

PALAEOECOLOGY OF AFRICA AND THE SURROUNDING ISLANDS

VOLUME 18

Edited by

J.A.COETZEE (D.Sc.)

Department of Botany, University of Orange Free State, Bloemfontein

OFFPRINT



A.A.BALKEMA / ROTTERDAM / BROOKFIELD / 1987

Palaeoecology of Africa – and the surrounding islands

(E.M. van Zinderen Bakker & J.A. Coetzee, eds. (1966–1986)

& K. Heine, ed. (1987–)

1966–, 22 cm, c.250 pp., Hfl.105/\$55.00/£31.50 per volume

Annual publication. Comprehensive & up-to-date information on research in many different disciplines which give an overall insight into the environmental history of Africa. Volumes 1, 2, 3, 4 & 5 are out of print. Editors: Institute of Environmental Sciences, University of Bloemfontein.

Volume 6 – Africa: 1969–71. 75 reports on non-palynological information. 1972, 312 pp., 0 86961 034 1.**Volume 7 – Africa: 1969–71.** A.C. Hamilton: Pollen diagrams from E Africa & 17 reports. 1972, 222 pp., 0 86961 035 X.**Volume 8 – Proceedings of the Scientific Committee on Antarctic Research Conference on Quaternary Studies, Canberra, 9–12 August 1972.** 1973, 208 pp., 0 86961 032 5.**Volume 9 – Africa: 1972–74.** 36 reports & 4 articles. 1976, 231 pp., 0 86961 082 1.**Volume 10 – Africa: 1975–77.** 20 contributions on new research in S Africa. 1978, 200 pp., 90 6191 028 5.**Volume 11 – Africa: 1975–77.** 23 contributions on northern & eastern Africa. 1979, 245 pp., 90 6191 037 4.**Volume 12 – Sahara and surrounding seas: Sediments and climatic changes (Proceedings of an international symposium, Mainz, 1–4 April 1979),** edited by M. Sarnthein, E. Seibold & P. Rognon. 32 contributions. Editors: University Kiel & University Paris. 1980, 416 pp., 90 6191 050 1.**Volume 13 –** 19 contributions. 1981, 290 pp., 90 6191 203 2.**Volume 14 –** 16 contributions on: Glacial sequence of Mt. Kenya; Temperature changes & biogeography of the Sahara; Lake level changes in Ethiopia; Discharge of Senegal River & drought in Sahel; etc. 1982, 186 pp., 90 6191 204 0.**Volume 15 – Southern African Society for Quaternary Research, proceedings of the 6th biennial conference, Pretoria, 26–29 May 1981,** (J.C. Vogel, E.A. Voigt & T.C. Partridge, eds.). 25 papers: Caves & fossil sites; Palaeoclimates; Ceno-zoic stratigraphy; Namib. 1982, 235 pp., 90 6191 257 1.**Volume 16 –** 30 contributions on oceans & ocean margins; Sahara & West Africa; Kenya; Malaŵi; Southern Africa. Basic information on the parameters that determine the present. 1984, 488 pp., 1 color map, 90 6191 510 4.**Volume 17 – Southern African Society for Quaternary Research, Proceedings of the 7th biennial conference held at the University of Stellenbosch, 29 March–3 April 1985.** (E.M. van Zinderen Bakker, J.A. Coetzee & L. Scott, eds.). Geology, geomorphology, palynology, palaeontology & archaeology in the fynbos region, southern-most Africa; Pans; Historical biogeography. 1986, 272 pp., 90 6191 625 9.**Volume 18 –** 32 contributions: Climatology; Oceanography; Palaeoenvironments of desert, East Africa, Central & West Africa, Southern Africa & the Islands; Anthropology; Archaeology. 1987, 460 pp., 90 6191 689 5.

*All books available from
your bookseller or from:*

A.A. Balkema
P.O.Box 1675
Rotterdam
Netherlands

&

A.A. Balkema Publisher
Old Post Road
Brookfield, VT 05036
USA

ZUM ALTER JUNGQUARTÄRER SEESPIGELSCHWANKUNGEN IN DER MITTLEREN KALAHARI, SÜDLICHES AFRIKA

K. HEINE

Institut für Geographie, Universität Regensburg, FR Germany

ABSTRACT

The age of late Quaternary lake-level fluctuations in the Middle Kalahari, southern Africa.

The late Quaternary lake-level fluctuations in the Middle Kalahari (Lake Ngami, Mababe Depression, Makgadikgadi Basin) are discussed. The most valuable survey of the geomorphology, younger Kalahari Bed stratigraphy, sedimentology, and palaeontology published in 1904 by Passarge is used as basic reference. Additional data from field-work, laboratory analyses and radiocarbon age determinations supplement Passarge's observations. Furthermore, all available radiocarbon dates of the region are used to support the final conclusions of this review. All results tend to indicate that we have to distinguish between periods with brackish water bodies, fresh water lakes, and dry pans or basins. During the Late Quaternary brackish environments were typical for the pans apart from a few episodes. The Holocene is characterized by greater aridification (dessication of lakes) with only a few minor lake-level fluctuations.

The vast Ngami-Makgadikgadi area did not show synchronous fluctuations in lake-level; the Gidikwe Ride west of the Makgadikgadi basin seems to be a geomorphic feature separating the old Makgadikgadi pans that existed at least since the Middle Pleistocene from the Ngami-Boteti area. The latter was flooded with brackish lakes up to the 936 m level before 30 000 years BP and 25 000-c. 14 000/12 000 years BP; during these periods the Makgadikgadi pans were not occupied by huge brackish water bodies. Fresh water lakes existed c. 30 000-25 000 yrs BP in the Ngami-Mababe-Boteti area as well as in the Makgadikgadi basin; because of lack of field evidence we cannot decide yet whether both areas were inundated by one huge lake or by two lakes with different lake levels. Other fresh water episodes occurred around 20 000 to 19 000 yrs BP and c. 12 000 yrs BP in the western Makgadikgadi basin.

The Ngami-Mababe-Boteti area southeast of the Okavango Delta derived much of its water from the local and the Angolan catchment; therefore fluctuating brackish high-level lakes could even exist during the late glacial

maximum when most of the Makgadikgadi basin had dried up.

The lacustrine landforms have attracted wide ranging palaeoenvironmental interpretations. The results may settle the controversy concerning the palaeo-environmental reconstructions of the Middle Kalahari since the concepts of very humid as well as of very arid Lake Quaternary climates must be questioned. The Middle Kalahari experienced semi-arid climates throughout the Lake Quaternary with only gradual modifications to more humidity or more aridity.

EINLEITUNG

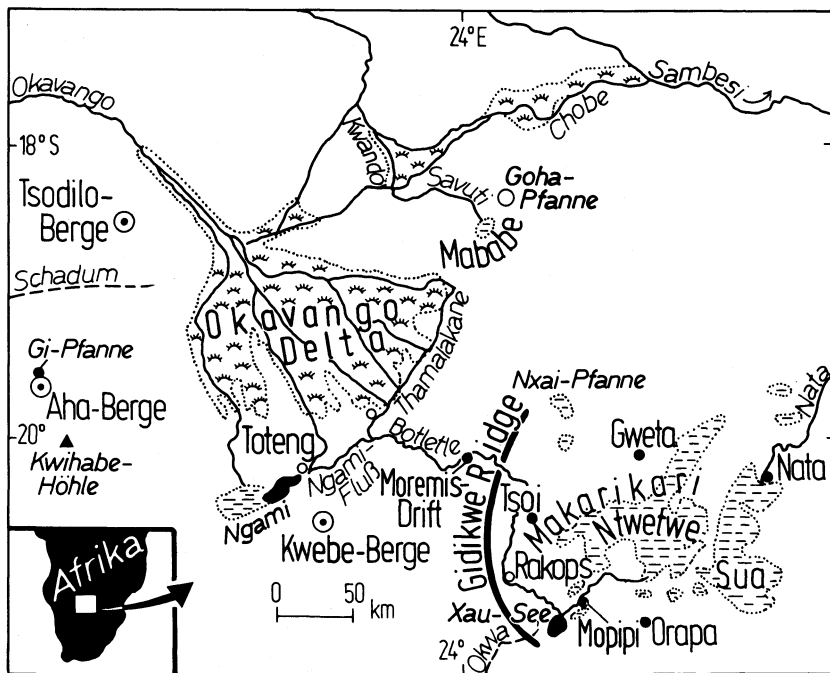
In jüngster Zeit ist wiederholt versucht worden, jungquartäre Klima- und Landschaftsrekonstruktionen für die Kalahari zu erstellen (Heine 1982, Van Zinderen Bakker 1982, Cooke & Verstappen 1984, Deacon, Lancaster & Scott 1984). Besonders schwierig erwies sich dabei, Einigkeit über die Ausdeutung der Paläoenvironment-Indikatoren zu erzielen. Allein eine vorsichtige Interpretation und Zusammenschau möglichst vieler Paläoenvironment-Indikatoren kann zu richtungsweisenden Ergebnissen führen. Beispielhaft sind die Arbeiten von E.M.van Zinderen Bakker Sr, der sich stets bemühte, die Ergebnisse aller mit der Paläoökologie befassten Disziplinen in seine Betrachtungen einzubeziehen; seine zusammenschauenden Darstellungen zum Klima- und Landschaftswandel im südlichen Afrika sind daher immer von besonderem Wert gewesen. Meinem Freund und Kollegen Eduard M.van Zinderen Bakker sei dieser Beitrag zum 80. Geburtstag gewidmet.

Nachfolgend sollen die jungquartären Seespiegelschwankungen in der Mittleren Kalahari (Fig. 1) erneut vor dem Hintergrund der Angaben Passarges (1904) und eigener Gelände- und Laboranalysen diskutiert werden.

FORSCHUNGSSTAND

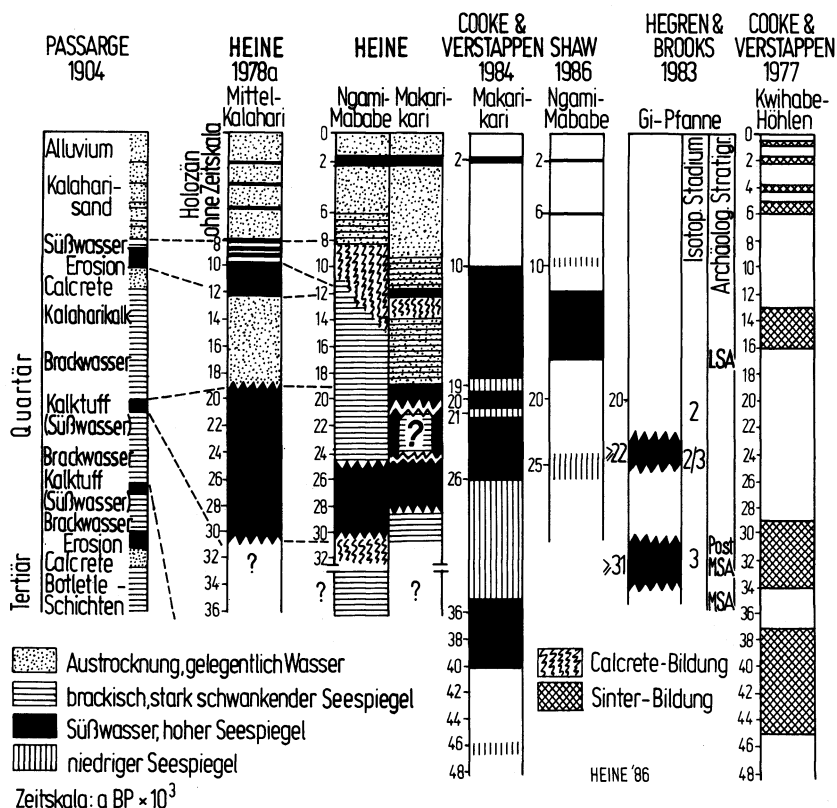
Für die Kalahari, dem zentralen Gebiet des ariden Inneren Südafrikas, spielt die Datierung einer innerwürmzeitlichen Feuchtphase eine grosse Rolle. Zwei Modelle werden diskutiert: 1. Pluviale Verhältnisse existierten vor $> 30\,000$ bis c. $19\,000$ BP, d.h. vor dem letzten Hochglazial, und 2. das letzte Hochglazial, besonders zwischen $16\,000$ und $13\,000$ BP, war humid.

