aktivität.

Für den mit ^{14}C -Datierungen erfaßbaren Zeitraum lassen sich mit Hilfe der datierten Calcretes (Tabelle 5) drei jungquartäre stabilitätszeitliche Zeiträume fassen. Der fossile Quellsinter von Namutoni (Eto 103 IV in Fig. 12 = 9310 ± 90 BP) fällt in die jüngste Stabilitätszeit und kann einsichtig mit kräftigerer Schüttung der Quelle unter gleichmäßiger verteilten Niederschlägen gedeutet werden.

Ein Wechsel von aktivitätszeitlichen und stabilitätszeitlichen Verhältnissen wird auch in Akkumulationssequenzen unterhalb der Großen Randstufe dokumentiert (Eto 81, 83 in Fig. 51, 13, 18). Dort wechselten Phasen der Hangabtragung und korrelaten Beckenverschüttung mit Calcrete-Bildungsphasen ab. Eto 83 II ist der ca-Horizont eines reliktschen Bodens (9210 ± 90 BP), der in der jüngsten Stabilitätszeit gebildet wurde. Die im Kaokoveld zu beobachtende Badlandererosion (Photo 14) in den Beckensedimenten

dokumentiert hier ebenfalls derzeitig morphodynamisch aktivitätszeitliche Verhältnisse. Inwieweit die Badlandererosion vom Menschen durch ökologisch nicht angepaßte Landnutzung verstärkt wird (man-made desertification) soll hier nicht weiter diskutiert werden (vgl. Uncod, 1977; Grove, 1978; Ibrahim, 1980).

Für die Reliefdifferenzierung in Etoscha ist, wie dargelegt (cap. 4.2), auch Windformung von Bedeutung. Die Barchanfelder in der Bucht von Andoni, Fisher's Pan usw. (Fig. 45) sind fossil (Grasdecke (Photo 15), pluviale Zerschneidung). Nach Ausweis eines evaporitischen powder calcrete (Eto 27 III = 3510 ± 120 BP) dokumentieren sie eine holozäne Phase bedeutender äolischer Formung. Nach der Orientierung der Barchane haben Winde aus E bis SE geherrscht. Die bewachsenen und ebenfalls pluvial zerschnittenen Pfannenranddünen (cap. 4.2) sind auch von Winden aus östlichen Richtungen aufgehäuft worden. Ob sie zeitgleich mit den Barchanen sind, muß offen bleiben, obwohl die Frische der Formen (Photo 12) dies vermuten läßt. Die gemischt äolisch-pluvialen Sedimente auf der Oshingambo-Halbinsel greifen über auf den Calcrete von Eto 61 I, II (= $32\ 000 \pm 780$ BP, $28\ 700 \pm 550$ BP und $28\ 200 \pm 890$ BP, Fig. 51) und reichen in Tälchen hinein, sind also jünger als der Calcrete (Fig. 53). Heines (1979) Süßwasserschnecken von Okondeka liegen in den Pfannenranddünen, die demnach jünger als 10,6 ka BP wären. Die aktuellen Windwirkungen erzeugen nur Kleinstformen (Windrippeln), d.h. die Intensität des derzeitigen Windregimes ist verschieden von demjenigen, das die Barchane (? und Pfannenranddünen) bewegt hat.

Die in cap. 3.1 dargestellten Lagebeziehungen der „etoscha“-Landoberfläche zu den abgetrennten Restbergen vor dem Great Escarpment sowie die Tatsache, daß ca-Horizonte auf den untersten Abschnitten von Talhängen existieren, die selbst einige zehn Meter eingetieft sind (z.B. Eto 93 = 9540 ± 100 BP, Eto 85 IV = $22\ 700 \pm 240$ BP in Fig. 51), dokumentiert, daß die exorheische Zertalung des Kaokoveldes zeitlich mit Sicherheit hinter die Radiocarbon-Datierbarkeit zurückreicht. Wie weit, muß offen bleiben (vgl. continental unconformities tertiär-quartär bei Rabie/Smit (1954)).

Seit Ausbildung des „etoscha“-Paläobodens erfolgte in Etoscha eine völlige Neorientierung gegenüber der Entwicklung prä-„etoscha“. Etoscha ist seither insgesamt eine Denudationslandschaft. Gerade im Vergleich zum benachbarten Kaokoveld ist die post-„etoscha“-Abtragung nicht spektakulär. Aber sie hat doch zu einem reichlich differenzierten Formenschatz geführt (Fig. 45), obwohl die maximalen Werte der Abtragung um 20 m liegen (Oshingambo-Halbinsel (Photo 9, Eto 61 in Fig. 16). Diese Differenzierung überhaupt zu erkennen, ihre einzelnen Entwicklungsstadien in ihrer räumlichen Verbreitung und Lage zueinander zu fassen und durch Befunde zu belegen, darin erwies sich die Schwierigkeit der Geländearbeit. Die dargelegte Differenzierung eines durch

endorheische Abtragung überprägten Altreliefs war so bisher nicht bekannt und scheint dem Verfasser ein geomorphologisches Ergebnis von zumindest regionaler Bedeutung zu sein.

Sie erfolgte, wie in diesem Kapitel dargelegt, zeitlich diskontinuierlich im Rahmen „semiarider“ klimatischer Verhältnisse. Die Spanne reicht von Bodenbildung über pluviale Formung zu äolischer Formung. Nähere palaeoklimatische Präzisierungen erscheinen unzulässig. Derzeitig tritt die äolische Formung (ausgenommen in den scarp retreat-Pfannen selbst) gegenüber der pluvialen zurück.

Der räumliche Vergleich (Fig. 45) der in Modell 2 (Fig. 44) erörterten Formen zeigt, daß die weiter entwickelten Formen, insbesondere die scarp retreat-Pfannen und die Riesenpfanne Etoscha selbst im nördlichen und östlichen Etoscha Nationalpark oberhalb des Great Escarpment ausgebildet sind, während die Initialformen (Sanddecken, Kleinpflanzen) im W dominieren. Dies könnte dafür sprechen, daß die ökomorphodynamischen Schwankungen im W weniger heftig gewesen sind. Der grandiose exorheische fluviale Formenschatz im Kaokoveld des Hoanibriviers) relativiert solche palaeoenvironmentale Deutung und zeigt, daß die morphodynamische Effizienz nicht allein klimaabhängig ist.

7 SUMMARY — ZUSAMMENFASSUNG

Summary

The origin of the Etosha Pan as related to the landscape evolution of the Etosha National Park (northern South West Africa/Namibia)

The main objective of this publication has been to document the field observations and laboratory results (section 2) obtained by the author. The results on the landscape evolution of the area concerned are presented in sections 3—6.

The aim of the study was to work out the development of the Etosha Pan. The conclusion is as follows: the Etosha Pan is a super pan, whose development can only be understood once the morphogeny of the research area has been considered.

At the beginning of the reconstructable geomorphic evolution of the Etosha depression we find the development of a climax soil, which is now a palaeo-soil (Bv-ca-C horizons). This relictic soil covered the entire surface east of the Great Escarpment (= Continental planation surface). Its ca-horizon is a pedogenous calcrete. The morphologic history is one of dissection and re-shaping of the continental planation surface. From a geological point of view, this soil marks a continental unconformity within the „Kalahari“ succession (Tertiary — Quaternary). We propose the term „Etosha“ for this continental unconformity. The present land forms are closely related to the lithologic dif-

ferences inherited from „Etosha“. They can be arranged into chronosequences of typical soils and land forms (sections 3.2, 3.3).

The sequence of morphologic evolution governed by endorheic pluvial erosion is presented in the form of a genetic model in fig. 44. This results in taking stock of the complex morphologic inventory of an old African planation surface, the development of which has not thus far been described. The spatial distribution of the morphologic features is presented in fig. 45. Karst land forms, pluvial and aeolian forms are recognisable. Fluvial forms above the Great Escarpment are influenced allochthonously.

The development of pans can be explained by concepts on the morphology of cuesta land forms. The decisive process is scarp retreat. A model for the development of super pans, based on a synoptic view of the field evidence, is presented in section 3.3 (chronologic aspects) and in section 5 (spatial aspects). The Etosha Pan is a super pan. It resulted from pluvial endorheic erosion processes, and its actual position was determined by epeirogenetic (Etosha depression) and stratigraphic (Kalahari) conditions. The more detailed differentiation of land forms of the Etosha Pan can be traced back to additional aeolian and fluvial processes. We just want to mention the entirely different land form differentiation below the Great Escarpment (exorheic fluvial forms).

The radiocarbon chronology shows that the Etosha Pan developed discontinuously, and the date of initial formation exceeds the range of the ¹⁴C-chronology (section 6.1).

The Kunene River never played a role in the development of the Etosha Pan (section 5).

In the course of the re-shaping of the palaeo-soil, the palaeo-environments have always been — in the widest sense — „semi-arid“. However, from an ecomorphodynamic point of view, there have been alternately morphodynamically active and stable conditions. Since 9,2 ka B.P. morphodynamically active conditions have prevailed (section 6.2).

Zusammenfassung

Schwerpunkt dieser Arbeit ist die Dokumentation der eigenen Gelände- und Laborbefunde (cap. 2). Die Ergebnisse zur Landschaftsentwicklung des Untersuchungsgebietes werden in cap. 3—6 zusammengestellt.

Forschungsziel war, die Entstehung der Etoschapfanne zu erarbeiten. Ergebnis ist, daß die Etoschapfanne eine Riesenpfanne ist, deren Entstehung nur aus der räumlichen und zeitlichen Reliefdifferenzierung des gesamten Untersuchungsgebietes verständlich wird.

Am Beginn der nachvollziehbaren Landschaftsentwicklung in der Etoscha-depression steht die Ausbildung eines vollentwickelten Paläobodens (Horizontfolge Bv-ca-C) (cap. 3.1). Der Boden

überspannte die gesamte Landoberfläche binnenwärts des Great Escarpment (Kontinentale Hochfläche). Sein ca-Horizont ist ein pedogener Calcrete. Die Landschaftsgeschichte von Etoscha ist die Geschichte der auf die Bodenbildung folgenden Überprägung der kontinentalen Hochfläche. Der Paläoboden markiert aus geologischer Sicht eine Diskordanz (continental unconformity) im Zeitraum „Kalahari“ (tertiär-quartär). Für diese continental unconformity wird der Arbeitsbegriff „etoscha“ vorgeschlagen. Die Ausbildung der Oberflächenformen ist in deutlicher Anpassung an die aus „etoscha“ ererbten lithologischen Unterschiede erfolgt. Sie kann in zeitliche Sequenzen typischer Böden und Oberflächenformen aufgelöst werden (cap. 3.2, 3.3).

Die Morphosequenz einer durch endorheische pluviale Abtragung beherrschten Entwicklung wird in einem Entwicklungsmodell zusammengestellt (Fig. 44). Sie führt zur Bestandaufnahme eines differenzierten Formenschatzes auf einer afrikanischen Altfläche, der in seinem genetischen Zusammenhang bisher nirgends beschrieben worden ist. Die räumliche Differenzierung des Formenschatzes wird in Fig. 45 dargestellt. Im einzelnen lassen sich karstische, pluviale und äolische Formen erkennen. Fluviale Formen sind oberhalb des Great Escarpment allochthon beeinflusst.

Die Entstehung abflußloser Pfannen kann mit Vorstellungen aus der Geomorphologie der Schichtstufenlandschaften erklärt werden. Scarp retreat ist der entscheidende Prozeß. Ein Modell der Riesenpfannenbildung, zeitlich in cap. 3.3, räumlich in cap. 5) wird aus der Zusammenschau der Befunde vorgelegt. Die Etoschapfanne ist eine Riesenpfanne. Sie ist das Ergebnis pluvialer endorheischer Abtragung in epigenetisch (Etoschadepression) und stratigraphisch („Kalahari“) vorgegebener Lage. Die feinere Differenzierung der Oberflächenformen im Bereich der Etoschapfanne ist auf zusätzliche äolische und fluviale Wirkungen zurückzuführen. Auf die grundsätzlich verschiedene Reliefdifferenzierung unterhalb des Great Escarpment (exorheisch fluviale Formen) wird nur verwiesen.