In der neueren Literatur nennt Grove (1969) zuerst als eindrucksvollsten Beweis früherer pluvialer Bedingungen die Strandlinie (Gidikwe Ridge) eines ausgedehnten Paläo-Makarikari-Sees; zum Alter wird ausgeführt 'that it must have pre-dated a Middle Stone Age site described by Bond & Summers (1954), which lies in the deltaic area of the Nata River' (Grove 1969: 203). Beobachtungen über hygrische Klimaschwankungen in der Kalahari sind bereits von Passarge (1904), der auch die ältere Literatur zu diesem Problem auswertet, erwähnt worden. Street & Grove (1976) berichten aufgrund eines ^{14}C -Alters



Figur 1. Übersichtskarte

von einem pluvialen See im Makarikari-Becken um 18 000 BP. Diese Vorstellung eines letztkaltzeitlichen Pluvialsees widerspricht den teilweise theoretischen Überlegungen von Heine (1977, vgl. dort die Kartenbeilage). Aufgrund von ^{14}C -datierten Höhlensintern und Calcretes in West-Ngamiland postuliert Cooke (1975: 430) ebenfalls, dass 'one major wet episode appears to have been contemporaneous with the Würm maximum glacial advance in higher latitudes'. Diese Aussage wird bei Grey & Cooke (1977), Cooke & Verhagen (1977), Lancaster (1979a) und Cooke (1979, 1980, 1984) bekräftigt. Demgegenüber ergeben sich aufgrund der Untersuchungen von Heine (1978a und b, 1979, 1982) pluviale Bedingungen von über 30 000 bis c. 19 000 BP. Zwischen den Vorstellungen von Cooke (und Mitarbeitern) und Heine konnte bisher keine Annäherung erzielt werden, obgleich Street & Grove (1979), Lancaster (1979b, 1981) und Deacon, Lancaster & Scott (1984) die Erkenntnisse von Heine ihren Paläoklimarekonstruktionen zu Grunde legen. In jüngsten Arbeiten werden für das Makarikari-Becken von Cooke & Versteppen (1984), Cooke (1984) und Shaw (1986) neben der hochglazialen Pluvialphase (c. 17 000-12 000 BP) folgende Zeiten mit hohem Seespiegel für das Jung-



Figur 2. Zusammenstellung der Paläoenvironments der Mittel-Kalahari nach verschiedenen Autoren

quartär genannt (Fig. 2): zwischen 40 000-35 000 BP und zwischen 26 000 und 10 000 BP (mit niedrigem Seespiegel um 21 000 und 19 000 BP). Damit wird allgemein akzeptiert, dass im Mittelwürm zwischen c. 40 000 und 19 000 BP hohe Seespiegel im Makarikari-Becken auftraten; die verschiedenen Phasen mit niedrigem Seespiegel zwischen 35 000 und 26 000 BP, um 21 000 BP und um 19 000 BP im Makarikari-Becken (Cooke 1984) und um 25 000 BP im Ngami-Gebiet (Shaw 1986) geben Hinweise auf eine unterschiedliche Ausprägung der pluvialen Verhältnisse. Unklar bleibt in der Literatur nach wie vor die Beurteilung der hochglazialen Phase zwischen c. 19 000 und 12 000 BP.

Im folgenden sollen die Befunde ausgewählter Autoren, die einerseits zur Rekonstruktion hochglazialer niedriger Seespiegel und andererseits zur Annahme hochglazialer hoher Seespiegel geführt haben, näher betrachtet und kritisch diskutiert werden.

Die Beobachtungen von Passarge

Aufgrund umfangreicher Untersuchungen kann Passarge bereits im Jahre 1904 eine äusserst detaillierte Beschreibung der Mittleren Kalahari vorlegen. Die von Passarge (1904) mitgeteilten Befunde legt Heine (1978a und b, 1979, 1982) seinen Untersuchungen zugrunde. Die Diskussion über die jungquartäre Klimaentwicklung der Mittel-Kalahari hat gezeigt, dass wichtige Beobachtungen Passarge (1904) unberücksichtigt bleiben. Daher müssen zuerst die für die Diskussion relevanten Ergebnisse aus dem Werk von Passarge (1904) vorgestellt werden.

Passarge (1904) gibt folgende Stratigraphie der Deckschichten für das Ngami-Okavango-Makarikari-Gebiet an (Tabl. 1): Im Liegenden befinden sich die Botletle-Schichten; diese bestehen aus ausserordentlich mannigfaltigen Gesteinen, die überraschend schnell wechseln können. Die Botletle-Schichten zeigen in Abhängigkeit von den Oberflächenformen des Grundgebirges eine ungleichmässige Lagerung; im Okavango-Becken sind sie besonders mächtig ausgebildet, und nur lokal greifen sie auf die Plateaugebiete über. Die Botletle-Schichten weisen in älteren Ablagerungen eingekieselte Chalzedonsandsteine auf, die einer ersten Periode der Chalzedonlösung während einer trockenen Klimaphase zugeschrieben werden. Im mittleren Teil der Botletle-Schichten finden sich kalkige Ablagerungen, Pfannensedimente oder Seebeckensedimente mit Brackwasser-Diatomeenassoziationen; diese Schichten werden einer ersten Phase der Kalklösung unter feuchteren Klimabedingungen zugeordnet. Harte buckelige Oberflächen mit Klakrinden weisen auf die zweite Periode der Chalzedonlösungen unter ariden Klimaverhältnissen hin.

Die Grenze zwischen den Botletle-Schichten und dem hangenden Kalaharikalk ist scharf; es gibt vielerorts Hinweise auf starke Abtragung und Zerstörung der Botletle-Schichten vor der Akkumulation des Kalaharikalks, der in den liegenden Partien sehr häufig Schutt zeigt. Der Kalaharikalk ist faziell unterschiedlich ausgebildet: Sinterkalke, mürbe Kalksandsteine, Pfannenkalktuffe, Salzmergel, Salzpelite und Salzlager werden beschrieben. Die harten Sinterkalke enthalten viel Quarzsand und weisen Sinterstrukturen und lamellige Rinden sowie teilweise Brekzien aus Botletle-Schichten und Anstehendem auf. Die Sinterkalke enthalten selten Gastropoden (*Physa*, *Succinea*), Diatomeen fehlen meist. Die mürben Kalksandsteine, ein mit feinem Kalkschlamm verkitteter Sand mit oft zelliger Struktur und feinen Kalkröhren (ehemalige Wurzelgänge), sind oft kochsalzhaltig und von härteren kompakten Bänken durchzogen, die nach oben hin zunehmen. Molluskenschalen sind im Kalksandstein häufig, und zwar sind es Schalen rezenter Gastropoden von Land- und Sumpfschnecken der heutigen Süsswassersümpfe und -flüsse und Salzpfannen; nur bei Lilokwalo wurde *Corbicula* gefunden. Brackwasserdiatomeen sind häufig; es sind Formen von meist an Schilf und Pflanzen festsitzenden Arten. Die Periode der Kalaharikalk-Bildung war eine Zeit energischer Kalkablagerung.

Tabelle 1. Stratigraphie (schematisch) der Deckschichten im Ngami-Okavango-Makarikari-Gebiet

Formation	Fazies		
	Flusstäler von Ngami und Botletle	Ngami- und Makarikari-Pfannen	Kleine Pfannen
Alluvium	Weisser Flusssand, z.T. auch Schlamm	Beckenschlamm, auch Salze, Salzmergel u.a.	
Kalahari-sand	Unreine Sande, kalkfrei, grau bis weiss	Unreine Sande, kalkfrei, grau bis weiss	
	Im Liegenden: Kalkhaltige Sande mit Kalkknollen, Geröllen, Süss- und Brackwasserdiatomeen		
	Scharfe Grenze Fluviale Prozesse		
Kalahari-kalk	Im Hangenden: z.T. Dolomitisierung, Verkieselung, Auslaugung der Salze, Sinterkruste mit Brackwasserdiatomeen Murbe Kalksandsteine mit Brackwasserdiatomeen, stellenweise Kalktuffe mit Gastropoden (Süsswasser), Salzpelit, Salzlager u.a. Im Liegenden: Kalksandsteine, Kalkmergel, Brekzien aus Schutt, Geröllen (z.T. Botletle-Schichten), starke Erosion		Kalktuff z.T. Salzmergel u.a. Pfannensedimenten
	Scharfe Grenze, Zertrümmerung der Botletle-Schichten durch Erosion		
Botletle-Schichten	Harte buckelige Kalkrinen Kalkige Sedimente und Seebeckensedimente mit Brackwasserdiatomeen Pfannensandstein, fossilfrei, verkieselt Eingekieselte Chalzedonsandsteine		?

ammengestellt nach den Angaben bei Passarge (1904)

Plateaus	Paläoökologische Interpretation	Bildung von	
		Brackwasser-seen	Süsswasser-seen
Decksande	semi-arid, mit geringen hygrischen Schwankungen		
Unreine Sande, kalkfrei, rot-grau-weiss, teilweise auch mit Kalkknollen und Geröllen, bes. im Liegen. Im Liegenden z.T. mit Schotterlage			
harfe Grenze	feuchter		
Sinterkalk [= Calcrete]	semi-arid		
Kalksandstein [= Calcrete]	2. Periode der Kalklösungen: feuchter		
Erosion, Schutt, Gerölle	semi-arid, mit feuchteren Abschnitten		
	feuchter		
Rinden [= Calcrete] Mannigfaltige Gesteine, bes. an Hängen Brekzien	2. Periode der Chalzedonlösungen: semi-arid 1. Periode der Kalklösungen: etwas feuchter 1. Periode der Chalzedonlösungen: semi-arid		

Im Hangenden treten der Kalaharisand und der Decksand auf. Der Kalaharisand beginnt am Botletle mit einer kalkreichen Schicht im Liegenden, die eine gemischte Daitomeenflora führt; diese enthält die Brackwasserformen des Kalaharikalks zusammen mit den Süßwasserdiatomeen der heutigen Sümpfe und Flüsse. *Spiculae* und *Spongillen* sind auch häufig. Die Kalaharisande bestehen in der Regel – mit Ausnahme der kalkreichen liegenden Partien – aus abgerundeten bis eckigen Quarzkörnern; Quarzsplitter sind reichlich vertreten, ebenso Fragmente anderer Gesteine, dazu Feldspäte, Epidot, Chalzedon und Glimmer. Diese recht unreinen Sande sind immer kalkfrei, wenn sie rot oder rötlich gefärbt sind, können aber als weisse bis hellgraue Sande auch kalkhaltig sein. Als Decksand wird ein über anstehendem Gestein ausgekeilender Kalaharisand bezeichnet.

Die Beobachtungen von Passarge (1904) habe ich in Figur 3 dargestellt; sie enthält die von Passarge (1904) ausführlich beschriebenen Profile aus dem Ngami-Botletle-Makarikari-Gebiet und geomorphologische Beobachtungen. Im einzelnen lassen sich folgende Grundzüge der jüngeren geomorphologischen Entwicklung nachzeichnen: Das Ngami-See-Gebiet wird im Süden von einer markanten Stufe, die zum Ngami-Plateau überleitet, begrenzt. Im Westen des Ngami-Sees bilden zwei Wälle aus Chalzedonsandstein die Begrenzung; die ihnen aufliegenden Sande sind reich an Chalzedonknollen und Kalkgeröllen. Das Ngami-Becken ist mit Kalkmergel und Schlamm gefüllt; die Kalkmergel werden im Norden – dorthin steigt die Ngami-Alluvialebene sanft an – von Flusssanden bedeckt, die teilweise recht mächtig sein können.

Der Ngami-Fluss, der ohne sichtbares Gefälle eine Verbindung zwischen Ngami-See und Tamalakane schafft, ist in Schichten des Kalaharikalks eingeschnitten, die von Chalzedonsandstein (Botletle-Schichten) unterlagert und vom Kalaharisand überlagert werden. Der Kalaharikalk zeigt im Hangenden eine harte Sinterschicht und eine scharfe Grenze gegen die hangenden Sande. Bei Mori Mossetla sind in die mürben Kalksandsteine des Kalaharikalks fossilreiche Kalktuffe eingeschaltet.

Der Botletle weist im ersten Abschnitt ein deutliches Gefälle in Richtung Makarikari-Becken auf. Es folgt ein Flussstück mit kanalartigem Lauf. Schliesslich durchbricht der Botletle oberhalb von Meno a Kwena in einem Cañon-artigen Tal recht mächtige Sandablagerungen und bei Meno a Kwena auch die hangenden Kalaharikalkschichten.

Die geologisch-sedimentologische Ausbildung der Schichten zwischen Meno a Kwena und Mochoto Drift wechselt nur wenig. Allein bei Meno a Kwena befindet sich über der harten Kalaharikalk-Kruste ein 2 m mächtiger diatomeenreicher, lagig ausgebildeter Kalksandstein, der westlich von Meno a Kwena schnell ausgeilt. Der harte Oberflächenkalk im Hangenden des Kalaharikalks verliert sich entlang des Botletle-Laufs von Namessán nach Süden. Nahe Rakopo's Drift sind die jüngeren Beckensedimente, ein weisser, feiner, mürber Kalkschlamm, weit verbreitet.

Die Ntschokutsa-Pfanne zeigt ebenfalls salzreiche Kalkmergel; der Süd- und

Ostrand der Pfanne wird aus Kalksandsteinen der Botletle-Schichten und Gesteinen des Grundgebirges aufgebaut.

Zwischen dem Ngami-See und den Makarikari-Pfannen erstreckt sich das Hainafeld, das von Passarge (1904) in vier Zonen gegliedert wird (Fig. 3). Das Sandfeld, im Westen von den Kweben Bergen begrenzt, reicht bis an die Haina Hügel heran; Pfannen sind äusserst selten; die Oberfläche ist sehr schwach gewellt. Unter dem Kalaharisand, der von östlichen Winden umgelagert wurde, fehlen Kalkkrusten; es stehen Grauwacken an. Im Hainafeld sind Pfannen zahlreich, die mit Kalksand und Kalkton ausgekleidet sind. Weder im Sandfeld noch im Hainafeld wird unter dem Kalaharisand, der hier rötlich auf den Wällen und grauweiss und kalkhaltig in den sanften Senken ausgebildet ist, eine Kalkkruste über dem Grauwacken-Grundgebirge angetroffen. Die Oberfläche des Hainafeldes ist deutlich stärker gewellt als diejenige des Sandfelds.

Ein markanter Unterschied besteht zwischen dem Hainafeld und dem Grasland im Osten. Deutlich tritt die Grenze zwischen beiden Landschaften hervor: ein sandiges Gebiet, das sich etwa in NW-SE-Richtung erstreckt. Der Untergrund des Graslands wird von Kalaharikalk aufgebaut; es sind Pfannensedimente, die auch als Gerölle und Scherben den hangenden Sanden beigemischt sind. Die Sande sind grau und kalkreich. Das Grasland ist eine wirkliche Ebene, deren Oberfläche ganz leicht gewellt ist. In den Niederungen befindet sich schwarzes humoses Bodenmaterial. Ein Sandstreifen durchzieht das Grasland in NW-SE-Richtung. Fast NNW-SSE verläuft die östliche Begrenzung des Graslands. Wiederholt zeigen sich Sandwälle, die von ehemaligen Flusstälern voneinander getrennt werden. Dieser Bereich der Sandwälle wird abrupt von der Ebene der Makarikari-Pfannen im Osten abgelöst. Hier ist der Untergrund sehr kalkhaltig.

Quartärmorphologische Deutung der Befunde von Passarge

Die Beobachtungen und Ergebnisse der Untersuchungen von Passarge (1904) können einerseits geomorphologisch und andererseits stratigraphisch-sedimentologisch gedeutet werden.

Die sehr detaillierten Angaben zu den geomorphologischen Verhältnissen der Mittleren Kalahari durch Passarge (1904) in Verbindung mit der Interpretation neuerer Karten und Satellitenbilder habe ich zur Vorbereitung meiner Geländearbeiten im Jahre 1977 benutzt. Folgende Grundzüge der quartären Oberflächenformen der Mittleren Kalahari konnten dabei herausgearbeitet werden: Sowohl im Makarikari-Gebiet als auch im Ngami-Becken lassen sich verschiedene pluviale Seebildungsphasen belegen. Die grösseren pluvialen Seen müssen älter als die kleineren sein. Das Alter dieser pluvialen Seen war im Jahre 1977 unbekannt.

Für einen älteren grösseren pluvialen Brackwassersee im Makarikari-Gebiet lassen sich mehrere Beobachtungen anführen. Im Westen des Sandwalles, der von Passarge (1904) noch nicht als durchlaufender Uferwall, sondern als Flussuferwälle verschiedener Gewässer erkannt, der von Grove (1969) als

Westufer eines Sees identifiziert und der in jüngster Zeit von Cooke & Verstappen (1984) genauer beschrieben wurde (Gidikwe Ridge), befindet sich die 'wirkliche Ebene' (Passarge 1904: 231) des Graslands. Es ist ein ehemaliger Seeboden, wie die morphologischen und bodenkundlichen Beschreibungen von Passarge (1904) zweifelsfrei belegen. Dieser ehemalige Pluvialsee wird im Westen durch Ufersandwälle begrenzt. Seine Oberfläche zeigt mitunter 'sehr flache Terrainwellen' (Passarge 194: 231). Der Sand ist hellgrau, rote Sande fehlen; im Westen wird der Sand mächtiger, die eigentliche Fläche des Graslands ist nur mit einer dünnen Sandschicht, die Knollen mürben Kalksandsteins enthält, bedeckt. In den sogenannten 'Brackpans' kommt der mürbe Kalksandstein des Untergrundes in ausgedehnten Flächen an die Oberfläche. Bemerkenswert ist ferner das Auftreten schwärzlichen sandig-humosen Bodens in einigen flachen Niederungen; er ähnelt den schwärzlichen Schlammböden im Gebiet des Okavangosystems.

Für einen jüngeren kleineren Pluvialsee im Makarikari-Gebiet sind die von Passarge (1904) beschriebenen Verhältnisse beiderseits des Botletle zwischen Meno a Kwena und Rakopo's Drift Zeugen. Hier ist das Land noch ebener und der Boden noch kalkreicher als im Grasland (S. 232). Im Westen dieser ebenen Flächen beginnt ganz plötzlich eine Waldzone auf Sand, der noch grau ist, aber auch leicht rötlich werden kann; diese Sandzone, der Gidikwe Ridge, trennt somit einen jüngeren Pluvial-Seeboden von einem älteren.

Der Gidikwe Ridge selbst muss aufgrund der Angaben von Passarge (1904) älter sein als die diatomeenreichen, lagigen weichen Kalksandsteine, die etwa 2 m mächtig bei Meno a Kwena aufgeschlossen sind, denn diese Schichten lassen sich nicht Botletle-aufwärts verfolgen; im Gegenteil, die Sande des Gidikwe Ridge nehmen von Meno a Kwena nach Westen hin zu, während die Kalaharikalk-Schichten abnehmen. Zwischen Matabele Drift und dem Zusammenfluss von Ngami-Fluss und Tamalakane treten die Kalksandsteine des Kalaharikalks am Botletle-Ufer ganz zurück und der Untergrund wird aus Botletle-Schichten aufgebaut.

Die Ausdehnung des durch den Gidikwe Ridge im Westen eingeschlossenen kleineren jüngeren Pluvialsees wird durch die mürben Kalksandsteine des Kalaharikalks repräsentiert (vgl. die Profile in Figur 3). Es sind in der Regel mürbe sandreiche Kalke mit zelliger Struktur und Wurzelröhren; Brackwasser-diatomeen sind charakteristisch für die Ablagerungen. Gastropoden kommen in verschiedenen Profilen vor. Reine Süßwassermollusken sind nur im Profil Lilokwalo beobachtet worden. Oft enthalten die zelligen Kalke auch Beimengungen von Kochsalz. Die Versinterung und teilweise auch Verkieselung nimmt gewöhnlich in den obersten Partien des Kalaharikalks zu. Paläoökologisch können die Ablagerungen der Kalaharikalk-Schichten östlich des Gidikwe Ridge nicht einem ausgedehnten pluvialen Süßwassersee zugeschrieben werden. Schon Passarge (1904) sieht in ihnen Pfannensedimente, die sich durch ihren Fossilinhalt (S. 783) und ihre sedimentologischen Eigenschaften im wesentlichen als Brackwasserablagerungen zu erkennen geben. Bei den Landschnecken zeigt sich eine Ubereinstimmung mit den semi-ariden Savannen im Süden,

speziell Südwestafrikas, bei den Süsswasserconchylien dagegen eine grössere Übereinstimmung mit der trophisch-afrikanischen Fauna (*Ampullaria*, *Lanistes*, *Vivipara* und *Mutela*) (Passarge 1904: 758 f.). Wiederholte Überflutungen und nachfolgende Austrocknung des Makarikari-Gebiets sind damit belegt. Während dieser Zeit muss auch die letzte Ausformung der Sandwälle des Gidikwe Ridge erfolgt sein, d.h. zur Zeit der Brackwasser-Kalksandstein-Sedimentation haben Winde aus östlichen Richtungen einerseits das fluvial eingeschwemmte Sandmaterial teilweise umgelagert und zu Sandwällen akkumuliert und andererseits Dünen sandmaterial eingeweht; die von Passarge (1904) beschriebenen Sande des Gidikwe Ridge deuten diese Vorgänge an.

Besonders interessant ist das von Passarge (1904: 207 f., 217) beschriebene Profil von Meno a Kwena, das über den Brackwasser-Kalksandsteinen mit hartem Sinterbank-Abschluss einen 2 m mächtigen Horizont aus weichem Kalksandstein aufweist, dessen hangende Schichten sandärmer, kalkreicher und dichter erscheinen (harte Oberflächenbank); dieser konkordant auflagernden Schicht verleihen feine abschilfernde Lagen eine besondere Struktur. Dieser Kalktuff ist sehr reich an ziemlich gut erhaltenen Diatomeen (*Anomoeoneis sculpta*, Ehr., selten; *Mastogloia lanceolata*, Thwaites, selten; *Epithemia Argus* (Ehr.), Kütz., sehr häufig; *Campylodiscus Clypeus*, Ehr., sehr häufig; *Campylodiscus bicostatus*, W.Sm.) (Passarge 1904: 764 f.). Die oberste harte Bank des Kalksandsteins im Liegenden dieses Kalktuffs ist ebenfalls reich an Diatomeen, die aber weniger gut erhalten sind (*Rhopalodia gibberula* (Kütz.), O.Müller; *Epithemia Argus*, Ehr., sehr häufig; *Campylodiscus Clypeus*, Ehr., sehr häufig) (Passarge 1904: 765).

Ohne scharfe Grenze entwickelt sich im Profil Meno a Kwena der hangende Kalaharisand aus dem Kalktuff; die untersten Partien des Sandes sind kalkhaltig und reich an zersetzter vegetabilischer Substanz und Diatomeen (Passarge 1904: 208). Passarge (1904: 731) gibt folgende Beschreibung: 'Kalkreicher graubrauner, mässig fester Sand. Mikroskopisch: Sand mit Hülle von Kalkpatkörnern, zahlreiche Diatomeen und Spiculae. Nach Auflösen des Kalks wird schmutzig braune flottierende organische Substanz sichtbar, reichlich; Aussehen wie der Tierkot der Seekreide. Flockenhülle um die Quarzkörner. Die Diatomeen sind nach H.Reichelt Süss- und Brackwasserformen. Der Sand gleicht dem Kalk-Schlamm-Sand der norddeutschen Seen.' Dieser liegende Kalaharisand von Meno a Kwena, welcher von allen untersuchten Proben am reichsten an Arten ist, enthält eine Mischung von Süsswasserdiatomeen des Ngami-Sees mit den Brackwasserdiatomeen der Kalaharikalke und Tuffe (*Phytolitharien*, Ehr.) und Kieselnadeln von Schwämmen wurden von Reichelt 44 Arten von Diatomeen bestimmt (Passarge 1904: 763 f.). Die liegenden Partien des Kalaharisandes bei Meno a Kwena (Kalk-Schlamm-Sand) geben Hinweise auf Zufuhr grösserer Süsswassermengen. Da westlich von Mochoto Drift ein markanter Hangknick die Sandwälle des Gidikwe Ridge gegen die Ebenen der Makarikari-Region begrenzt, wird dieser von mir als Ufersaum eines post-Kalaharikalk-zeitlichen Sees gedeutet und mit den liegenden Kalk-Schlamm-Sand-Ablagerungen bei Meno a Kwena korreliert. Die von Passarge

(1904) für das Ngami-See-Gebiet beschriebenen Verhältnisse lassen ebenfalls eine Rekonstruktion ehemaliger grösserer Seen zu. Die im Westen des Ngami-Sees gelegenen Sandwälle trennen einerseits die Brackwasser-Ablagerungen der Matanya-Pfannen von dem westlich angrenzenden, mit rotem Kalaharisand bedeckten Gebiet und andererseits trennt der östliche Ufersandwall die Matanya-Pfannen von den Ngami-Pfannen. Im Norden verschwinden die Uferwälle in fluvialen Sandakkumulationen, die von dem sich dort verzweigenden Tauche-Fluss abgelagert wurden, und zwar nach der maximalen Seeausdehnung. Die jüngsten Sedimente im Ngami-See bestehen aus dunklem, eingetrocknetem Schlamm, sind frei von Kalk und sehr leicht und reich an Diatomeen, die ausschliesslich (wie auch die jüngsten Ngami-Fluss-Sedimente) Süsswasserarten enthalten. Am Ngami-Fluss gibt das Profil von Mori Mossetla (vgl. Fig. 3) eindeutige Hinweise auf verschiedene Phasen mit Süsswasserseen; den etwa 8 m mächtigen mürben Kalksandsteinen sind bis 0,30 m dicke Bänke gelblichen mürben Kalktuffs, der an Gastropoden sehr reich ist, eingelagert.

Nach Passarge (1904) sind die Ablagerungen des Kalaharikalks zwischen dem Zusammenfluss von Ngami-Fluss und Tamalakane und Matabele Drift nur sehr geringmächtig oder gar nicht mehr anzutreffen. Demnach könnte man mit Passarge (1904) an zwei getrennte Becken – Ngami und Makarikari – denken, in denen wiederholt Brackwasserseen und zeitweise auch Süsswasserseen gebildet wurden.

Die Gebiete des Ngami-Plateaus, des Sandfelds und Hainafelds zwischem dem Ngami-Becken und den Makarikari-Pfannen waren nicht mehr von Brackwasser-/Süswasserseen erfasst; die Kalaharisande liegen dort unmittelbar auf dem Grundgebirge. Auch weist das Fisch-Vley c. 7 km südlich des Ngami-Sees keine Kalaharikalk-Kalksandsteine auf, die auf eine Ausdehnung des Ngami-Pluvialsees nach Süden deuten. Zwischen Toting und den Kwebe Bergen beschreibt Passarge (1904: 570 f.) Wellentäler; es handelt sich um sehr alte Längsdünensysteme, die auch vom Schadum-Fluss genannt werden und die nur ausserhalb der quartären Okavangosedimente auftreten. Auch das Fehlen der Kalkkrusten (Kalaharikalk) unter den Sandfeld-Sanden, und über dem liegenden Grundgebirge belegt das hohe Alter (prä-Kalkkrustenzeitlich) der 'Wellental'-Oberflächenformen. Allerdings bemerkt Passarge (1904) wiederholt, dass der Kalaharisand vielerorts vom Wasser transportiert und abgelagert worden ist, der Wind trug anschliessend zu seiner Verbreitung bei, so auch im nördlichsten Hainafeld unmittelbar südlich des Botletle.