Im Rahmen der Radiocarbon-Chronologie läßt sich zeigen, daß die Etoschapfanne diskontinuierlich entstanden ist, in ihrer Erstanlage aber hinter die 14C-Datierbarkeit zurückreicht (cap. 6.1). Der Kunene-Fluß hat für die Entstehung der Etoschapfanne niemals eine Rolle gespielt (cap. 5).

Das Paläoenvironment ist im Verlaufe der Überprägung des Paläobodens im weitesten Sinne immer „semiarid“ gewesen. Allerdings haben aus ökomorphodynamischer Sicht morphodynamisch aktive und stabile Verhältnisse abgewechselt. Seit ca. 9,2 ka BP sind die Verhältnisse morphodynamisch aktiv (cap. 6.2).

8 DANKSAGUNGEN

Der Autor dankt für finanzielle, technische, logistische Unterstützung und persönlichen Schutz den folgenden

Personen und Institutionen: The Director, Nature Conservation and Recreation Resorts, Windhoek, sowie insbesondere Dr. E. Joubert, Windhoek, und den Mitarbeitern in Okaukuejo, Otjovasandu und Namutoni; S.A. Defence Force, Opuwa und Oshakati; Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG), Bonn; Dr. J.C. Vogel, Pretoria; A. und V. Grellmann, Windhoek; Prof. Dr. H.G. Gierloff-Emden, München; Prof. Dr. F. Wilhelm, München; F. Kestler, Cham; Dr. K.R. Dietz, München.

Der Autor dankt auch Herrn Dr. K. Schalk, Geological Survey, Windhoek, für seinen wertvollen Beitrag in der Durchsicht des Manuskripts.

9 LITERATUR

- BERRY, H.H.
1972: Flamingo breeding on the Etosha Pan, South West Africa, during 1971. *Madoqua*, series I, No 5: 5—31.
1980: Behavioural and eco-physiological studies on blue wildebeest (*Connochaetes taurinus*) at the Etosha National Park. — Unpubl. Ph. D. Thesis, University of Cape Town.
- BESLER, H.
1972: Klimaverhältnisse und klimageomorphologische Zonierung der zentralen Namib (Südwestafrika). *Stuttgarter Geographische Studien* 83: 1—209.
- BLUME, H.
1971: Probleme der Schichtstufenlandschaft. *Erträge der Forschung* 5: 1—117.
- BLÜMEL, W.D.
1979: Zur Struktur, Reliefgebundenheit und Genese südwestafrikanischer und südostspanischer Kalkkrusten. *Zeitschrift für Geomorphologie N.F., Suppl-Bd* 33: 154—167.
1982: Calcretes in Namibia und SE-Spain. Relations to Substratum, Soil Formation and Geomorphic Factors. *Catena Supplement* 1: 67—82.
- BREMER, H.
1967: Zur Morphologie von Zentralaustralien. *Heidelberger Geographische Arbeiten*, 17: 1—224.
1961: Climatological Atlas of Africa. (ed. S.P. Jackson), Lagos — Nairobi.
- COETZEE, J.A.
1978: Climatic and biological changes in south-western African coast during the Late Cainozoic. *Palaeoecology of Africa*, 10: 13—29.
- COOKE, H.J.
1980: Landform Evolution in the Context of Climatic Change and Neo-Tectonism in the Middle Kalahari of North-Central Botswana. *Transactions Institute British Geographers*, new series 5: 80—99.
1983: The Botswana evidence for Quaternary climatic change. Vortrag, International Symposium on Late Cainozoic Palaeoclimates of the Southern Hemisphere, Royal Swazi Spa, Swaziland, 29.8.—2.9.1983.
- EBERT, J.J./HITCHCOCK, R.K.
1978: Ancient lake Magkadikgadi, Botswana: Mapping, Measurement and palaeoclimatic significance. *Palaeoecology of Africa*, 10: 47—56.
- FEJO, M.
1970: O Rio Cunene. Estudo geomorfológico. *Finisterra*, Vol. 5, nr 9: 5—68.

- FLOHN, H.
1977: Stehen wir vor einer Klima-Katastrophe? *Umschau*, 77: 561—569.
- GANSSEN, R.
1963: Südwestafrika. Böden und Bodenkultur. 160 p., Berlin (Reimer).
- GEYH, M.A.
1971: Die Anwendung der 14C-Methode. *Clausthaler Tektonische Hefte*, 11: 1—118.
- GIESS, W.
1971: A preliminary Vegetation Map of South West Africa. *Dinteria*, 4: 1—114.
- GILE, L.H.
1966: Cambic and Certain Noncambic Horizons in Desert soils of Southern New Mexico. *Proceedings Soil Science Society America*, 30: 773—781.
- GOUDIE, A.S.
1973: Duricrusts in tropical and subtropical landscapes. 174 p., Oxford.
- GROVE, A.T.
1978: Desertification: Natural or man-induced? In: Symposium on Drought in Botswana (ed. M.T. Hinchey), 71—74, Gaborone, Botswana.
- HEDBERG, R.M.
1979: Stratigraphy of the Ovamboland Basin South West Africa. *Bulletin, Precambrian Research Unit*, Univ. Cape Town, 24: 325 pp.
- HEINE, K.
1978: Radiocarbon Chronology of Late Quaternary Lakes in the Kalahari, Southern Africa. *Catena*, 5: 145—149.
1979: Reply to Cooke's discussion of: K. Heine: Radiocarbon chronology of Late Quaternary Lakes in the Kalahari, Southern Africa. *Catena*, 6: 259—266.
1982: The main stages of the Late Quaternary evolution of the Kalahari region, Southern Africa. *Palaeo-ecology of Africa*, 15: 53—76.
- d'HOORE, J.L.
1964: Soil Map of Africa Scale 1 to 5 000 000. Explanatory monograph. *Commission for Technical Co-operation in Africa*, Joint Project no. 11, 205 p., Lagos.
- HÖVERMANN, J.
1963: Vorläufiger Bericht über eine Forschungsreise ins Tibesti-Massiv. *Die Erde*, 94: 126—135.
- HÜSER, K.
1976: Niederschlagsverhältnisse im Erongogebirge in Südwestafrika. *Journal S.W.A. Wissenschaftliche Gesellschaft*, XXX: 7—24.
- IBRAHIM, F.N.
1980: Desertification in Nord-Darfur. Untersuchungen zur Gefährdung des Naturpotentials durch nicht angepaßte Landnutzungsmethoden in der Sahelzone der Republik Sudan. *Hamburger Geographische Studien*, 35: 1—175.
- JAEGER, F.
1926/27: Die Etoschapanne. *Mitteilungen aus den Deutschen Schutzgebieten*, 34: 1—22.
- JOUBERT, E.
1971: The Physiographic, Edaphic and Vegetative Characteristics found in the western Etosha National Park. *Madroqua*, ser. 1, No 4: 5—32.
- LANCASTER, I.N.
1979: Evidence for a widespread late Pleistocene humid period in the Kalahari. *Nature*, 279: 145—146.
- LAUER, W.
1952: Humide and aride Jahreszeiten in Afrika und Südamerika und ihre Beziehung zu den Vegetationsgürteln. *Bonner Geographische Abhandlungen*, 9: 15—98.
1975: Vom Wesen der Tropen. Klimaökologische Studien zum Inhalt und zur Abgrenzung eines irdischen Landschaftsgürtels. — Akad. d. Wiss. und d. Lit. Mainz, Math. Naturwiss. Klasse, 3: 49 + 19 p.
- LE ROUX, C.J.G.
1977: 1976/77 Annual Reports on Plant Ecology of the Etosha National Park, grazing pressure experiments, veld burning experiment. — Afdeling Natuurbewaring en Toerisme, Suidwes-Afrika Administrasie, Windhoek, 1—19 (unpubl.).
- LE ROUX, C.J.G. and VERSTER, E.
o.J.: Some Soil-Plant Relationships in the Etosha National Park. — 8 p., Manuskript Okaukuejo.
- LESER, H.
1976: Anthropogene Beeinflussung des Faktors Boden in Ökosystemen der Westlichen Kalahari (Südwestafrika). *Journal S.W.A. Wissenschaftliche Gesellschaft*, XXX: 25—38.
- NETTERBERG, F.
1969: Ages of calcrete in Southern Africa. *South African archaeological Bulletin*, 24: 88—92.
1978: Dating and Correlation of Calcretes and other Pedocretes. *Transactions Geological Society South Africa*, 81: 379—391.
- PRIESNITZ, K.
1980: Zur Präzisierung des Konvergenzbegriffs in der Geomorphologie. — Tagungsbericht und wissenschaftliche Abhandlungen 42. *Deutscher Geographentag Göttingen* 1979: 222—224.
- RABIE, L.D./SMIT, J.M.
1954: Geologic reconnaissance map, northern Kaokoveld, S.W.A. Windhoek, Geological Survey, (unpubl.).
- ROHDENBURG, H.
1970: Morphodynamische Aktivitäts- und Stabilitätszeiten statt Pluvial- und Interpluvialzeiten. *Eiszeitalter und Gegenwart*, 21: 81—96.
- ROHDENBURG, H. and SABELBERG, U.
1980: Northwestern Sahara margin: Terrestrial stratigraphy of the Upper Quaternary and some paleoclimatic implications. *Palaeo-ecology of Africa*, 12: 267—275.
- RUST, U.
1980: Models in Geomorphology — Quaternary Evolution of the Actual Relief Pattern of Coastal Central and Northern Namib Desert. *Palaeontologia africana*, 23: 173—184.
1981: Vorläufige Ergebnisse der Geländearbeiten 1979/80 zur Landschaftsgeschichte von Etoscha (Südwestafrika/Namibia). *Mitteilungen S.W.A. Wissenschaftliche Gesellschaft*, Beilage No XXII/2—3: 1—8.
1983: Geomorphic evidence of Quaternary environmental changes in Etosha. Vortrag, International Symposium on Late Cainozoic Palaeoclimates of the Southern Hemisphere, Royal Swazi Spa, Swaziland, 19.8.—2.9.1983.
- RUST, U. and SCHMIDT, H.H.
1981: Der Fragenkreis jungquartärer Klimaschwankungen im südwestafrikanischen Sektor des heute ariden südlichen Afrika. *Mitteilungen Geographische Gesellschaft München*, 66: 141—174.
- RUST, U. and SCHMIDT, H.H. and DIETZ, K.R.
1984: Palaeoenvironments of the Present Day Arid South Western Africa 30,000—5,000 B.P.: Results and Problems. *Palaeoecology of Africa*, 16: (109—148).
- RUST, U. and WIENEKE, F.
1976: Geomorphologie der küstennahen Zentralen Namib (Südwestafrika). *Münchener Geographische Abhandlungen*, 19: 1—74.

- SCHNEIDERHÖHN, H.
1920: Beiträge zur Kenntnis der Erzlagerstätten und der geologischen Verhältnisse des Otaviberglandes, Deutsch-Südwestafrika. *Abhandlungen Senckenberg Naturforschende Gesellschaft*, **37**: 220—318.
- SCHULZE, R.E. and McGEE, O.S.
1978: Climatic indices and classifications in relation to the biogeography of southern Africa. In: *Biogeography and Ecology of Southern Africa* (ed. M.J.A. Werger), 19—53, The Hague.
- STAHL, A.
1940: Die Otaviformation des Etoschabogens (Südwest-Afrika). *Beiträge zur Geologischen Erforschung der deutschen Schutzgebiete*, **22**: 1—66.
- STENGEL, H.W.
1963: *Wasserwirtschaft in S.W.A.* — 467 p. Windhoek (Afrika-Verlag Der Kreis).
- TROLL, C.
1943: Thermische Klimatypen der Erde. *Petermanns Geographische Mitteilungen*, **87**: 81—89.
- TROLL, C. and PAFFEN, K.H.
1964: Karte der Jahreszeiten-Klimate der Erde. *Erdkunde*, **18**: 5—28.
- UNCOD
1977: Desertification: Its Causes and Consequences. Compiled and edited Secr. UN Conference on Desertification (UNCOD) Nairobi, Kenya, 29 August to 9 September, 1977, 448 p. Oxford (Pergamon Press).
- VAN ZINDEREN BAKKER, E.M.
1967: Upper Pleistocene and Holocene stratigraphy and ecology on the basis of vegetation changes in sub-saharian Africa. In: *Background to the evolution in Africa* (eds. W.W. Bishop/Clark, J.D.), 125—147, Chicago.
1975: The origin and palaeoenvironment of the Namib Desert biome. *Journal of Biogeography*, **2**: 65—73.
1980: Comparison of Late-Quaternary climatic evolution in the Sahara and the Namib-Kalahari region. *Palaeoecology of Africa*, **12**: 381—394.
- VAN ZUIDAM, R.A.
1975: Calcrete. A review of concepts and an attempt to a new genetic classification. Colloque „Types de croûtes calcaires et leur répartition régionale“, UER Strasbourg, 92—98.
- VOGEL, J.C.
1982: The age of the Homeb silt terrace. *Palaeo-ecology of Africa*, **15**: 201—209.
- Weather Bureau, Department of Transport, Pretoria.
1974—1983: Monthly Weather Report.
- WIENEKE, F.
1976: Granulometrie. — In: Rust, U./Wieneke, F., op. cit. 35—40.
- WILCZEWSKI, N. and MARTIN, H.
1972: Algen-Stromatolithen aus der Etoscha-Pfanne Südwestafrikas. *Neues Jahrbuch Geologie Paläontologie, Monatshefte*, **12**: 720—726.

TABELLE 1: Okaukuejo. — Höchste monatliche Maximumtemperatur (Tx) / Niedrigste monatliche Minimumtemperatur (Tn) im Meßzeit 5/1974—8/1983 (nach Originalaufzeichnungen in Okaukuejo und Weather Bureau 1974—1983).

	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.	Jan.	Febr.	März	April	Mai	Juni
Tx	30,1	33,6	37,7	39,1	39,6	40,4	39,4	39,6	37,1	35,9	33,2	30,4
Tn	-3,3	-0,9	3,6	7,1	7,5	8,8	11,2	10,8	10,5	7,1	2,5	-1,6

TABELLE 2: Laborergebnisse

Zeichenerklärung:

+ : Es wurde eine Korngrößenanalyse durchgeführt und das Ergebnis graphisch umgesetzt (fehlender Eintrag bei „Korngrößenanalyse“ und „organischer Substanz“ bedeutet, daß es sich bei der betreffenden Probe um Festmaterial handelt).

— : Auf eine Analyse der entsprechenden Probe wurde verzichtet, nachdem ein kurzer Test (etwa mittels HCl für CaCO₃) ein negatives Ergebnis erwarten ließ.

0,0 : Es wurde eine Analyse mit negativem Ergebnis durchgeführt.

Probennummer	Gipsgehalt (CaSO ₄) in %	Calciumcarbonatanteil (CaCO ₃) in %	Anteil an organischer Substanz in %	Korngrößenanalyse	Probennummer	Gipsgehalt (CaSO ₄) in %	Calciumcarbonatanteil (CaCO ₃) in %	Anteil an organischer Substanz in %	Korngrößenanalyse
Eto 1	0,24	49,4			Eto 32	0,02	4,57	9,98	+
Eto 2	0,0	92,3			Eto 33/I	—	21,54	14,37	+
Eto 3	0,14	23,5			Eto 33/II	1,04	23,78		
Eto 4/I	0,0	92,4			Eto 33/III	0,0	46,2	11,9	+
Eto 4/II	0,0	98,4			Eto 33/IV	—	12,76	13,44	+
Eto 5/I	—	—	—	+	Eto 33/V	0,0	81,2		
Eto 5/II	0,19	43,2			Eto 34/I	—	—	—	+
Eto 6/I	0,64	2,9	—	+	Eto 34/II	—	—	2,25	+
Eto 6/II	—	—	11,9	+	Eto 35	—	—	—	+
Eto 7	0,26	0,33	0,13	+	Eto 35/I	1,25	3,83	15,99	+
Eto 7/III	0,0	56,8			Eto 35/II	1,74	6,6	—	+
Eto 7/IV	0,18	64,5			Eto 35/III	1,77	21,5		
Eto 10/II	—	22,44	6,11	+	Eto 37	0,0	44,4		
Eto 11	—	31,7	5,47	+	Eto 38	1,23	17,17	12,8	+
Eto 12/I	—	—	2,03	+	Eto 39/I	1,6	6,03	12,79	+
Eto 12/II	0,13	3,31	4,33	+	Eto 39/II	1,57	5,26	14,0	+
Eto 13/I	0,09	0,23	0,16	+	Eto 42	0,17	98,9		
Eto 13/II	—	—	0,95	+	Eto 50	0,25	3,95	—	+
Eto 13/III	—	—	0,79	+	Eto 51/I	0,12	3,7	—	+
Eto 14	1,26	3,53	—	+	Eto 51/II	0,33	2,8	—	+
Eto 16/I	0,01	—	15,22	+	Eto 52/I	0,02	98,8		
Eto 16/II	0,09	5,7			Eto 53/I	0,25	3,33	—	+
Eto 16/III	0,32	99,6			Eto 53/II	1,44	3,8	—	+
Eto 17	6,08	4,33	6,55	+	Eto 53/III	1,3	4,21	—	+
Eto 18	—	24,2			Eto 54(weich)	0,07	28,9		
Eto 19	0,4	69,8			Eto 54(hart)	0,47	8,1		
Eto 20	1,59	71,6			Eto 55	0,66	7,1	—	+
Eto 21/I	1,26	95,2			Eto 56/I	0,7	76,9		
Eto 21/II	0,35	99,5			Eto 56/II	0,24	4,45	—	+
Eto 21/III	0,32	91,6			Eto 56/III	1,26	52,9		
Eto 22/I	0,44	0,73	—	+	Eto 56/IV	7,96	10,0	—	+
Eto 22/II	0,61	4,22	—	+	Eto 56/V	0,04	43,0		
Eto 23/I	—	15,3	—	+	Eto 56/VI	0,0	31,1		
Eto 23/II	0,0	3,5			Eto 57/I	—	46,05	9,82	+
Eto 23/III	0,06	3,47	—	+	Eto 58/II	1,72	4,14	—	+
Eto 24	0,04	6,9			Eto 58/III	—	—	12,8	+
Eto 25	—	—	5,85	+	Eto 60/I	—	—	6,0	+
Eto 26	0,56	3,8	—	+	Eto 60/II	—	19,06	—	+
Eto 27/I	—	2,45	7,27	+	Eto 61/I	0,38	72,5		
Eto 27/II	—	9,7	7,76	+	Eto 61/II	0,49	68,5		
Eto 27/III	0,0	3,6	—	+	Eto 61/III	0,59	79,0		
Eto 27/IV	0,19	3,94	—	+	Eto 61/IV	0,28	79,4		
Eto 27/V	0,14	3,65	—	+	Eto 61/V	0,27	82,1		
Eto 27/VI	—	17,1	—	+	Eto 61/VI	0,13	74,8		
Eto 28/I	—	—	—	+	Eto 61/VII	0,76	78,3		
Eto 28/II	—	—	—	+	Eto 61/VIII	0,0	26,3		
Eto 29	0,26	98,0			Eto 61/IX	—	—	21,2	+
Eto 30	0,12	96,5			Eto 61/X	0,0	37,6		
Eto 31/I	—	—	—	+	Eto 62/I	0,03	27,7		
Eto 31/II	0,01	2,8			Eto 62/II	0,3	89,3		

TABELLE 2 (Fortsetzung)

Probennummer	Gipsgehalt (CaSO ₄) in %	Calciumcarbonatanteil (CaCO ₃) in %	Anteil an organischer Substanz in %	Korngrößenanalyse
Eto 63/I	—	—	4,6	+
Eto 63/II	—	—	4,5	+
Eto 66/I	1,93	16,7	4,6	+
Eto 66/II	1,17	12,45	14,01	+
Eto 67/I	0,0	44,5		
Eto 67/II	0,0	7,8		
Eto 67/III	0,0	71,6		
Eto 68/II	0,05	12,1		
Eto 69/I	0,0	4,3	7,5	+
Eto 69/II	0,0	10,8	6,0	+
Eto 69/III	0,0	24,8		
Eto 69/IV	0,06	27,3		
Eto 71	0,22	70,7		
Eto 72	—	—	2,9	+
Eto 73/I	0,0	0,0	1,3	+
Eto 73/II	0,0	1,1	1,2	+
Eto 74	0,3	47,8		
Eto 75/I	0,0	86,1		
Eto 75/II	0,3	81,2		
Eto 75/III	0,15	81,9		
Eto 75/IV	0,18	77,5		
Eto 75/V	0,13	65,4		
Eto 76/I	0,0	72,0		
Eto 76/II	0,26	69,2		
Eto 77/I	0,27	14,1		
Eto 77/II	—	—	17,7	+
Eto 77/III	0,10	43,6	3,9	+
Eto 77/IV	0,16	21,3	4,0	+
Eto 78	—	—	6,4	+
Eto 79	—	—	0,2	+
Eto 80/I	—	—	1,6	+
Eto 80/II	0,09	1,0		
Eto 80/III	0,03	48,8		
Eto 80/IV	0,01	0,8		
Eto 80/V	0,0	74,2		
Eto 80/VI	0,19	67,6	3,1	+
Eto 81/I	—	5,1	3,1	+
Eto 81/II	—	—	3,2	+
Eto 81/III	—	—	4,0	+
Eto 82	—	—	0,8	+
Eto 83/I	—	—	6,3	+
Eto 83/II	0,0	23,2	8,1	+
Eto 83/III	0,28	72,9		
Eto 83/IV	0,21	35,9		
Eto 84	0,15	76,6		
Eto 85/I	0,0	?		
Eto 85/II	0,0	83,6		
Eto 85/III	0,01	21,6		
Eto 85/IV	0,26	89,3		
Eto 86	0,0	50,7		
Eto 87/I	—	—	0,9	+
Eto 87/II	—	—	0,8	+
Eto 88	—	—	20,0	+
Eto 89/I	0,0	74,4		
Eto 89/II	0,0	88,2		
Eto 90/I	—	—	2,9	+
Eto 90/II	0,0	92,0		
Eto 90/III	0,0	69,1		
Eto 91	—	—	1,0	+
Eto 92	0,0	0,0	—	+
Eto 93	0,56	27,2		
Eto 94/I	0,0	5,2	6,8	+
Eto 94/II	0,0	8,2	6,1	+
Eto 94/III	0,0	85,3		
Eto 94/IV	0,0	24,1	—	+
Eto 95/I	0,0	0,0	1,2	+

TABELLE 2 (Fortsetzung)