Die Beobachtungen Passarges (1904) geben eindeutige Hinweise auf (1) mindestens zwei unterschiedlich alte und unterschiedlich ausgedehnte Seen, die (2) aufgrund der stratigraphischen und paläontologisch-sedimentologischen Befunde verschiedene Brackwasser- sowie Süswasser-Phasen verkörpern. (3) Die reinen Süswasser-Sedimente sind recht geringmächtig im Vergleich zu den Brackwasser-Sedimenten. Die Brackwasser-Sedimente enthalten stets viel Sand, ein Hinweis auf den starken äolischen und/oder fluvialen Eintrag dieser Sande in die Ngami- und Makarikari-Pfannenbereiche. Die Süswasser-Kalktuffe sind Quarzsand-arm. (4) Die letzte Phase mit Süswassersee-Bildung

belegen die liegenden Kalaharisand-Sedimente, die als sandiger Kalkschlamm ausgebildet sein können. Passarge (1904) stellt alle Kalaharikalk-Bildungen in das Quartär, ohne eine genauere Altersandsprache geben zu können. Die von Passarge (1904) als 'harte Sinterkalke' bezeichneten Kalaharikalke sind grösstenteils als Calcretes anzusprechen; Passarge (1904) vergleicht die Kalaharikalke der Inselgebirge mit Kalkkrusten der Halbwüsten und vermutet, dass ihre Bildung in Gebirgen durch Einwehung (Staubstürme) beträchtlicher Kalkmengen, die dann bei Zunahme der Niederschlagsmengen zu Kalkabsätzen geführt haben konnten, erklärt werden kann (Passarge 1904: 198).

Eigene Beobachtungen

Die zuvor dargelegten Beobachtungen Passarges (1904) konnte ich meinen Arbeiten in der Mittelkalahari zu Grunde legen. Für mich stellte sich daher vordringlich die Aufgabe, die von Passarge (1904) beschriebenen Formen und Sedimente mit unseren heutigen paläoökologischen Vorstellungen des Quartärs zu vergleichen und vor allem chronostratigraphisch zu erfassen, wobei erste Anhaltspunkte einer absoluten Altersbestimmung der von Passarge (1904) genannten Sedimente und Fossilien im Mittelpunkt standen.

Im folgenden werden die von mir im Jahre 1977 aufgenommenen Profile vorgestellt (Fig. 4).

Am Nordrand der Ngami-Alluvialebene, innerhalb des deutlich ausgebildeten inneren Ufersandwallsystems, befindet sich in etwa 930 m Höhe eine Abfolge aus Kalaharisand über Beckensedimenten. Die liegenden Schichten werden von einem mürben, nur leicht verfestigten Kalksandstein gebildet; die in dem hellen Kalkschlamm eingebetteten Sandkörner sind teils gut gerundet, teils gerundet und zeigen in der Mehrheit helle Verwitterungsrinden, die auf wieder aufgearbeitete ältere Dünensande hinweisen. Das Sediment enthält in einer recht einheitlichen Grundmasse aus Sand und Kalkschlamm Wurzelröhren, die mit jüngerem Sand und Kalkausscheidungen ausgefüllt sind. Die Körner der Wurzelröhrensandfüllungen zeigen keine Verwitterungsrinden. Vereinzelt sind auch Fragmente umgelagerter, älterer Calcretes zu beobachten. Zwischen 60 und 65% des Materials besteht aus Kalk, von dem ein ^{14}C -Alter vorliegt: $14\,620 \pm 90$ (Hv 8381). Der hangende Kalaharisand gliedert sich in den schwach kalkhaltigen (3-5% CaCO_3) liegenden und den kalkfreien humosen grauen hangenden Sand; es sind vorwiegend gut gerundete helle, vielfach glasklare Körner, die ihr Maximum in der Fraktion 0,2-0,1 mm \emptyset haben (un 50%); dies spricht für äolische Um- und Ablagerung des Materials, weniger für fluvialen Transport. Das ^{14}C -Alter gibt nur näherungsweise Auskunft über die Zeit der Sedimentbildung, da sowohl kleinere Fragmente älterer Calcretes als auch die Füllungen der Wurzelröhren den ermittelten Wert beeinflusst haben können.

Das Profil vom Ngami-Nordrand lässt sich mit den Profilen von Passarge (1904; vgl. Fig. 3) korrelieren. Die 'Flusssande' Passarges (1904) sind äolisch umgelagerte fluviale Sedimente; die 'Kalkmergel' Passarges (1904) sind

Beckensedimente aus Sand und Kalkschlamm, die als Brackwassersedimente bis gegen Ende der letzten Kalkzeit (c. 15 000-12 000 BP) sedimentiert wurden. Sie enthalten Sandkörner, deren Herkunft vorwiegend im verwitterten Grundgebirge und in einer Abtragung der Bottle-Schichten vermutet wird.

C. 3 km nordwestlich des Ngami-Flusses (Lake River) in 940 m Höhe befindet sich über einem Beckensediment aus Kalkschlamm und Sand ebenfalls der Kalaharisand (Fig. 4). Der liegende mürbe Kalksandstein i.S. Passarges (1904) ist leicht verfestigt, lässt sich jedoch zwischen den Fingern zerreiben. Im Dünnschliff erkennt man eine Ummantelung der Sandkörner mit Kalk; Verwitterungsränder sind seltener als im Beckensediment-Sand vom Ngami-See. Die ^{14}C -Analyse ergab ein Alter von $14\,300 \pm 190$ BP (Hv 8386). Das Profil lässt sich mit den obersten Partien des Profils von Mori Mossetla (Passarge 1904; vgl. Fig. 3) korrelieren. Auch hier wird die Sedimentation des Kalksandsteins der Kalaharikalk-Formation Passarges (1904) durch eine schwache Verfestigung im Hangenden (beginnende Calcrete-Bildung) abgeschlossen. Dieser Vorgang der Calcrete-Bildung erfolgte gegen Ende der letzten Kaltzeit vor rund 15 000-13 000 BP. Die obersten Beckensedimente des Brackwassersees wurden demnach vor der schwachen Calcrete-Bildung, d.h. im letzten 'Hochglazial', sedimentiert.

In 945 m Höhe befindet sich ein Profil am unteren Thamalakane (Fig. 4). Das Liegende bildet ein zu einer Kalkkruste (Calcrete) verbackener Sand mit verkieselten Pflanzenresten; der Sand weist häufig die charakteristischen Verwitterungsrinden an den Sandkörnern auf, die deren Herkunft aus älteren abgetragenen Sedimenten erkennen lassen. Die Oberfläche der Calcrete ist wellig-wulstig und trägt einen 3-10 mm dicken Überzug aus hartem Kalksinter. Das ^{14}C -Alter der obersten Schicht der Calcrete (Mischprobe aus sandreicher Kalkkruste und Kalksinterhaut) beträgt $8\,720 \pm 95$ BP (Hv 8383). Das Alter an sich ist nur bedingt aussagefähig, setzt es sich doch aus dem Alter der Calcrete (Spätglazial) und dem Alter des Kalksinter-Überzugs (Holozän) zusammen. Hinweise auf limnische Sedimente wurden in diesem Profil nicht gefunden.

3 km östlich der Strassenbrücke bei Maun über den Thamalakane zeigt ein Profil in 940 m Höhe im Hangenden c. 1 m mächtige graue schluffige Sande. Darunter liegen helle weissgraue, sehr lockere, fein abschilfernde, geschichtete Beckensedimente aus Kalkschlamm und Sand; die hangenden Partien dieser c. 1 m dicken Lage haben ein ^{14}C -Alter von $9\,390 \pm 80$ BP (Hv 8378). Darunter folgt eine harte Calcrete-Bank mit einer auffällig wulstig-buckeligen Oberfläche; sie ist zu 98% aus CaCO_3 zusammengesetzt und enthält feinste Haarwurzeln; Sandkörner sind in ihr nicht zu finden. Im Schliff ist in der feinen Matrix eine schwach wolkige Struktur zu erkennen, die der 'Zellenstruktur' Passarges entspricht. Das ^{14}C -Alter ist $31\,750 \pm 500$ BP (Hv 8387). Unter dieser Kalkkruste, die nach unten weicher wird, liegt ein Seekreide-Horizont von 0,2-0,3 m Mächtigkeit; dieser ist ebenfalls völlig frei von Sandkörnern, enthält etwa 87% CaCO_3 und geht zum Liegenden über in mürbe kalkig-tonige geschichtete Beckensedimente. Die Seekreide weist feine Haar-

wurzelröhren auf und hat ein ^{14}C -Alter von $27\,050 \pm 450$ BP (Hv 8379). Eine Korrelation dieses Profils mit dem Profil Passarge (1904) bei Mori Mossetla zeigt wesentliche Übereinstimmungen in den hangenden Schichten. Die von Passarge (1904) beschriebenen fossilreichen 'Kalktuffe', die in die mürben Kalksandsteine eingelagert sind (vgl. Fig. 3), treten als Seekreide und harte Calcrete-Bank hervor. Die Spuren der Haarwurzelröhren belegen, dass die Ablagerungen in rund 940 m Höhe in flachem Wasser erfolgten. Da die ^{14}C -Alter von Calcrete-Bildungen oft nur orientierende Altersangaben liefern, zumal der 'Reservoir-Effekt' (Geyh 1983: 31 f., 93) oft zu hohe Alter bedingt, wird angenommen, dass das Calcrete-Alter von $31\,750 \pm 500$ BP zu hoch ist, während das Alter der Seekreide eher dem wahren ^{14}C -Alter der Sedimentbildung entspricht. Auf jeden Fall belegen die Altersangaben, dass um 25 000-30 000 BP ein ausgedehnter Süßwassersee im Bereich von Ngami-Fluss und Thamalakane existierte, dessen Seespiegel bis fast 940 m Höhe reichte. Brackwassersedimente im Liegenden und Hangenden dieser Süßwasserablagerungen bezeugen, dass einerseits vor mehr als 30 000 BP und andererseits zwischen c. 25 000 BP und dem frühen Holozän vorwiegend Überflutungen und Austrocknung die Entstehung der Brackwassersedimente zur Folge hatte. Die Brackwasserablagerungen weisen im Profil bei Mori Mossetla (Fig. 3) wiederholt 'Kalktuff'-Lagen auf (Passarge 1904); dies darf als Hinweis gewertet werden, dass bereits vor $> 30\,000$ BP verschiedene Süßwasserseen bestanden haben, deren Sedimente jedoch in meinen Profilen nicht mehr erfasst werden (Fig. 4).

Die Profile nördlich des Botletle-Flusses (Fig. 4) ergänzen die zuvor beschriebenen Beobachtungen. Der Seekreide-Horizont ist durchgehend zu verfolgen. Während die Seekreide und die hangenden Brackwassersedimente der Profile in 940 m Höhe deutlich die Spuren von Wurzelröhren zeigen, fehlen diese in den Seekreiden der Profile in 920 m Höhe. Dies darf als Hinweis auf die Seespiegelhöhe zur Zeit der Seekreidebildung gedeutet werden; in 940 m Höhe war Pflanzenwachstum möglich, nicht mehr jedoch wegen der c. 20 m mächtigen Wasserbedeckung in 920 m Höhe. Nach der Bildung der Seekreide wurden Brackwassersedimente akkumuliert, die mit einer Calcrete-Bildung im Hangenden abschliessen. Der Calcrete kann plattig, knollenartig oder auch als harte Kruste ausgebildet sein. Bedeckt werden die Brackwasser-Kalkmergel stets von grauen schluffig-tonigen Sanden. Verschiedene ^{14}C -Alter liegen aus den Profilen vor. Für die Seekreide ergeben sich Alter von $30\,250 \pm 520$ BP (Hv 8382), $24\,330 \pm 270$ BP (Hv 8364) und $20\,835 \pm 355$ BP (Hv 8365). Das jüngste, zuletzt genannte Alter erscheint recht jung, erklärt sich aber aus den Umständen, dass in der Seekreide mitunter frische (rezente) Wurzelreste nachzuweisen sind. Das Alter der Calcrete von $13\,275 \pm 110$ BP (Hv 8380) fügt sich in die Gruppe der oben erwähnten Calcrete-Alter ein. Auch das Alter von $13\,275 \pm 110$ BP ist eine orientierende Altersangabe, denn die Probe setzt sich aus Kalkbildungen mit vereinzelt Sandkörnern zusammen; im Schluff sind mehrere Phasen der Kalkausscheidung zu erkennen, die jedoch einem relativ begrenzten Zeitabschnitt des Spätglacials angehören.