Probennummer	Gipsgehalt (CaSO ₄) in %	Calciumcarbonatanteil (CaCO ₃) in %	Anteil an organischer Substanz in %	Korngrößenanalyse
Eto 95/II	0,0	1,8	1,4	+
Eto 95/III	0,0	77,7		
Eto 95/V	0,0	2,4	1,3	+
Eto 95/VI	0,0	2,1	—	+
Eto 95/VII	0,0	80,1		
Eto 96/I	0,0	3,3	26,6	+
Eto 96/II	0,0	90,6		
Eto 96/IIIa	0,0	99,0		
Eto 96/IIIb	0,86	86,9		
Eto 96/IV	0,03	1,34	12,7	+
Eto 97/I	0,0	7,5	—	+
Eto 97/II	0,0	23,2	18,4	+
Eto 98/I	0,0	35,0	—	+
Eto 98/II	0,0	1,6	—	+
Eto 98/III	0,0	2,5	8,6	,+
Eto 99/I	1,36	31,6	28,8	+
Eto 99/II	2,68	31,9		
Eto 100	0,54	66,8		
Eto 100/1	0,50	92,4	—	+
Eto 100/II	0,0	93,7		
Eto 101	0,0	3,1	1,0	+
Eto 102/I	0,0	1,6	4,0	+
Eto 102/II	0,0	2,2	4,4	+
Eto 102/III	—	3,5	5,6	+
Eto 102/IV	0,19	2,4		
Eto 102/V	0,25	3,3		
Eto 102/VII	0,21	2,3		
Eto 103/II	0,55	96,1		
Eto 103/III	0,52	99,2		
Eto 103/IV	0,68	98,5		
Eto 103/V	0,53	95,6		
Eto 104/I	0,06	11,4	13,3	+
Eto 104/1	0,85	42,2	19,3	+
Eto 105/1	0,0	0,0	3,1	+
Eto 105/II	0,0	2,9	3,2	+
Eto 105/III	0,0	93,1		
Eto 105/IV	0,02	1,4		
Eto 106	0,0	1,3	3,8	+
Eto 107	0,05	11,0	20,6	+
Eto 111/1	0,0	22,1	10,1	+
Eto 111/II	0,24	27,6	14,1	+
Ugab 1	0,62	5,0	—	+
Ugab 2	0,0	2,3	—	+
Ugab 3	0,03	53,6		
Ugab 4	0,0	0,6	2,1	+
Ugab 5	1,44	37,5	14,8	+
Ugab 6	0,0	11,0	5,8	+
RuSWA	0,0	2,6	14,1	+
Ekuma				
Sandstein	0,15	53,4		
Ondundu CaC	0,0	100,0		

TABELLE 3: Statistische Parameter der Korngrößenverteilungen

Probennummer	$\bar{x}(\phi)$	$\sigma(\phi)$	$\alpha_3(\phi)$	Q ₂₅	Md	Q ₇₅	S ₀	S _p
Eto. 5/I	1.35	.58	.24	227	278	355	1.25	.59
Eto. 6/I	3.53	2.54	1.06	24	118	196	2.86	1.73
6/II	4.52	3.05	.46	2.6	82	163	7.92	2.23
Eto. 7	2.01	.88	1.46	133	181	246	1.36	.81
Eto. 10/II	2.43	1.69	2.25	102	167	246	1.55	1.11
Eto. 11	3.08	2.43	1.35	69	145	246	1.89	1.61
Eto. 12/I	2.55	1.99	2.29					
12/II	2.54	1.90	2.20	109	111	170	1.25	1.42
Eto. 13/I	1.75	1.05	1.90	151	231	320	1.46	.88
13/II	1.76	1.37	3.10	163	249	348	1.46	.95
13/III	1.70	1.13	2.28	170	251	341	1.42	.89
Eto. 14	5.15	3.20	.02	< 2	28	78	6.24	6.54
Eto. 16/I	2.16	1.45	3.09	133	189	267	1.42	.90
Eto. 17	4.70	2.48	.15	9	28	104	3.40	4.76
Eto. 22/I	2.37	1.20	2.04	109	160	217	1.41	.88
22/III	2.47	1.37	2.29	100	151	209	1.45	.91
Eto. 23/I	2.14	.99	1.55	118	167	236	1.41	.84
23/III	2.20	1.05	1.95	113	160	227	1.42	.91
Eto. 25	2.42	1.72	2.02	102	177	272	1.73	1.15
Eto. 26	5.39	2.82	0.00	2	21	92	6.78	5.52
Eto. 27/I	3.31	2.13	1.17	39	111	192	2.22	1.71
27/II	2.83	2.03	1.59	75	148	231	1.75	1.31
27/III	3.70	2.83	.89	12	131	222	4.30	1.88
27/IV	3.21	2.10	1.32	63	123	192	1.75	1.45
27/5	3.54	2.33	.81	20	109	200	3.16	1.96
27/VI	2.94	2.43	1.05	61	151	250	2.02	1.93
Eto. 28/I	1.99	1.15	2.74	142	196	278	1.40	.87
28/II	2.30	1.69	2.65	125	177	250	1.41	.99
Eto. 31/I	2.00	2.04	2.01	118	272	401	1.84	1.25
Eto. 32	4.16	2.83	.47	6.6	78	133	4.49	1.93
Eto. 33/I	5.24	2.37	-.19	5.6	19	67	3.46	4.12
33/III	4.88	1.78	.25	12	23	72	2.45	2.97
33/IV	4.49	2.73	.33	5.3	58	133	5.01	2.65
Eto. 34/I	2.86	1.95	1.97	80	136	205	1.60	1.13
34/II	2.84	2.11	1.93	87	151	217	1.58	1.07
Eto. 35	2.14	.99	2.69					
35/I	6.39	2.39	-.87	2.5	5	23	3.03	8.38
35/II	6.01	3.17	-.75	< 2	6.7	78	6.24	18.66
Eto. 38	4.95	2.31	.51	6.5	33	83	3.57	2.68
Eto. 39/I	8.14	1.75	-2.38	< 2	< 2	2.6	1.14	.70
39/II	8.42	1.23	-2.49	< 2	< 2	2.1	1.02	.35
Eto. 50	2.42	1.71	2.14	107	170	250	1.53	1.10
Eto. 51/I	2.31	1.21	2.48	109	160	227	1.44	.94
51/II	2.44	2.02	2.35	123	185	267	1.47	1.00
Eto. 53/I	4.15	2.32	.67	18	67	109	2.46	1.64
53/II	4.96	2.88	.08	3	24	133	6.66	6.70
53/III	2.36	2.23	1.54	133	222	348	1.62	1.28
Eto. 55	4.02	2.36	1.00	20	80	139	2.64	1.73
Eto. 56/II	2.07	1.89	1.25	96	217	395	2.02	1.70
56/IV	2.51	2.76	1.03	67	209	500	2.73	2.70
Eto. 57/I	5.18	2.68	.09	2.8	3	78	5.28	28.90
Eto. 58/II	7.07	2.77	-1.11	< 2	< 2	20	3.16	22.00
58/III	3.47	3.01	.80	20	133	314	3.96	2.74
Eto. 60/I	2.65	2.21	1.63	89	177	283	1.78	1.36
60/II	2.42	2.01	2.16	120	189	248	1.54	1.11
Eto. 61/IX	5.61	2.48	.01	2.5	17	69	5.25	4.71
Eto. 63/I	2.19	1.79	2.30	133	200	301	1.50	1.07
63/II	2.04	1.50	2.50	142	210	301	1.46	.93
Eto. 66/I	5.73	2.25	-.22	3.5	14	38	3.30	3.88
66/II	6.56	3.15	-.77	2	2	54	5.20	34.50

TABELLE 3 (Fortsetzung)

Probennummer	$\bar{x}(\phi)$	$\zeta(\phi)$	$\alpha_3(\phi)$	Q ₂₅	Md	Q ₇₅	S _O	S _P
Eto. 69/I	2.46	2.15	1.47	96	189	314	1.81	1.51
69/II	2.42	1.91	1.81	104	174	278	1.63	1.25
Eto. 72	2.92	2.48	1.62	83	167	293	1.88	1.53
Eto. 73 /I	1.90	1.62	2.46	133	227	347	1.62	1.18
73/II	1.87	1.50	2.50	139	217	327	1.53	1.12
Eto. 77/II	3.97	2.99	.56	8	113	250	5.59	2.46
77/III	2.57	2.25	1.90	104	181	278	1.72	1.20
77/IV	3.52	2.91	1.02	23	148	231	3.41	1.77
Eto. 78	3.04	2.16	1.76	79	145	200	1.66	1.04
Eto. 79	1.07	.97	.04	217	341	500	1.63	1.11
Eto. 80/I	2.21	2.49	1.00	72	170	578	3.24	4.08
80/VI	3.83	3.07	.46	9.6	83	261	5.84	4.05
Eto. 81/I	4.16	2.61	.31	13	51	139	3.27	3.36
81/II	4.00	2.86	.12	10.2	51	200	4.43	5.66
81/III	5.03	2.64	— .14	4	26	71	4.21	3.73
Eto. 82	2.12	1.71	1.63	92	222	355	1.96	1.38
Eto. 83/I	4.74	2.88	— .02	3.5	29	131	6.12	6.14
83/II	4.23	3.09	.27	3.8	67	222	7.64	4.27
Eto. 87/I	2.33	.82	2.84	112	151	189	1.30	1.88
87/I	2.40	1.05	3.71	106	145	181	1.31	.68
Eto. 88	5.82	2.41	— .44	4.3	8.2	63	3.83	10.73
Eto. 90/I	3.92	2.25	1.24	38	77	111	1.71	1.21
Eto. 91	2.42	1.62	.94	90	125	205	1.51	1.19
Eto. 92	2.53	2.57	.81	43	154	500	3.41	3.78
Eto. 94/I	2.99	1.91	1.64	69	118	181	1.62	1.20
94/II	2.84	1.95	1.79	78	136	200	1.60	1.11
94/IV	4.22	3.26	.53	< 2	94	189	9.72	2.44
Eto. 95/I	2.69	1.31	2.75	85	125	174	1.43	.87
95/II	2.50	1.24	2.90	96	140	192	1.41	.83
95/V	2.50	1.39	2.65	96	146	207	1.47	.93
95/VI	2.45	1.50	2.73	102	156	218	1.46	.91
Eto. 96/I	3.89	2.65	.79	20	81	163	2.85	2.24
96/IV	4.41	2.69	.48	6.3	61	136	4.65	2.52
Eto. 97/I	6.95	2.81	— .91	< 2	< 2	42	4.58	30.50
97/II	7.10	2.78	—1.03	< 2	< 2	32	4.00	26.50
Eto. 98/I	3.70	3.66	.33	2.5	94	500	14.14	7.22
98/II	6.48	3.34	— .81	< 2	< 2	77	6.20	52.00
98/III	3.56	3.28	.58	17	99	314	4.30	4.51
Eto. 99/I	4.79	2.04	.12	9.8	24	85	2.95	3.70
Eto. 101	2.02	.93	1.44	131	179	250	1.38	.87
Eto. 102/I	1.82	.90	1.10	143	209	299	1.44	.87
102/II	2.48	2.20	2.02	109	189	290	1.63	1.19
102/III	2.61	2.67	1.71	122	225	330	1.64	1.21
102/IV	1.75	1.22	1.65	139	219	343	1.57	1.25
102/V	2.28	2.04	2.35	125	203	301	1.55	1.08
102/VII	2.35	2.37	1.92	118	209	323	1.65	1.25
Eto. 104/I	4.26	2.77	.73	3.8	83	148	6.24	2.01
104/II	4.36	2.63	.37	6	63	147	4.95	2.75
Eto. 105/I	2.62	2.29	1.40	71	155	310	2.09	1.94
105/II	3.10	2.62	1.28	59	134	266	2.12	1.92
Eto. 106	1.94	1.97	1.58	100	218	451	2.12	2.03
Eto. 107	4.23	2.54	.45	9.8	60	142	3.81	2.83
Eto. 111/I	2.78	1.84	1.55	75	152	217	1.70	1.20
111/II	2.73	1.88	1.41	85	159	227	1.63	1.14
Ugab 1	3.53	1.60	.37	41	60	93	1.51	1.15
Ugab 2	.93	.54	— .16	306	383	462	1.23	.51
Ugab 4	1.65	.54	.04	189	231	278	1.21	.42
Ugab 5	5.62	2.49	.06	2.3	21	65	5.32	3.38
Ugab 6	4.26	1.55	1.28	25	46	73	1.71	1.28
RuSWA — 4	2.59	1.08	2.30	87	131	176	1.42	.86

TABELLE 4: Profile aus der Etoschpfanne

cm unter Oberfläche	
Eto 35	westlich Logan's Island; Oberfläche Trockenrisse
0 — 40	Lehm, bröckelig
40 — 60	lehmiger Ton
60 — 90	dito, frisch
90 +	Kalksandstein
Eto 39	südwestlich Leeunes
0 — 80	Lehm, frisch
80 — 250	lehmiger Ton, rostfleckig
250 +	kalkhaltiger Tonstein
Eto 53	zwischen Poacher's Point und der Halbinsel zwischen Andonibucht und Bucht von Stinkwater, Windrippeln auf Oberfläche
0 — 3	lehmiger Ton, trocken
3 — 70	lehmiger Ton, frisch
70 — 90	sandiger Lehm, feucht
90 — 180	lehmiger Ton
	darin
100	Wasser
130	Wasser
180 — 185	Ton, grün
185 — 190	Lehm, weißlich
190 — 260	sandiger Lehm
260 — 290	sandiger Lehm mit Kalksandsteinkiesen
290 — 350 +	sandiger Lehm
Eto 57	östlich Okondeka
0 — 30	lehmiger Ton, trocken
30 — 115 +	lehmiger Ton, frisch
Eto 58	Pfannenmitte zwischen Gonob und Oshingambo-Halbinsel, Sporobolus tenellus, Trockenrisse
0 — 20	lehmiger Ton, trocken
20 — 55	lehmiger Ton, frisch
55 — 85	Ton, kalkig, einzelne Kiese
85 — 140	Ton, kalkig
140 — 185	warwiger Ton, kalkig
185 — 190	dito, feucht
190 — 215	stark sandiger Lehm
	darin
200	Wasser
215 — 275 +	Lehm
	darin
250	Wasser
Eto 66	17 km östlich Oshingambo-Halbinsel
0 — 15	lehmiger Ton, trocken
15 — 85	lehmiger Ton, grün, feucht
85 — 100	Ton, Fe-haltige Konkretionen
100 — 105	sandiger Lehm, 1 Sandsteinkies
105 — 115	Lehm
115 — 130	lehmiger Ton, Sandsteinkiese
130 — 135	lehmiger Ton, einzelne Sandkörner
135 — 140 +	lehmiger Ton, warwig, einzelne Sandkörner
Eto 188	östlich Okondeka
0 — 8	lehmiger Ton, trocken
8 — 30	lehmiger Ton, frisch
30	Sandsteinkiese
30 — 60	sandiger Lehm
60 — 105 +	lehmiger Ton

TABELLE 5: Ökomorphodynamische Interpretation der 14C-datierten events

ka BP	
> 33,9	einzelne events
33,9 — 26,9	Stabilitätszeit
26,9 — 22,7	Aktivitätszeit
22,7 — 18,1	Stabilitätszeit
18,1 — 11,9	Aktivitätszeit
11,9 — 9,2	Stabilitätszeit
< 9,2	Aktivitätszeit
(darin 3,5	äolische Formung)

TABELLE 6: Kommentierte Gelände- und Laboraten der radiometrisch untersuchten Profile

Gelände		Labor				korrigiertes Alter B.P.
Proben- nummer	Material	Labornummer Pta	CaCO ₃ %	Δ 13C o/oo	14C %	
ENGURUVAU (14,15° E / 18,98° S) Eto 83						
83 I	fluviales Sediment, aufgekalkt	—	—	—	—	—
83 II	Bvca-Horizont in fluvialem Sediment	3103	13,9 (PT)	— 3,5	33,17 ± 0,35	9 210 ± 90
83 III	fluviales Sediment, aufgekalkt	3058	39,4 (PT)	— 4,4	2,94 ± 0,18	28 600 ± 480
83 IV	Bvca-Horizont in fluvialem Sediment	3074	20,3 (PT)	— 2,4	1,84 ± 0,18	32 500 ± 800
<i>Kommentar: Fluvial-pluvialer Akkumulationskörper. Zwei fossile Böden und ein reliktscher Boden dokumentieren Hiate in der Aufschüttungsfolge</i>						
OKATJANGEE (14,38° E / 18,86° S) Eto 85						
85 I	sandiger Calcrete	3060	38,3 (PT)	— 7,9	0,16 ± 0,15	43 500
85 II	knolliger Calcrete	3133	72,1 (PT)	— 7,7	1,86 ± 0,19	32 300 ± 820
85 III	Kalksandstein	3104	41,8 (PT)	— 7,6	0,15 ± 0,16	> 43 300
85 IV	hardpan calcrete	3039	79,4 (PT)	— 2,8	6,18 ± 0,18	22 700 ± 240
<i>Kommentar: 85 I—III tsammen aus einem >10m mächtigen Calcrete-Profil unmittelbar an der Großen Randstufe. Das Datum 32 300 kann in seiner stratigraphischen Position zwischen zwei Proben mit radiometrischen Maximalaltern nur als pedogen verjüngterter Calcrete verstanden werden. Es dokumentiert polyphasige Entwicklung des Calcrete-Profiles. Das Datum 22 700 beendet eine Phase kräftiger Hangabtragung und Talbildung an der Großen Randstufe</i>						
KAROSS (14,53° E / 19,39° S) Eto 93						
93	sandiger Calcrete	3040	18,2 (PT)	— 1,7	31,95 ± 0,38	9 540 ± 100
<i>Kommentar: Der pedogene Calcrete am Fuß eines von granitischen Inselbergen überragten Talhanges dokumentiert das Ende einer vorausgegangenen Phase der Hangabtragung</i>						
LOGAN'S ISLAND (15,88° E / 18,78° S) Eto 35, 36						
35 I	lehmiges Pfannensediment	—	3,8 (GI)	—	—	—
35 II	tonig-lehmiges Pfannensediment	—	6,6 (GI)	—	—	—
35 III	Kalksandstein	3066	51,3 (PT)	+ 0,8	0,94 ± 0,18	37 900 ± 1500
36	Schnecken in Düne	—	—	—	—	—
<i>Kommentar: Der evaporitische Kalksandstein dokumentiert die Existenz der Etoschapfanne 37 900 an dieser Stelle. Die gut erhaltene (undatierte) Düne (36) ist bewachsen (Sporobulus spicatus) und dokumentiert eine junge Phase äolischer Morphodynamik</i>						

TABELLE 6 (Fortsetzung)

(1)

Gelände		Labor				korrigiertes Alter B.P.
Proben- nummer	Material	Labornummer Pta	CaCO ₃ %	Δ 13C o/oo	14C %	
KAPUPUHEDI (16,02° E / 19,13° S) Eto 19, 20						
19	Seekreide	3041	51,9 (PT)	+ 0,3	23,79 ± 0,34	11 900 ± 120
20	toniger Calcrete	3046	51,3 (PT)	- 3,6	11,02 ± 0,26	18 100 ± 190
<i>Kommentar: 19 dokumentiert einen See in der Etoschappanne, 20 eine Stabilitätsphase. Da die Seekreide im Niveau der gegenwärtigen Pfanne existiert in Nachbarschaft zu 20, kann die beobachtete Pfannenausweitung durch scarp retreat (s. Fig. 2., calcrete lose vor Eto 20) seit 11 900 nicht bedeutend gewesen sein</i>						
OSHIMBANGÖ-HALBINSEL (16,11° E / 18,65° S) Eto 61						
61 I	sandiger, knolliger Calcrete, mit Schnecken, löchriger Oberfläche, in Klüften Bodensedimente	3134	60,0 (PT)	- 0,6	1,97 ± 0,19	32 000 ± 780
61 II	Calcrete mit Kalzedonknollen, mit Schnecken, Lösungskleinstformen auf Oberfläche mit ca-Kutanen	3140	70,0 (PT)	+ 0,4 + 0,2	2,96 ± 0,20 3,15 ± 0,35	28 700 ± 550 fr 1 28 200 ± 890 fr 2
61 III	sandiger hardpan calcrete mit Kalzedonknollen, Karstrillen auf Oberfläche	—	79,0 (GI)	—	—	—
61 IV	Kalksandsteinbank	—	79,4 (GI)	—	—	—
61 V	lateral zu 61 IV, klüftiger Calcrete mit Kalzedonknollen, in Klüften Bodensedimente	—	82,1 (GI)	—	—	—
61 VI	≅ 61 IV	—	74,8 (GI)	—	—	—
61 VII	Kalksandstein in Etoschappanne	3047	56,7 (PT)	+ 0,4	0,33 ± 0,13	46 300 ± 4060 / 2680
61 VIII	Kalksandstein	—	26,3 (GI)	—	—	—
61 IX	sandiges Pfannensediment	—	—	—	—	—
61 X	mürber sandiger Calcrete, lateral versetzt	—	37,6 (GI)	—	—	—
<i>Kommentar: 61 I dokumentiert eine Stabilitätsphase. — 61 II liegt stratigraphisch unter 61 I, ergibt aber ein jüngeres Datum. Da für 61 II 2 Messungen mit vergleichbaren Werten vorliegen, dokumentiert die Probe wahrscheinlich eine Verjüngung innerhalb des Calcreteprofils. Problematisch ist der positive Δ13C o/oo, da er eigentlich nicht als pedogen interpretiert werden kann. — 61 VII dokumentiert die Existenz der Etoschappanne hier, außerdem im Vergleich zum topographisch höher gelegenen 61 II, daß die Pfanne bereits damals eine Abtragungshohlform gegenüber der umgebenden Landoberfläche war</i>						
ONDONGAB (16,15° E / 19,07° S) Eto 21						
21 I	Seekreide	3042	58,5 (PT)	+ 0,5	7,37 ± 0,21	21 400 ± 230
21 II	Kalksandstein	3065	94,3 (PT)	+ 1,2	2,21 ± 0,20	31 000 ± 710
21 III	zur Hamada umgeprägter Kalksandstein	3052	89,4 (PT)	- 0,7	1,54 ± 0,14	33 900 ± 730
<i>Kommentar: 21 II, III werden als events eines Calcrete-Profiles verstanden, das durch pluviale Abtragung (Ausweitung der Etoschappanne) zerstört worden ist, 21 I dokumentiert die Existenz der Etoschappanne hier und gibt damit einen Zeitpunkt im Zuge der Zerstörung des Calcrete Profils</i>						

TABELLE 6 (Fortsetzung)

(2)

Gelände		Labor				korrigiertes Alter B.P.
Proben- nummer	Material	Labornummer Pta	CaCO ₃ , %	Δ 13C o/oo	14C %	
POACHER'S POINT (16,52° E / 18,58° S) Eto 69, 276, 277						
69 I	Hangschutt, Ah-Horizont, durchwurzelt	—	4,3 (GI)	—	—	—
69 II	Bv-Horizont in Hangschutt, Stromatolithen	—	10,8 (GI)	—	—	—
69 III	Kalksandstein	—	24,8 (GI)	—	—	—
69 IV	dito	—	27,3 (GI)	—	—	—
69 V	Schnecken in Hangschutt	—	—	—	—	—
276	im Niveau der Etoschapfanne angereicherte Stromatolithen	—	—	+ 4,1	—	37 600 ± 940 oder älter
277	dito	—	—	+ 4,0	—	>42 000 fr 1
				+ 4,2	—	>44 700 fr 2
				+ 4,4	—	>41 700 fr 3

Kommentar: Die Stromatolithen dokumentieren eine sehr alte lacustrine Phase. Obwohl sie im gegenwärtigen Niveau der Etoschapfanne existieren, sagen sie nichts über die Existenz der Pfanne aus (Maximalalter). Im Vergleich zu 69 II handelt es sich vielmehr um denudativ aus dem Hang von 69 umgelagerte Stromatolithen (vgl. Eto 56)