Die Profile nördlich des Botletle-Flusses, am unteren Thamalakane und Ngami-Fluss, dokumentieren aufgrund der Sedimente und ^{14}C -Alter, dass während des Jungquartärs zwischen c. 35 000 BP und dem Holozän vorwiegend mürbe Kalksandsteine bzw. Kalkmergel gebildet wurden, die als Brackwassersedimente auf ständige Wechsel von Überflutungen und Trockenfallen des Gebietes hinweisen; nur die Seekreide-Lage repräsentiert einen Süswassersee mit bis zu 20 m Tiefe in der Periode zwischen c. 30 000 und 25 000 BP. Besonders auffällig ist, dass die Seekreide keine fluvialen oder/und äolischen Sandkörner enthält.

Innerhalb der durch den Gidikwe-Uferwall umschlossenen Makarikari-Pfannen liegt das Profil '910 m' (Fig. 4). Hier schliessen sandige geschichtete Beckensedimente mit einer Silcrete im Hangenden ab. Die Kalksandsteine sind reich an Mollusken: Muscheln aus der *Corbicula fluminalis*-Gruppe, *Melanoides* (*Melanoides tuberculata*) und *Unioniden* belegen eine tropische Süswasserfauna (vgl. Passarge 1904; Brown 1978). Ein ^{14}C -Alter ergab $19\,170 \pm 660$ BP (Hv 8366). Landschnecken, zumeist *Succineiden* und *Xerocerastus* sp., die im oberen Abschnitt gesammelt wurden, haben ein Alter von $11\,920 \pm 630$ BP (Hv 8367). Die Beckensedimente werden im Hangenden durch eine Silcrete-Bildung abgeschlossen, die im Schliff recht gut gerundete Sandkörner erkennen lässt, die von CaCO_3 -Ausscheidungen umkleidet werden, während SiO_2 die Zwischenräume ausfüllt. Die Silcrete wird von einer dünnen Lage aus Kalksinter überzogen, der in Vertiefungen der buckeligen Oberfläche auch einige cm mächtig werden kann. Das ^{14}C -Alter dieser Kalksinter ist $4\,025 \pm 110$ BP (Hv 8689). C. 0,5 m mächtige graue Sande bedecken die harte Silcrete/Kalksinterbank.

Eine unmittelbare Korrelierung zu den Profilen Passarges (1904) kann nicht vorgenommen werden. Bemerkenswert ist jedoch, dass die jüngsten Beckensedimente Süswassermuscheln enthalten, die auf einen Süswassersee und/oder perennierendes Gewässer vor c. 19 000 BP weisen. Hochglaziale Seebildungen lassen sich in dem Profil nicht belegen. Inwieweit die Landschnecken mit einem Alter von c. 12 000 BP für feuchtere Verhältnisse sprechen – wie ich früher angenommen habe (Heine 1978a und b) –, kann nicht eindeutig beurteilt werden; es besteht die Möglichkeit, dass die Landschnecken vor der Bildung der Silcrete von der Oberfläche her in die Beckensedimente eingedrungen sind; in diesem Fall würden die Landschnecken-führenden Sedimente nur bedingt paläoökologisch interpretierbar sein.

C. 5 km westlich Gweta fehlen in einem Profil in 915 m Höhe die Beckensedimente. Über 1,3 m grauer schluffreicher Sand bedeckt einen mächtigen Calcrete-Horizont, der sich auf einem fest verbackenen Schutt gebildet hat. Vermutlich stehen hier Brekzien der Botletle-Schichten i.S. Passarges (1904) an. Das Profil lässt erkennen, dass innerhalb des Makarikari-Beckens die verschiedenen Pfannen durch niedrige Gesteinsschwellen getrennt werden.

Nahe der Nata-Flussmündung in die Sua-Pfanne (~ 930 m Höhe) ist in 1-2 m Tiefe ein braun-grauer Kalkschlamm aufgeschlossen, der vereinzelt

Gerölle enthält. Charakteristisch sind weisse, gut gerundete Gerölle aus Diatomeen; dieses Material hat einen Kalkanteil von unter 5%, während das schluffige, jedoch sandfreie Beckensediment c. 40-50% CaCO_3 aufweist. Unter dem Mikroskop fallen wiederholt Neubildungen von feinen Calcit-Aggraten auf. Das ^{14}C -Alter einer Probe aus dem seekreideartigen Kalkschlamm ergab $23\,750 \pm 250$ BP (Hv 8688). Über diesem Sediment liegt ein Horizont, der durch seinen Geröllanteil hervortritt; vorwiegend dunkle Gerölle aus dem Gebiet östlich des Nata-Flusses und Gerölle aus Diatomeen befinden sich in einer kalkreichen (13% CaCO_3), tonig-schluffig-sandigen Matrix. Die Fraktion 0,65-0,2 mm \emptyset besteht hauptsächlich aus fluvial transportierten Quarzkörnern, während die Fraktionen 0,2-0,1 und 0,1-0,063 mm \emptyset (15 bzw. 6%) nur einen geringen Quarzanteil zeigen. In der Siltfraktion bildet sich ein zweites Korngrössenmaximum aus den Calcit-Neubildungen. Der Tonanteil erreicht 20%. Diese Ablagerungen sind äusserst fossilreich; die Fauna eines Süsswassersees mit *Melanoides* (aber nicht die typische tuberculata), *Corbicula*, *Unioden* und *Bulinus* der tropicus-Gruppe gesellen sich zu den Strandgeröllen. Zwei ^{14}C -Alter der Mollusken ergaben $25\,910 \pm 1\,210$ BP (Hv 8371) und $27\,350 \pm 550$ BP (Hv 8370). Ein Diatomeengeröll hat ein ^{14}C -Alter von $2\,220 \pm 220$ (Hv 8373). Das Hangende bilden grau-schwarze Sande, die aufgrund ihrer Zurundung und Mattierung sowie ihres Korngrössenspektrums als charakteristische fluviale Sedimente angesprochen werden können, die äolisch umgelagert wurden. Die Decksande enthalten c. 1,5% CaCO_3 .

Die Deutung der Befunde des Profils östlich der Nata-Flussmündung (Fig. 4) belegt einen Süsswassersee um 28 000-25 000 BP im Bereich der nördlichen Sua-Pfanne. Die ^{14}C -Alter der Muscheln sind dafür eindeutige Belege. Auch das Alter der liegenden Beckensedimente ($23\,750 \pm 250$ BP) ergänzt diese Befunde; die Laboranalysen ergaben, dass jüngere Calcit-Aggregate neu gebildet wurden; dies dokumentiert auch die geringe Aufkalkung der äusserst porösen Diatomeen-Gerölle und das ermittelte Alter von $2\,220 \pm 220$ BP. Daher wird angenommen, dass die liegenden Beckensedimente ein um einige Jahrtausende zu junges Alter ergeben haben. Gleichzeitig dokumentieren die Beobachtungen und ^{14}C -Daten, dass auch in diesem Gebiet die grösste Ausdehnung eines Süsswassersees um 28 000-25 000 BP war, während danach (Hochglazial) kein Süsswassersee, aber auch keine Brackwasserseestände das 930 m-Niveau mehr erreichten. Erwähnt sei schliesslich noch der Hinweis auf etwas feuchtere Verhältnisse um 2 200 BP, die sich aus den Calcit-Mineralneubildungen ableiten lassen.

Die jungquartären pluvialen Phasen der Mittelkalahari aufgrund der Beobachtungen von Passarge und eigener Befunde

Grundlage für die Rekonstruktion der jungquartären pluvialen Phasen sind die chronostratigraphischen Beziehungen der Sedimente. Ergänzend wird die Lage der Sedimente in Beziehung zu den geomorphologischen Formen interpretiert. So werden beispielsweise die hangenden Süsswasser-Sedimente

innerhalb bestimmter Strandwälle als Zeugen der jeweils jüngsten pluvialen Süßwasserseen angesprochen; die Ausdehnung der Süßwasserseen ergibt sich dann aus der Verbreitung der Süßwasserablagerungen bzw. aus den Verlauf der Uferwälle, die diese Sedimente umschliessen. Die Uferwälle bzw. Strandwälle können in ihrer Anlage älter oder auch jünger als die Süßwasserseen sein, denn die Strandwälle wurden während der Brackwasserphasen gebildet, die den Süßwasserphasen vorausgingen bzw. nachfolgten. Genetisch dürfen die Strand- bzw. Uferwälle nicht mit den Süßwassersee-Sedimenten verknüpft werden. Die Aussagen über die Ausdehnung der Süßwasserseen sind daher teilweise hypothetisch.

Pluviale Süßwasserseen sind für das Botletle-Gebiet westlich Matabele Drift zwischen c. 30 000 und 25 000 BP und zwischen 28 000 und 25 000 BP für die nördliche Sua-Pfanne nachgewiesen worden (s.o.). Unsicher bleibt vorerst die Rekonstruktion des Seespiegels für diese innerwürmzeitlichen Pluvialseen. Sowohl die Profile in 940 m Höhe am Botletle als auch das Profil in c. 930 m Höhe bei Nata liegen im Bereich der Uferzonen ehemaliger Seen. Die Differenz von c. 10 m kann eine Erklärung in dem Umstand finden, dass das gesamte Gebiet des Okavango-Beckens und der Makarikari-Pfannen stark tektonisch gestört ist. SW-NE-streichende Verwerfungen haben zu einer Verstellung einzelner Schollen geführt; bereits Passarge (1904: 214 f.) vermutet eine Schwelle zwischen dem Thamalakane und Moremis Drift am Botletle aufgrund der dort auskeilenden Kalaharikalke. Reeves (1974; vgl. auch Breyer 1982, Jones 1982, Mallick et al. 1981) belegt Störungen anhand von Gravitätsmessungen. Tektonische Aktivität lässt sich im Okavango-Graben seit dem Präkambrium bis in jüngsten Zeiten nachweisen (Dingle et al. 1983: 293), weshalb hier nicht völlig ausgeschlossen werden kann, dass infolge tektonischer Verstellungen die Höhen von 940 m und 930 m ein und demselben Seespiegel eines innerwürmzeitlichen Süßwassersees zuzuordnen sind.

Nach 25 000 BP müssen die Süßwasserseespiegel gefallen sein. Bis c. 19 000 BP können aufgrund der Befunde sich ständig verkleinernde Süßwasserseen existiert haben, die zuletzt im Makarikari-Becken nur noch bis c. 910 m Höhe reichten. Spätestens nach 19 000 BP wurden nur noch Brackwassersedimente gebildet; gleichzeitig erfolgte eine Sandanwehung am Gidikwe Ridge. Das Hochglazial weist keine Süßwassersedimente und Faunen auf. Damit erscheint mir der Beweis erbracht, dass im Ngami- und Makarikari-Gebiet keine hochglazialen Süßwasserseen existierten. Im Botletle-Gebiet bedarf die Mächtigkeit und die absolute Höhenlage der Brackwasserablagerungen der Periode zwischen c. 19 000 und c. 12 000 BP einer Erklärung. Passarge (1904) spricht von einer Periode der Kalklösungen und ordnet diese Zeit einer feuchteren Klimaphase im Vergleich zu heute zu. Demnach müssen wir annehmen, dass das Hochglazial zwar keine Süßwasserseen hervorbrachte, jedoch wiederholt ausgedehnte Brackwasserseen kannte. Der mitunter relativ hohe Anteil an roten, äolisch in die hochglazialen Brackwassergebiete eingetragenen Sande, die den fossilen roten Dünen entstammen, bezeugt einerseits hohe Windgeschwindigkeiten mit Sandtransport und andererseits starke

Evaporation. Im Spätglazial (c. 14 000-12 000 BP) endet die Brackwasser-sedimentation und eine schwache Calcrete-Bildung setzt in den höher gelegenen Bereichen ein, während die am tiefsten gelegenen Sedimente vermutlich infolge immer noch auftretender Überflutungen keine Calcrete-Krusten oder Kalksinterüberzüge aufweisen.

Besonders wichtig sind die Beobachtungen von Passarge (1904), dass die liegenden Partien des Kalaharisandes in den Profilen östlich des Gidikwe Ridge (Fig. 3) kalkhaltig sind und sowohl Assoziationen von Brackwasser- als auch Süswasserdiatomeen führen. Hierin sehe ich mit Passarge (1904: 220) einen Hinweis auf Brackwasserbecken, die von Süswasserflüssen überflutet wurden, Ereignisse, die nach Beendigung der Brackwasser-Sedimentbildung und nach bzw. während der spätglazialen Calcrete-Bildung auftraten und weite Bereiche der Makarikari-Pfannen innerhalb des Gidikwe Ridge-Strandwallsystems erfassten. Vielleicht ist der Hinweis auf feuchtere Verhältnisse um 12 000 BP in dem Profil '910 m' (Fig. 4) mit diesen Süswasserereignissen in Zusammenhang zu bringen. Zur Bildung flächenhafter Süswassersedimente (z.B. Seekreide) kam es nicht mehr. Daher dürfen die Indizien für das (oder die) Süswasserereignis(se) des Spätglazials und/oder frühen Holozäns paläoklimatisch nicht überbewertet werden.