ANDONI BAY (16,65° E / 18,52° S) Eto 27

27 I	Ah-Horizont unter Sporobulus spicatus, Sand	—	2,5 (GI)	—	—	—
27 II	Bv ₁ -Horizont, Wurzelgänge, Einzelkorn- gefüge, einzelne Krümel	—	9,7 (GI)	—	—	—
27 VU	ca-Cutane in Sand	3044	16,9 (PT)	+ 1,3	—	—
27 V	Bv ₂ -Horizont, durchwurzelt, plattiges Gefüge	—	3,7 (GI)	—	—	—
27 III	Kalkhaltiger Sand	3105	2,7 (PT)	— 0,3	67,92 ± 1,02	3 510 ± 120
27 IV	anlehmiger, kalkhaltiger Sand	—	3,9 (GI)	—	—	—

Kommentar: Der event 3510 entstammt einer bewachsenen und pluvial zerschnittenen Düne im Barhanfeld der Andonibucht. Die Δ13C o/oo-Messung ergibt keine eindeutige Aussage. Entweder handelt es sich bei dem Kalk um umgelagertes Pfannensediment oder um eine pedogene Anreicherung. In jedem Falle dokumentiert die Düne eine holozäne Phase intensiver äolischer Formung (E-SE-Winde), die entweder zeitgleich mit Flutungen der Etoschapfanne stattfand oder einer Stabilisierung der Düne durch Bodenbildung zeitlich vorausging

TABELLE 6 (Fortsetzung)

(3)

Gelände		Labor				korrigiertes Alter B.P.
Proben- nummer	Material	Labornummer Pta	CaCO ₃ %	Δ 13C o/oo	14C %	
INSEL (16,69° E / 8,52° S) Eto 56						
56 I	grobbankiger Kalksandstein	3131	62,4 (PT)	— 0,7	3,71 ± 0m23	26 900 ± 490
56 II	Kalksandstein in dünnen Lagen, Kalzedonknollen, lateral übergehend in knolliger Kalksandstein	3059	65,4 (PT)	— 0,9	6,45 ± 0,19	22 400 ± 240
56 V	knolliger Kalksandstein	3048	38,3 (PT)	— 0,1	2,41 ± 0,19	30 300 ± 720
56 III	knolliger Kalksandstein mit Pedotubern, ca-Cutanen	3100	41,8 (PT)	— 0,3	1,90 ± 0,18	32 200 ± 700
56 IV	Stromatolithen in mürbem Kalksand- stein	3035	88,6 (PT)	+ 2,8	0,79 ± 0,14	39 300 ± 1470 fr 1
		3036		+ 3,7	0,34 ± 0,18	>40 000 fr 1
		3037	59,9 (PT)	—	—	— matrix
		3038	9,5 (PT)	+ 3,4	0,54 ± 0,13	42 400 ± 1950 nodules
56 VI	sandiger Calcrete	3053	87,3 (PT)	— 2,2	8,92 ± 0,20	19 800 ± 180

Kommentar: Radiometrisch und stratigraphisch dokumentiert das Profil eine Aufschüttungssequenz, die durch pedogene Phasen unterbrochen worden ist. 56 II kann stratigraphisch als Verjüngung des Profils verstanden werden. 56 IV (Stromatolithen) dokumentiert eine lacustre Phase. WILCZEWSKI/MARTIN (1972) vermuteten, daß diese Phase pliozän sei. Es ergeben sich folgende Probleme: 1. Die Stromatolithen existieren 8m über dem Niveau der Etoschapfanne. — 2. Bis 19 800 ist auf der Insel akkumuliert worden, danach ist die Insel als Insel in der Etoschapfanne herauspräpariert worden. Im Modell der Superpfannenbildung (Cap. 3.3) kann dieser scheinbare Widerspruch eventuell gelöst werden.

CHUDOP (16,53° E / 18,87° S) Eto 29,30

29	Quellsinter mit Pflanzenfossilien	—	98,0 (GI)	—	—	—
30	mürber Calcrete mit Schnecken	3050	93,6 (PT)	— 3,1	28,78 ± 0,33	10 400 ± 90

Kommentar: Der in Zerstörung begriffene pedogene Calcrete dokumentiert eine Stabilitätsphase. Der Quellsinter dokumentiert kräftigere Schüttung der Quelle von Chudop

NAMUTONI (16,94° E / 18,86° S) Eto 103

103 I	Schnecken in Bv-Sediment auf Quellsinter	—	—	—	—	—
103 II	Quellsinter mit Pflanzenfossilien in situ	—	96,1 (GI)	—	—	—
103 III	dito, umlagert auf Außenwall	—	98,5 (GI)	—	—	—
103 IV	Quellsinter mit Pflanzenfossilien auf Innenseite des Walles, in situ	3043	100 (PT)	— 7,0	32,53 ± 0,36	9 310 ± 90

Kommentar: Der event 103 IV dokumentiert einen höheren Wasserstand der Namutoniquelle 9310 B.P.

PT = Messung im NPRL, CSIR Pretoria

GI = Messung im Inst. Geogr. Univ. München

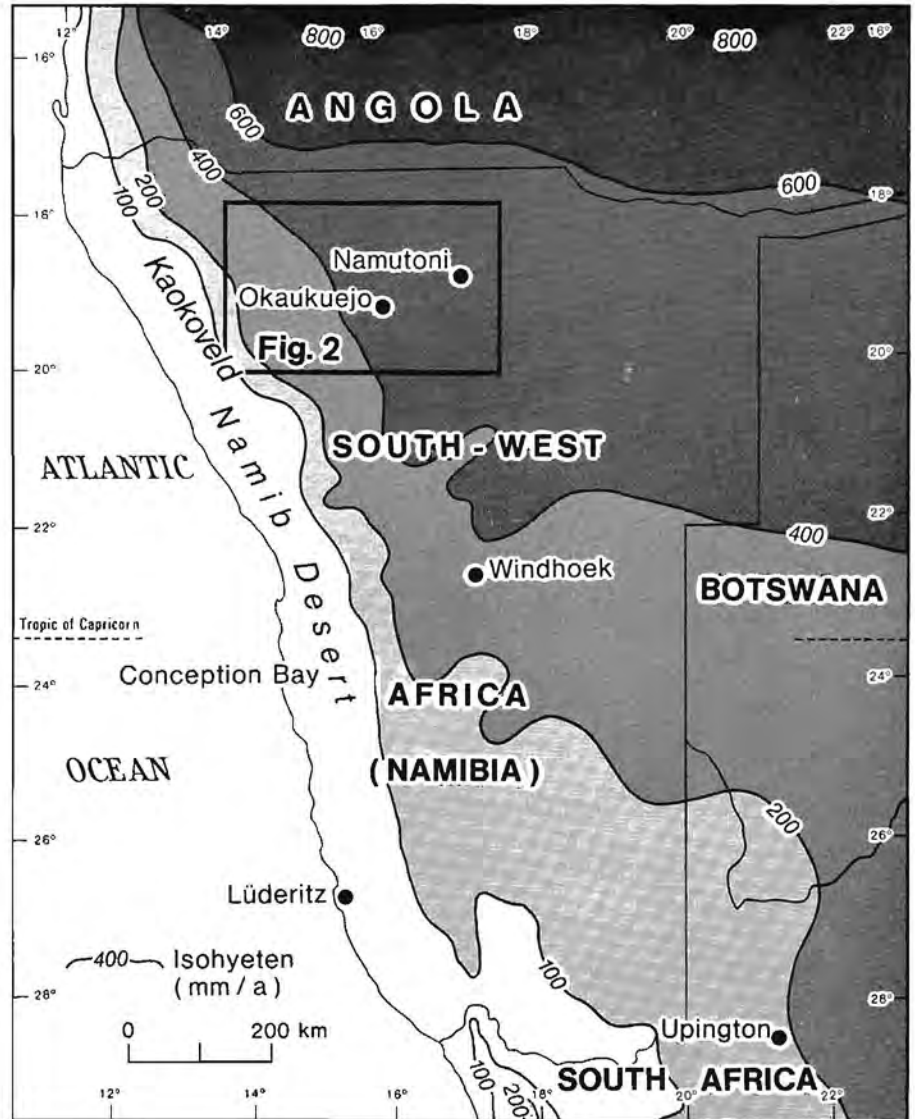
TABELLE 7: Δ 13C oo/o — Messungen der Proben

1. Negative Werte

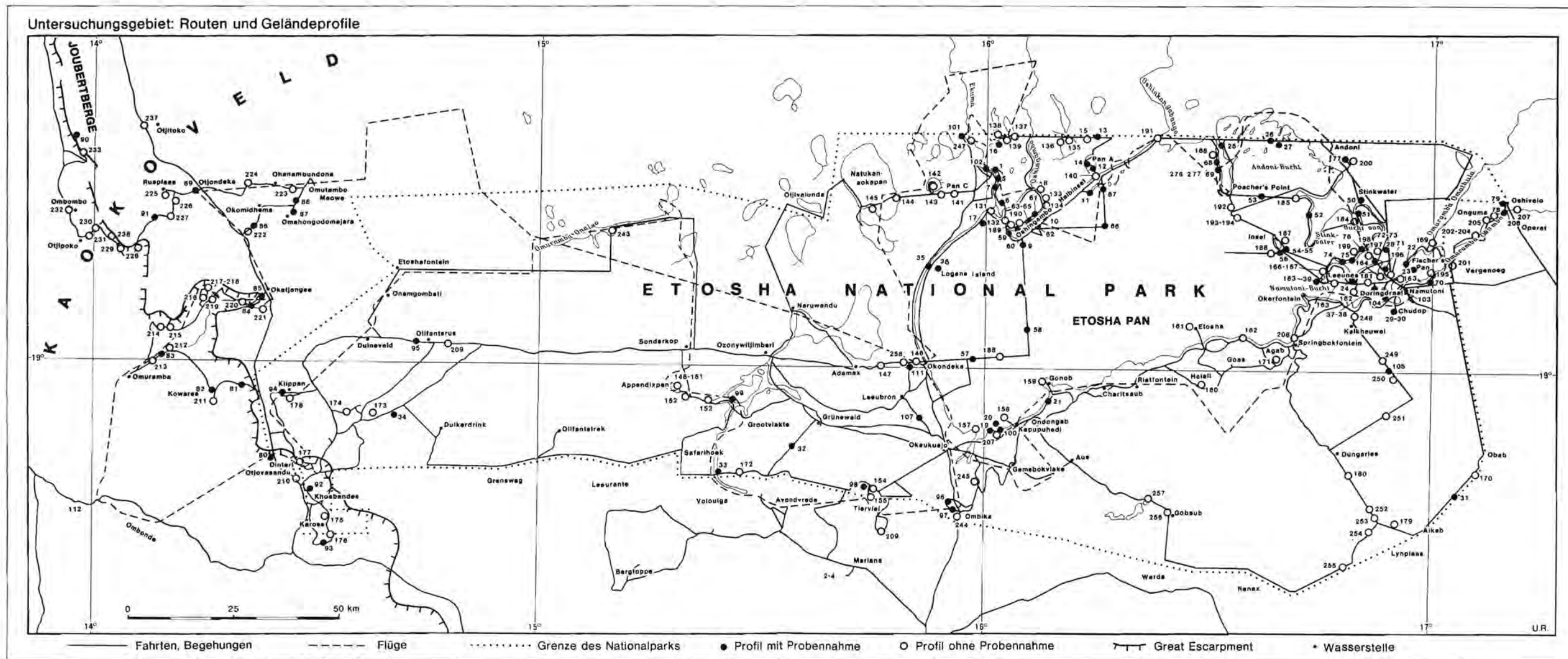
Δ 13C oo/o	Labor- nummer Pta	Proben- nummer	Material
— 7,9	3060	85 I	pedogener Calcrete
— 7,7	3133	85 II	pedogener Calcrete
— 7,6	3104	85 III	pedogener Calcrete
— 7,0	3043	103 IV	Quellsinter
— 4,4	3058	83 III	pedogener Calcrete
— 3,6	3046	20	pedogener Calcrete
— 3,5	3103	83 II	pedogener Calcrete
— 3,1	3050	30	pedogener Calcrete
— 2,8	3039	85 IV	pedogener Calcrete
— 2,4	3074	83 IV	pedogener Calcrete
— 2,2	3053	56 VI	pedogener Calcrete
— 1,7	3040	93	pedogener Calcrete
— 0,9	3059	56 II	pedogener Calcrete
— 0,7	3131	56 I	pedogener Calcrete
— 0,7	3052	21 III	pedogener Calcrete
— 0,6	3134	61 I	pedogener Calcrete
— 0,3	3100	56 III	pedogener Calcrete
— 0,3	3105	27 III	Bvca-Horizont
— 0,1	3048	56 V	pedogener Calcrete

2. Positive Werte

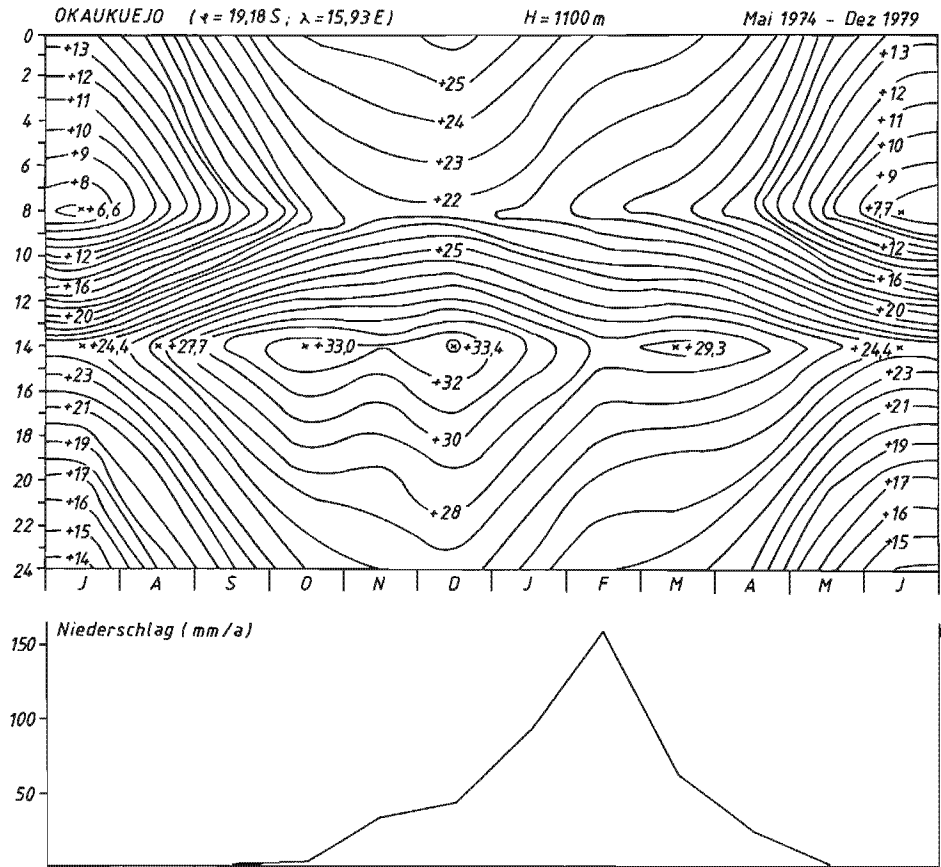
+ 0,2	3140	61 II fr 1	pedogener Calcrete
+ 0,4	3047	61 VII	evaporitischer Kalksandstein
+ 0,3	3041	19	Seekreide
+ 0,4	3140	61 II fr 2	pedogener Calcrete
+ 0,5	3042	21 I	Seekreide
+ 0,8	3066	35 III	evaporitischer Kalksandstein
+ 1,2	3065	21 II	pedogener Calcrete
+ 1,3	3044	27 VI	Bvca-Horizont
+ 2,8	3035	56 IV fr 1	Stromatolith
+ 3,7	3036	56 IV fr 2	Stromatolith
+ 3,4	3038	56 IV	Stromatolith
		nodules	Stromatolith
+ 4,0		277 fr 1	Stromatolith
+ 4,1		276	Stromatolith
+ 4,2		277 fr 2	Stromatolith
+ 4,4		277 fr 3	Stromatolith



FIGUR 1: Lage des Untersuchungsgebietes. Jahresmittel des Niederschlags im südwestlichen Afrika (nach Climatological Atlas of Africa 1961).

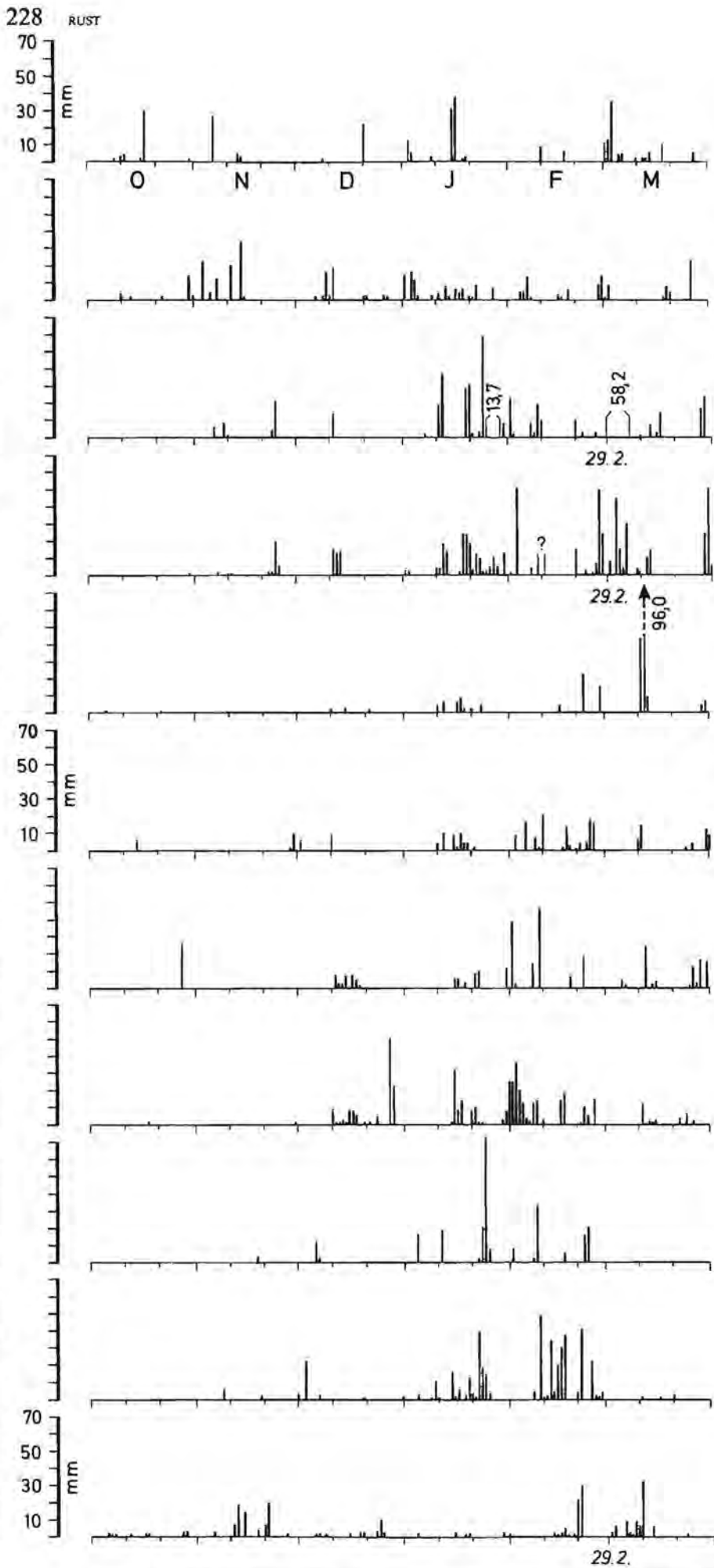


FIGUR 2:



FIGUR 3: Thermoisoplethen-Diagramm von Okaukuejo und mittlere monatliche Niederschläge (konstruiert nach Daten in Weather Bureau 1974—1983, Berry 1980, Originalaufzeichnungen in Okaukuejo).

FIGUR 4: Niederschlagsereignisse an den Stationen Otjovasandu und Okaukuejo, Oktober-März 1974/75 bis 1979/80 (nach Originalaufzeichnungen in Okaukuejo).