Das Holozän selbst kann anhand der limnischen Sedimente und geomorphologischen Erscheinungen nicht wesentlich gegliedert werden. Allein um 2 200 BP ergeben sich Hinweise auf geringe geökologische Veränderungen infolge einer leichten Verstärkung der Humidität.

Der Vollständigkeit halber sei angemerkt, dass aus den Beschreibungen von Passarge (1904) in Verbindung mit meinen Datierungen hervorgeht, dass vermutlich im Ngami-Gebiet vor über 30 000 BP weitere Süswassersee-Phasen bestanden haben und dass andererseits die Sedimente für grosse Abschnitte des Mittelwürms gleiche oder ähnliche Brackwasserseen belegen, wie sie für das Hochglazial charakteristisch waren. Somit sind die Phasen der Süswasserseen 'Ausnahmesituationen' während der letztkaltzeitlichen Entwicklung. Das Holozän unterscheidet sich von der letzten Kaltzeit dadurch, dass weder grössere, länger andauernde Süswassersee-Phasen noch Brackwassersee-Phasen existierten. Diese Befunde veranlassten Passarge (1904) von einer grossen Pluvialzeit und deren Abklingen bis zur Gegenwart (= Austrocknung des Inneren Südafrika) zu sprechen.

Argumente für hochglaziale pluviale Seespiegel?

Gegen die Vorstellung, dass die maximalen letztkaltzeitlichen Seenbildungen vor dem letzten Hochglazial auftraten, wandte sich Cooke (1979: 107). Dabei bezog sich Cooke (1979) auf eine Anzahl von ^{14}C -Daten von Höhlensintern und Calcretes in Tälern der Kwihahe Berge im nordwestlichen Ngamiland etwa 300 km westlich des Makarikari-Beckens (Cooke & Verhagen 1977, Grey & Cooke 1977). Diese Daten sollen nach Cooke (1979) feuchte Bedingungen zwischen 16 000 und 13 000 BP anzeigen. Auch wird von Cooke (1979) be-

zweifelt, dass der ältere See ausgedehnter war als der jüngere; dies wird nicht stratigraphisch, sondern geomorphologisch belegt: Die Uferbereiche des kleineren Sees sind stärker zerschnitten und damit älter als die weniger zerstörten Uferformen des grösseren Sees. Inzwischen hat Cooke (1984: 276 f.) ebenfalls den höheren Seespiegel (945 m) als den älteren erkannt, den niedrigeren (920 m) als den jüngeren, ungeachtet seiner früheren morphologischen Schlussfolgerung (Cooke 1979).

Problematisch bleiben jedoch die Datierungen der verschiedenen pluvialen Phasen bei einem Vergleich zwischen meinen Ergebnissen und denen von Cooke (zuletzt 1984).

Die von Cooke (1984) publizierte Chronologie der Makarikari-Seespiegelschwankungen basiert auf folgenden Annahmen: 1. Wenn Calcretes im Makarikari-Becken in tiefen Lagen gebildet werden, muss der Seespiegel entsprechend niedrig gewesen sein; 2. Calcretes der Strandterrassen wurden \pm in einer Höhenlage gebildet, in der der Seespiegel lag; und 3. Calcretes im Liegenden von Strandwällen und Dünen sind älter als die sie bedeckenden Sedimente. Damit wird die Chronologie der Seespiegelschwankungen nicht stratigraphisch und in Verbindung mit einer paläontologischen sowie sedimentologischen Bearbeitung der Sedimente ermittelt, sondern rein morphologisch, nämlich aufgrund der Höhenlage der Calcretes. In Figur 5 sind die Daten Cookes (1984) erfasst. Da die Altersbestimmung von Calcretes mittels ^{14}C immer nur orientierende Angaben liefern kann (Geyh 1983, Netterberg 1978, Blümel 1982), können die absoluten Werte von Cooke (1984) nur sehr eingeschränkt Verwendung finden. Zum anderen können die ermittelten Calcrete-Alter von über 25 000 BP bis $> 46\,000$ BP wohl kaum in der Weise interpretiert werden, dass das jeweilige Alter auch das Jahrtausend der Calcrete-entstehung bei entsprechend niedrigen Seespiegeln ausweist (vgl. Arakel 1986). Schon Passarge (1904: 505 ff.) beschreibt beispielsweise aus der Pfanne von Ntshokutsa (= Rysana Pan bei Cooke (1984: 274)) verschiedene Kalksandsteine und Sinterkalke; wenn Cooke (1984) eine Calcrete vom Ostrand dieser Pfanne in 911 m Höhe auf $46\,200^{+1\,700}_{-1\,400}$ BP datiert, daraus niedrige Seespiegel um 46 000 BP und ein subhumides bis semi-arides Klima ableitet, dann zeigt sich die Fragwürdigkeit dieses methodischen Vorgehens.

Allein die ^{14}C -Alter der Proben (Cooke & Verstappen 1984), die nicht aus Calcrete bestehen, führen zu ergänzenden Aussagen. Südlich von Tsoi wurden weicher Calcrete (= mürber Kalksandstein = Brackwassersediment i.S. Passarges) auf $19\,680 \pm 100$ BP und $19\,420 \pm 160$ BP und ein Torf auf $19\,160 \pm 250$ BP datiert (Cooke (1984) gibt unter denselben Labornummern leicht abweichende Alter an). Eindeutig belegt die Torfprobe einen niedrigen Seespiegel um 19 600 BP, was den eigenen Befunden entspricht: Austrocknung eines Süßwassersees um c. 19 000 BP. Gleichzeitig dokumentieren die Angaben von Cooke (1984) dass nach c. 19 000 BP keine Brackwassersedimente mehr über dem Torf bzw. den 'Soft Calcretes' sedimentiert wurden. Somit finden sich hier Hinweise auf eine gegenüber dem Botletle-Gebiet differenzierte Entwicklung. Bei Tsoi bedecken fluviale Deltasedimente und äolische Sande die

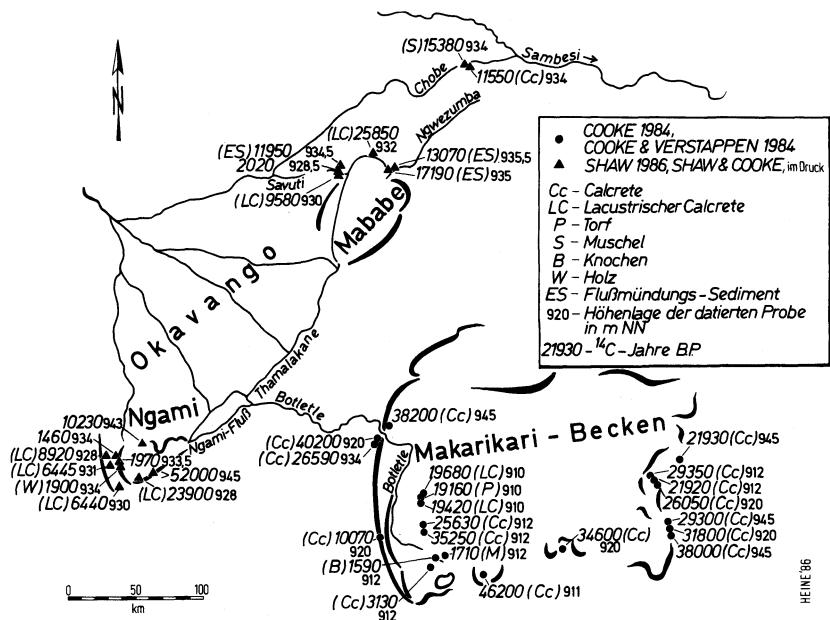
Torfe und 'Soft Calcretes' (Cooke & Verstappen 1984). Hochglaziale Brackwassersedimente sind nicht ausgebildet; das Hochglazial scheint durch die äolischen Sande repräsentiert zu werden.

Bei Zhumo werden 'Soft Calcretes' eines früheren Flussufers auf $3\,130 \pm 50$ BP, bei Toromoja Knochen einer Terrasse auf $1\,590 \pm 70$ BP und Muscheln einer Terrasse der Gwi-Pfanne auf $1\,710 \pm 35$ BP datiert. Alle Daten fallen in das jüngere Holozän.

Den Beobachtungen von Cooke (1984) und Cooke & Verstappen (1984) ist zu entnehmen, dass der Gidikwe Ridge verschiedene Calcrete-Horizonte enthält; auch Breyer (1982) gibt dazu Auskunft. Nach Breyer (1982) wird der Gidikwe Ridge 35 km westlich von Rakops aus Fein- bis Mittelsanden aufgebaut, die in 2 bis 4 m und in 10 bis 30 m Tiefe von weissem Calcrete abgelöst werden. Bei diesem 'weissem Calcrete' handelt es sich um den Kalksandstein Passarges (1904), den dieser unter dem 'Grasland' festgestellt hat. Ob diese Sedimente ein innerwürmzeitliches Alter haben, ist ungewiss. Aus den Befunden geht jedoch hervor, dass der Gidikwe Ridge in seiner Anlage älter als die mittelmwürmzeitlichen Brackwasserablagerungen ist und dass der Gidikwe Ridge mehrere Phasen der Bildung aufweist. Er trennt die Brackwasser- und Süßwassergebiete des Ngami-Botletle-Gebiets von denen der Makarikari-Pfannen. Daher zeigen die Profile westlich und östlich des Gidikwe Ridge verschiedene lokale Abfolgen; für das westliche Gebiet (Ngami-Botletle) ergibt sich eine stärkere Differenzierung zwischen Süßwasser- und Brackwasserphasen, vermutlich infolge wiederholter Staus des Botletle-Wassers vor dem (sich während der Brackwasserphasen weiterbildenden) Gidikwe Ridge. Angemerkt sei hier auch, dass Passarge (1904: 392) dieselben Beobachtungen von den Strandwällen westlich des Ngami-Sees beschreibt, wo ebenfalls 'härtere Kalksandsteine' die Böschung bilden.

Shaw (1986) nennt einen ausgedehnten See im Bereich der Ngami-Mababe-Achse, der auf c. 17 000-12 000 BP datiert wird. Da Shaw (1986) methodisch in seinen Arbeiten wie Cooke vorgeht, sollen einige Anmerkungen zu seinen publizierten ^{14}C -Daten gemacht werden. 'Lacustrine bed calcretes' – sie entsprechen den Kalksandsteinen Passarges (1904) –, die von jüngeren Sedimenten bedeckt werden, haben im westlichen Ngami-Becken (Setsau-Bay) (Fig. 5) ein Alter von $23\,900 \pm 500$ BP und in der Goha-Pfanne des Mababe-Beckens $25\,850 \pm 500$ BP. 'High level estuarine sediments' des Savuti-Flusses und des Ngwezumba-Flusses vor Eintritt in die Mababe-Depression wurden auf $11\,950 \pm 110$ BP, $13\,070 \pm 140$ BP und $17\,190 \pm 210$ BP datiert. Schliesslich liegen ^{14}C -Alter für jüngere holozäne 'lacustrine bed calcretes' aus dem Ngami-Becken vor: $6\,440 \pm 110$ BP, $6\,445 \pm 35$ BP und $8\,920 \pm 140$ BP.

Weder Shaw (1986) noch Cooke (1984) nehmen meine Unterscheidung der limnischen Ablagerungen in Brackwassersedimente und Süßwassersedimente vor, wie es Passarge (1904) aufgrund der bis heute umfangreichsten mineralogischen, paläontologischen und mikropaläontologischen Untersuchungen getan hat. Daher kann nicht beurteilt werden, ob die 'lacustrine bed calcretes' Brackwasser- oder/und Süßwasserablagerungen sind, was für deren



Figur 5. ¹⁴C-Alter in Abhängigkeit von Höhenlage und Fundregion, zusammengestellt aufgrund der Arbeiten von Cooke (1984), Cooke & Verstappen (1984), Shaw (1986) und Shaw & Cooke (im Druck)

Deutung hinsichtlich niedriger oder hoher Seespiegel unerlässlich ist. Die ¹⁴C-Alter von c. 24 000 und 26 000 BP können somit nicht interpretiert werden. Wenn man sich der Beurteilung von Shaw (1986) anschliesst, wären um 26 000-24 000 BP im Ngami- und Mababe-Becken bereits Brackwasserverhältnisse, d.h. niedrige Seespiegel ausgebildet.

Die 'high level estuarine sediments' am Rande der Mababe-Pfanne, die von Shaw (1986) als Belege für hohe Seespiegel gedeutet werden, die wiederholt zwischen 17 000 und 12 000 BP auftraten, wurden zur Zeit der Brackwassersedimente, die vom Ngami-Fluss und Botletle beschrieben wurden, abgelagert. Die 'high level estuarine sediments' und die jüngsten, bis nahezu 940 m Höhe reichenden Brackwasserablagerungen am Botletle (Fig. 4) gehören dem letzten Hochglacial an; in den Makarikari-Pfannen gibt es keine vergleichbaren Ablagerungen. Damit wird erneut das Problem aufgeworfen, inwieweit – möglicherweise tektonisch bedingt (vgl. Cooke 1980) – das Gebiet des östlichen Okavango-Deltas zwischen Ngami-Becken und Mababe-Depression einen vom Gebiet der Makarikari-Pfannen abweichenden Rhythmus der Seespiegelschwankungen aufwies.

Nicht eindeutig können die 'lacustrine bed calcretes' der Dautsa Flats des

Ngami-Beckens (Fig. 5) interpretiert werden; Shaw (1986) sieht in ihnen Hinweise auf einen niedrigen Seespiegel. Für das Holozän stimmen die Angaben über einen höheren Seespiegelstand sowohl im Ngami- als auch im Mababe-Becken zwischen c. 2 000-1 500 BP mit den o.a. Indikatoren feuchterer Verhältnisse fast überein.

Folgende Hinweise auf Seespiegelschwankungen können den Arbeiten von Cooke (1984), Cooke & Verstappen (1984) und Shaw (1986) entnommen werden, wenn allein die zweifelsfrei paläoökologisch interpretierbaren Befunde bewertet werden:

1. Zwischen 26 000 und 24 000 BP herrschten im Ngami- und Mababe-Becken Brackwasser- und/oder Süßwasserablagerungen vor.
2. Seit 19 000 BP werden im Makarikari-Pfannengebiet keine Süß- und Brackwassersedimente mehr abgelagert.
3. Zwischen c. 17 000 und 12 000 BP werden im Mababe-Randbereich Flussmündungssedimente akkumuliert.
4. Im Holozän werden zwischen 9 000 und 6 000 BP im Ngami-Becken Brack- und/oder Süßwassersedimente gebildet.
5. Zwischen c. 2 000 und 1 500 BP gibt es aus verschiedenen Pfannen Hinweise auf feuchtere Verhältnisse.

Paläoklimaindikatoren aus benachbarten Gebieten

Stalaktiten aus Karsthöhlen der Kwihabe-Berge (Cooke & Verhagen 1977; Shaw & Cooke, im Druck) wurden aufgrund der vorliegenden ^{14}C -Daten vorwiegend zwischen 45 000-37 000 BP, 34 000-29 000 BP und 16 000-13 000 BP und während des Holozäns zwischen c. 6 000 und 750 BP gebildet (Fig. 2).

Archäologische Untersuchungen der Gi-Pfanne nördlich der Aha-Berge geben Aufschluss über Chronostratigraphie der Gi-Pfannensedimente. Zwei Phasen mit lakustrischen Kalkablagerungen werden auf über rund 31 000 BP und über rund 22 000 BP datiert (Helgren & Brooks 1983). Hinweise auf jüngere limnische Sedimente liefert die Gi-Pfanne nicht.

Aus dem Gebiet der südwestlichen Makarikari-Pfannen beschreibt Helgren (1984) Funde von 'Early Stone Age'-Artefakten, die auf der 945 m-Strandlinie liegen; das 'Early Stone Age' endete im südlichen Afrika vor über 200 000 Jahren. Weiterhin werden für das frühe und mittlere Holozän Deltaschüttungen des Botletle im Gebiet zwischen Rakops und dem Xau-See sowie wiederholte seichte Seebildungen und Calcrete-Bildung im 912 m-Niveau genannt. Auch das späte Holozän weist noch – bei etwas stärkerer Austrocknung der Pfannen – leichte Schwankungen der Wasserführung des Botletle auf.

Da in der vorliegenden Zusammenstellung die direkten Zeugen jungquartärer Seespiegelschwankungen vergleichend diskutiert werden sollen, wird darauf verzichtet, weitere – vor allem indirekte und nicht hinreichend datierbare – Paläoenvironment-Indikatoren zu nennen.

ZUSAMMENFASSUNG DER BEFUNDE

Die Rekonstruktion jungquartärer Seespiegelschwankungen in der Mittleren Kalahari wurde auf zwei verschiedenen Wegen versucht, die sich methodisch grundsätzlich voneinander unterscheiden:

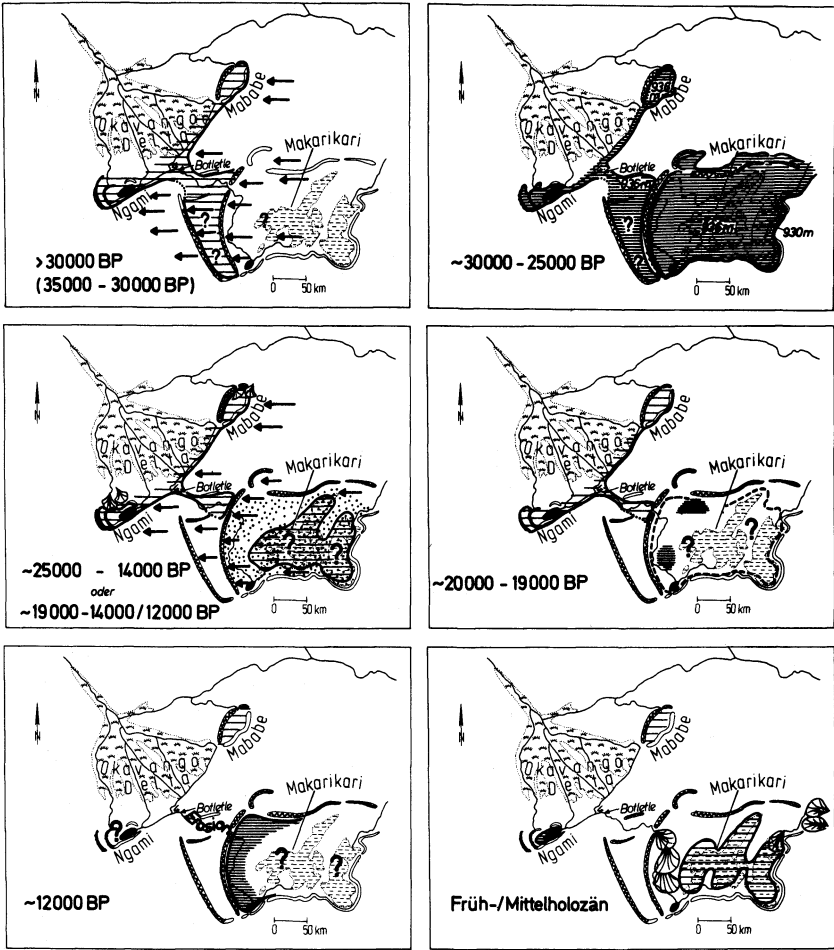
1. Passarge (1904) und Heine (1978a und b, 1979, 1982) erarbeiten eine Stratigraphie der jungquartären Sedimente. Vor allem auf der Grundlage der detaillierten Angaben von Passarge (1904) kann Heine (1982) eine grobe Chronostratigraphie der limnischen Ablagerungen geben, die pluvialen Seehochständen zugeschrieben werden können. Da die pluvialen jungquartären Seen der Mittleren Kalahari geologisch-paläontologisch-sedimentologisch und stratigraphisch ermittelt wurden, konnten diese bisher nur hypothetisch dem geomorphologischen Formenschatz (wie Strandwälle, Seespiegelniveaus) zugeordnet werden. Aussagen waren über die Ausdehnung der jungquartären Pluvialseen mit gewissen Einschränkungen möglich, nicht jedoch über die Höhe der verschiedenen Seespiegelstände.

2. Cooke (1984), Cooke & Verstappen (1984) und Shaw (1986) ermitteln jungquartäre Pluvialseen in der Mittleren Kalahari mit morphologischen Methoden, d.h. aus der Höhenlage von Calcretes und der paläoklimatischen Interpretation der Calcrete-Bildung. Ergänzend werden lakustrische und Flussmündungssedimente berücksichtigt.

Die sedimentologischen und paläontologischen Untersuchungen haben ergeben, dass in der Mittleren Kalahari im Ngami- und Makarikari-Gebiet einerseits Brackwassersedimente gebildet wurden, und zwar bei ständig sich wiederholenden Überflutungen und Trockenfallen der Pfannen, und andererseits Süßwassersedimente akkumulierten, die längere Phasen relativ starker Süßwasserzufuhr in die Pfannengebiete dokumentieren. Bei Cooke (1984), Cooke & Verstappen (1984) und Shaw (1986) wird nicht zwischen jungquartären Phasen mit Süßwassersee-Bildung und Brackwasserverhältnissen unterschieden (Fig. 2). Heine (1978a und b, 1979, 1982) hat bisher nur die Süßwassersee-Phasen als pluviale Phasen ausgewiesen, während die Brackwasser-Phasen nicht den pluvialen Episoden zugerechnet wurden.

Eine erneute kritische Bewertung der vorliegenden Literatur in Verbindung mit weiteren sedimentologischen Untersuchungen kommt zu wesentlich differenzierten Vorstellungen über die jungquartäre Geschichte der Seespiegelschwankungen in der Mittleren Kalahari und deren paläoklimatischen Informationsgehalt (Fig. 6).

Die ältesten datierten Süßwassersedimente haben ^{14}C -Alter zwischen 30 000 und 19 000 BP. Daraus wurde von mir früher eine pluviale Phase abgeleitet. Aufgrund der heute vorliegenden Erkenntnisse muss diese Anschauung modifiziert werden. Im Makarikari-Pfannen-Gebiet sind Süßwassermuscheln bei Nata und im Profil '910 m' bestimmt und datiert worden; diese Süßwasserfaunen entstammen keinen mächtigen limnischen Schichtpaketen, sondern geringmächtigen Lagen, die bei Nata Uferfazies haben. Es ist nicht auszuschließen, dass die Süßwassermollusken-Faunen der Makarikari-



Figur 6. Paläogeographische Skizzen jungquartärer Seespiegelschwankungen in der Mittel-Kalahari

Pfannen keine ausgedehnten Süsswasserseen dokumentieren, sondern als Ablagerungen perennierender Flüsse gedeutet werden müssen. Dagegen spricht bei Nata jedoch die Lage des Profils im Uferlinienbereich eines ehemaligen Sees. Die Fauna des Profils bei Nata belegt Süsswasserbedingungen; die ^{14}C -Daten weisen auf die Zeit um 25 000-28 000 BP; die limnischen Ablagerungen im Liegenden der muschelführenden Schicht zeigen, dass ältere limnische Sedimente in der nördlichen Sua-Pfanne gebildet worden sind. Die bei Grove (1969: 203) erwähnte Middle Stone Age-Jägersiedlung am Nata-Delta ohne wesentliche Sedimentbedeckung ist ebenfalls ein Hinweis auf das prä-MSA-Alter des grösseren pluvialen Makarikari-Sees, und dass post-MSA-zeitlich nur 'kleinere' Pluvialseen existiert haben.

Das Profil '910 m' in der nordwestlichen Makarikari-Depression dokumentiert um 19 000 BP noch Süsswasserbedingungen, entweder eines grösseren Sees oder perennierender Gewässer. Die Daten von Cooke (1984) ergänzen diesen Befund, indem sie um 19 000 BP bei Tsoi Torf- und limnische Sedimentbildung erkennen lassen.

Ob zwischen c. 25 000 und 19 000 BP Süsswasser- und/oder Brackwasserseen in der Makarikari-Pfanne existierten, bleibt vorerst unklar.

Nach c. 19 000 BP wurden nur bei Meno a Kwena unmittelbar östlich des Gidikwe Ridge Brackwassersedimente von c. 2 m Mächtigkeit in der Makarikari-Depression sedimentiert (Fig. 3). Hinweise auf Bildung gleichalter und gleichartiger Sedimente gibt es in den Makarikari-Pfannen bisher nicht.

Im Ngami/Botletle-Fluss-Gebiet tritt uns eine abweichende Sedimentabfolge entgegen. Vor über c. 30 000 BP herrschten Brackwasserbedingungen; zwischen c. 30 000 und 25 000 BP wurden Süsswassersedimente gebildet; es folgte eine Calcrete-Bildungsphase unbestimmter Dauer; anschliessend trat wieder Sedimentbildung im Brackwassermilieu ein, bis erneute Calcrete-Bildung im Spätpleistozän/Frühholozän einsetzte. Die letzte Phase der Akkumulation unter Brackwasserbedingungen im Botletle- und Ngami-Fluss-Gebiet zwischen c. 19 000 und 14 000/12 000 BP hat kein Äquivalent in den Makarikari-Pfanne. Als Erklärung für dieses Phänomen wird angenommen, dass nach 25 000 BP der Gidikwe Ridge, der bereits seit dem Mittelpleistozän bestand (Helgren 1984: 301), erneut erhöht wurde, was zur Abdämmung des Botletle führte; so konnten die gelegentlichen Fluten des Botletle nicht in die Makarikari-Depression abfliessen. Die Bildung wiederholter Brackwasserseen westlich des Gidikwe Ridge war die Folge. Die 'estuarine sediments' i.S. von Shaw (1986) wurden in diese temporären Brackwasserseen geschüttet.

Aufgrund dieser Befunde ist es nicht mehr erforderlich, die Höhenlage der Brackwassersedimente und der 'high level estuarine sediments' mit jeweils einem ausgedehnten See im Makarikari-Ngami-Mababe-Gebiet (Seespiegelhöhe in 945 bzw. 936 m) zu erklären; fragwürdige Wasserhaushaltsberechnungen für das letzte Hochglazial (vgl. u.a. Ebert & Hitchcock 1978, Shaw 1986) werden damit überflüssig.

Nach Bildung der hochglazialen Brackwassersedimente westlich des Gidikwe Ridge konnte – vielleicht mit einer geringen Zunahme des Süsswasserangebots

– der Gidikwe Ridge vom Botletle durchbrochen werden. Der Botletle schuf seine cañon- und kanalartigen Talabschnitte, indem er sich in die Brackwasser-sedimente (= hangende Kalaharikalke i.S. Passarges (1904)) einschnitt. Im Makarikari-Becken ist diese Phase durch die liegenden, klakreichen und Süss- wie Brackwasserdiatomeen-führenden Kalaharisande belegt, die mit scharfer Grenze den älteren Makarikari-Pfannen-Brackwassersedimenten aufliegen.

Für das Holozän ist eine teilweise Erosion der Kalaharikalke und Kalahari-sande in der westlichen Makarikari-Depression belegt, ausserdem die Schüt-tung verschiedener flacher Schwemmfächer des Botletle in die westliche De-pression, sowie Fächerschüttungen des Okwa im Südwesten und Nata im Nordosten. Mehrere kurze limnische Phasen sind für alle Becken (Ngami, Mababe, Makarikari) nachgewiesen; nur um c. 2 000-1 500 BP kann mit einer klimatisch gesteuerten feuchteren Phase gerechnet werden.

Schliesslich sei hervorgehoben, dass die Beobachtungen von Passarge (1904) bereits andeuten, dass die Ngami- und Makarikari-Becken relativ alter Entste-hung sind, denn sie sind mit Sedimenten gefüllt, die nicht nur dem Jungquar-tär angehören. Die Hinweise Passarges (1904) auf das Vorkommen von Bot-letle-Schichten im Liegenden der grossen Sandwälle (= Strandwälle) bezeugen die alte Anlage der Pfannen und deren Uferwälle. Die 945 m-Uferlinie wird daher mit Recht von Helgren (1984) in ihrer ersten Anlage in das späte Mittel-pleistozän (> 200 000 a) gestellt. Die Entstehung der abflusslosen Pfannen der Mittelkalahari kann das Ergebnis pluvialer endorheischer Abtragung in epirogenetisch (Depressionen) und stratigraphisch (Kalahari Beds, vgl. Dingle et al. 1983: 290 ff.) vorgegebener Lage sein, wie es kürzlich Rust (1985) von der Etoscha-Pfanne beschrieben hat.

Abschliessend darf nicht unerwähnt bleiben, dass die vorliegende Zusam-menschau die bisherigen Vorstellungen starker hygrischer Klimaschwankungen während des Jungquartärs relativiert. Zweifellos sind die Süsswassersedimente Hinweise auf eine grössere Humidität, die durch veränderte jungquartäre Niederschlags/Evaporations-Verhältnisse bedingt sind; da während der Süss-wasserperioden die äolische Morphodynamik unbedeutend war, müssen die ökologischen Verhältnisse humider als heute gewesen sein.

Auch die Brackwasserperioden unterscheiden sich von der gegenwärtigen geoökologischen Situation der Mittel-Kalahari. Einerseits bezeugen sie stärkere Kalkabscheidung in den Brackwasserseen. Passarges (1904) 'Perioden der Kalk-lösungen' werden durch die Untersuchungen von Watts (1980) an Sedimenten der südwestlichen Makarikari-Pfannen bei Mopipi bestätigt. Inwieweit die Vor-gänge der Kalkbildung noch anhalten, ist nicht bekannt.

Eine paläoklimatische Ausdeutung der geschilderten Befunde soll an dieser Stelle vorerst nicht erfolgen. Betont werden muss, dass das Klima im Jung-quartär im ganzen semi-arid war; Episoden zeigten mitunter ein etwas humideres oder auch etwas arideres Klima. Ob diese graduellen Schwankungen durch eine Veränderung des thermischen Trends oder durch eine Veränderung des hygrischen Trends oder durch beides während der jeweiligen Phasen verur-sacht wurden, kann nicht entschieden werden. Feuchtere Verhältnisse scheinen

an Phasen abkühlungszeitlicher Intensivierung (30 000-25 000 BP) und erwärmungszeitlicher Abschwächung (14 000-10 000 BP) des globalen thermischen Gradienten im südlichen Afrika gebunden zu sein; das letzte Hochglacial war keine besonders feuchte Phase.

DANKSAGUNG

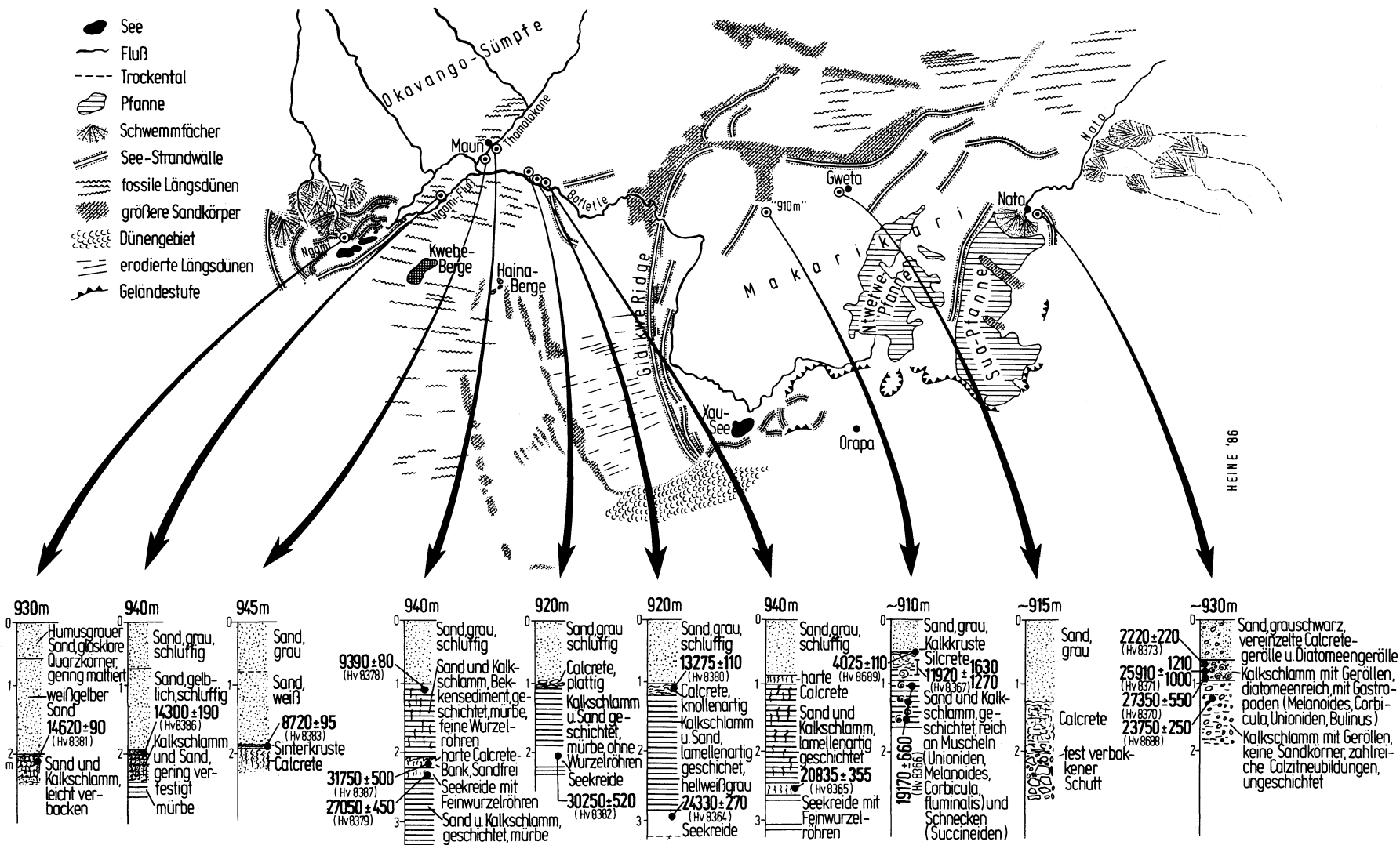
Ich danke der Deutschen Forschungsgemeinschaft für Reise- und Sachbeihilfen, Herrn M.A.Geyh für zahlreiche ^{14}C -Analysen und Diskussionen, und Herrn R.Huckriede für Mollusken-Bestimmungen. Besonders verpflichtet bin ich Herrn E.M.van Zinderen Bakker Sr. und Frau J.A.Coetzee für mannigfache Hilfe bei meinen Arbeiten und anregende Erörterungen. Schliesslich gilt mein Dank meiner Frau und meinen Kindern, die am Gelingen der Geländearbeiten grossen Anteil hatten.

LITERATUR

- Arakel, A.V. 1986. Evolution of calcretes in Palaeodrainages of the Lake Napperby area, central Australia. *Palaeogeogr., Palaeoclimat., Palaeoecol.* 54: 283-303.
- Blümel, W.D. 1982. Calcretes in Namibia and SE-Spain. Relations to substratum, soil formation and geomorphic factors. *Catena Suppl.* 1: 67-82.
- Bond, G. & R.F.H.Summers 1954. A late Still Bay hunting camp site on the Nata River, B.P. *S.Afr. arch. Bull.* 9: 89-95.
- Breyer, J. 1982. Reconnaissance geomorphological terrain classification, lower Boteti region, northern Botswana. *ITC Journal* 1982 (3): 317-323.
- Brown, D.S. 1978. Freshwater molluscs. In M.A.Werger (ed.), *Biogeography and ecology of Southern Africa*: 1153-1180. The Hague: Junk.
- Cooke, H.J. 1975. The palaeoclimatic significance of caves and adjacent landforms in western Ngamiland, Botswana. *Geogr. J.* 141: 430-444.
- Cooke, H.J. 1979. K.Heine: Radiocarbon chronology of Late Quaternary lakes in the Kalahari, Southern Africa. A discussion. *Catena* 6: 107.
- Cooke, H.J. 1980. Landform evolution in the context of climatic change and neo-tectonism in the Middle Kalahari of north-central Botswana. *Trans. Inst. Brit. Geogr.* NS 5: 80-99.
- Cooke, H.J. 1984. The evidence from northern Botswana of Late Quaternary climatic change. In J.C.Vogel (ed.), *Late Cainozoic palaeoclimates of the southern hemisphere*: 265-278. Rotterdam: Balkema.
- Cooke, H.J. & B.Th.Verhagen 1977. The dating of cave development – an example from Botswana. In *Proc. 7th Intern. Spel. Congr. (Sheffield, UK)*: 122-124.
- Cooke, H.J. & H.Th.Verstappen 1984. The landforms of the western Makgadikgadi basin in northern Botswana, with a consideration of the chronology of the evolution of Lake Palaeo-Makgadikgadi. *Z. Geomorph. N.F.* 28: 1-19.
- Deacon, J., I.N.Lancaster & L.Scott 1984. Evidence for Late Quaternary climatic change in southern Africa. Summary of the proceedings of the SASQUA Workshop held in Johannesburg, September 1983. In J.C.Vogel (ed.), *Late Cainozoic palaeoclimates of the southern hemisphere*: 391-404. Rotterdam: Balkema.
- Dingle, R.V., W.G.Siesser & A.R.Newton 1983. *Mesozoic and Tertiary geology of Southern Africa*. Rotterdam: Balkema. 375 pp.
- Ebert, J.I. & R.K.Hitchcock 1978. Ancient Lake Makgadikgadi, Botswana: mapping, measurement and palaeoclimatic significance. *Palaeoecol. of Africa* 10: 47-56.

- Geyh, M.A. 1983. Physikalische und Chemische Datierungsmethoden in der Quartärforschung. *Clausthaler Tektonische Hefte* 19: 1-163.
- Grey, D.R.C. & H.J.Cooke 1977. Some problems in the Quaternary evolution of the landforms of northern Botswana. *Catena* 4: 123-133.
- Grove, A.T. 1969. Landforms and climatic change in the Kalahari and Ngamiland. *Geogr. J.* 135: 191-212.
- Heine, K. 1977. Beobachtungen und Überlegungen zur eiszeitlichen Depression von Schneegrenze und Strukturbodengrenze in den Tropen und Subtropen. *Erdkunde* 31: 161-178.
- Heine, K. 1978a. Jungquartäre Pluviale und Interpluviale in der Kalahari (südliches Afrika). *Palaeoecol. of Africa* 10: 31-39.
- Heine, K. 1978b. Radiocarbon chronology of Late Quaternary lakes in the Kalahari, Southern Africa. *Catena* 5: 145-149.
- Heine, K. 1979. Reply to Cooke's discussion of: K.Heine: Radiocarbon chronology of Late Quaternary lakes in the Kalahari, Southern Africa. *Catena* 6: 259-266.
- Heine, K. 1982. The main stages of the Late Quaternary evolution of the Kalahari region, Southern Africa. *Palaeoecol. of Africa* 15: 53-76.
- Helgren, D.M. 1984. Historical geomorphology and geoarchaeology in the Southwestern Makgadikgadi Basin, Botswana. *Ann. Ass. Amer. Geogr.* 74: 298-307.
- Helgren, D.M. & A.S.Brooks 1983. Geoarchaeology at Gi, a Middle Stone Age and Later Stone Age site in the Northwestern Kalahari. *J. Archaeol. Sci.* 10