1974/75
Otjovasandu
 Σ 308 mm

Okaukuejo
 Σ 340,7 mm

1975/76
Otjovasandu
 Σ 442,4 mm

Okaukuejo
 Σ (?) 595,2 mm

1976/77
Otjovasandu
 Σ 245,8 mm

Okaukuejo
 Σ 219,2 mm

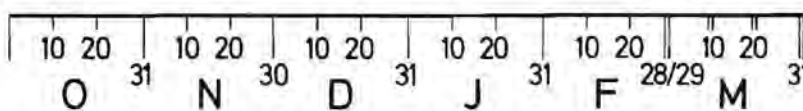
1977/78
Otjovasandu
 Σ 302,1 mm

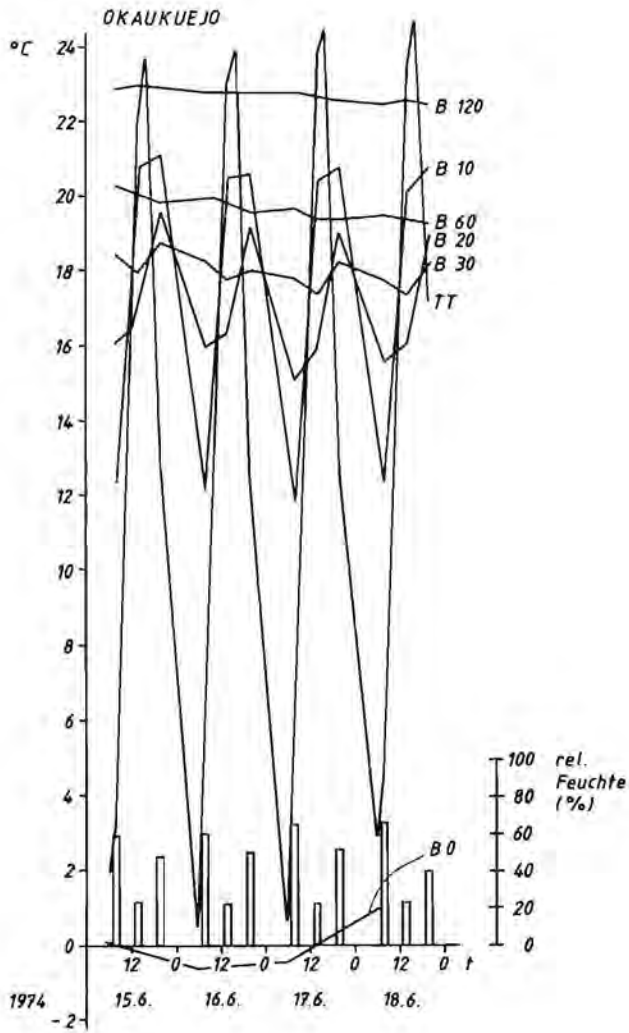
Okaukuejo
 Σ 455,1 mm

1978/79
Otjovasandu
 Σ 234,4 mm

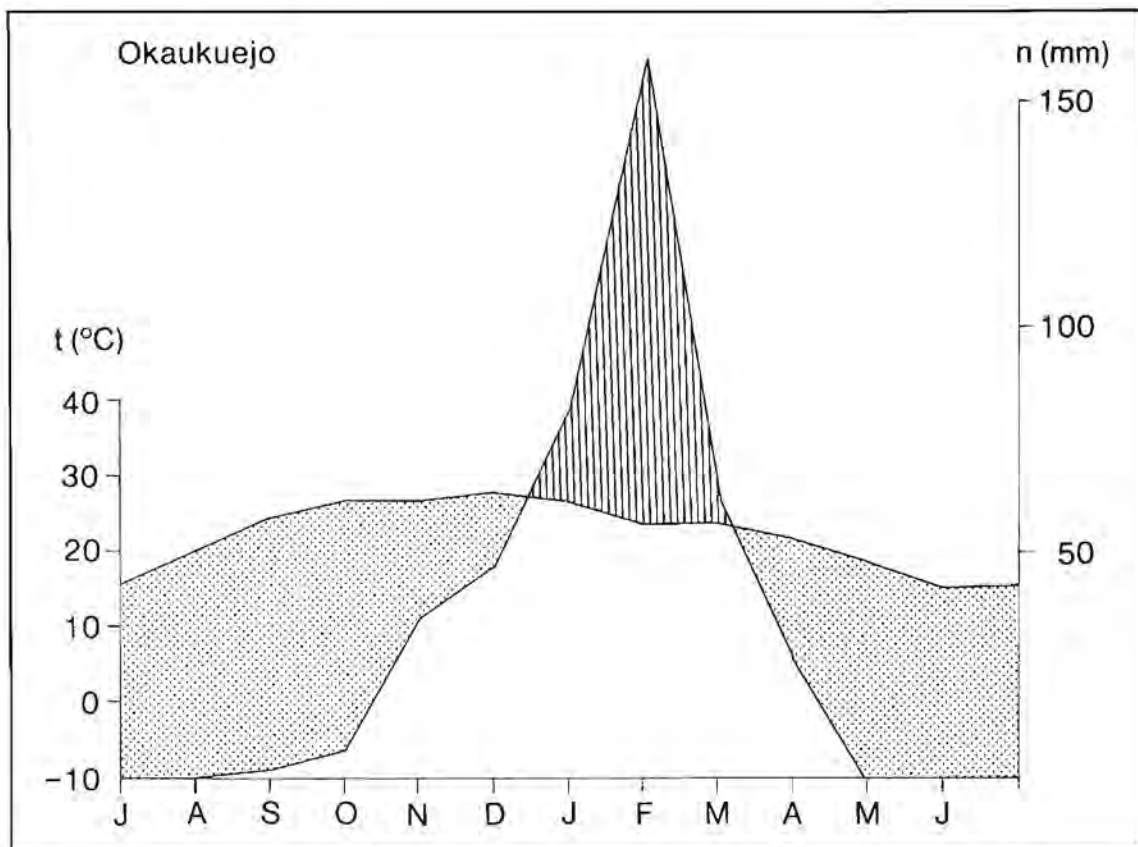
Okaukuejo
 Σ 437,9 mm

1979/80
Okaukuejo
 Σ 245,9 mm

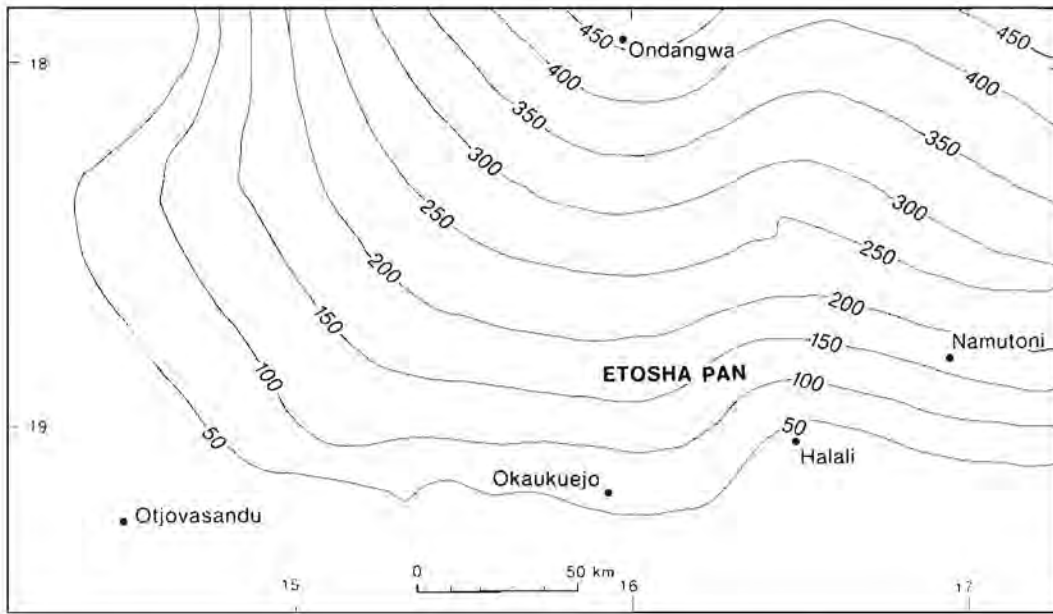




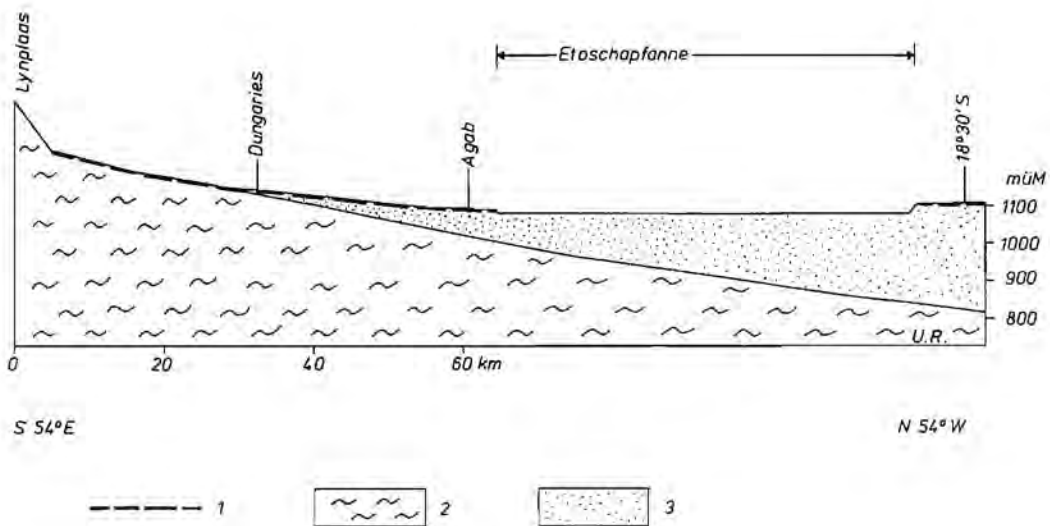
FIGUR 5: Temperaturen und relative Feuchte (Terminablesungen) während einer winterlichen Periode mit Frost in Okaukuejo. B 0, 10, 20, 30, 60, 120 = Bodentemperaturen 0, 10, 20, 30, 60, 120 cm unter Oberfläche, TT = Wetterhütte (trockenes Thermometer) (nach Originalaufzeichnungen in Okaukuejo).



FIGUR 6: Klimadiagramm von Okaukuejo. Trockengrenze $12n = 20(t + 10)$ (nach Lauer 1952). Schraffiert = humide Monate, punktiert = aride Monate.



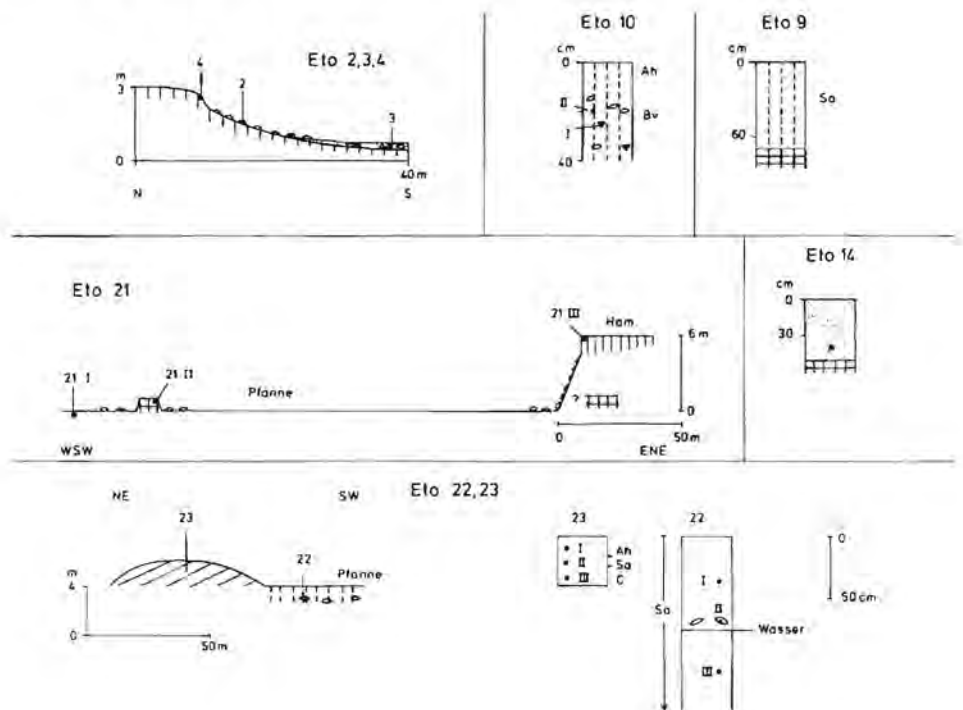
FIGUR 7: Isopachen (in Meter) der „Kalahari“ -Formation im südwestlichen Ovambolandbecken (vereinfacht nach Hedberg 1979).



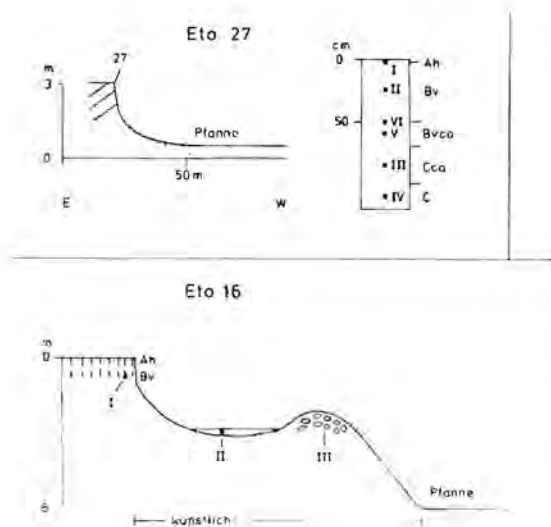
FIGUR 8: Geologisches Profil über die zentrale Eroschapfanne. — 1 = Calcrete (Kalkkruste), 2 = Präkalahariformationen (soweit oberflächlich anstehend = Otaviformalion), 3 = Kalahari Folge (Kalaharibasis nach Hedberg 1979, Höhen/Distanzen aus Top. Karten 1 : 250 000, Ausstreichen von Kalahari nach eigener Beobachtung).

- 1 Calcrete (= ca - Kruste)
- 2 Kalksandstein
- 3 loser Calcrete
- 4 pluvial / fluviales Sediment
- 5 gemischt äolisch - fluviales / pluviales Sediment
- 6 äolisches Sediment
- 7 konglomeratische Fazies bzw. Schotter
- 8 Grundgebirge (je nach Formation)
- 9 Stromatolithen
- 10 Schnecken
- 11 Probennahme

FIGUR 9: Gemeinsame Legende für die Geländeprofile Eto in Fig. 10.—26., 54., 55. Zur Lage der Geländeprofile vgl. Fig. 2.



FIGUR 10:



FIGUR 11: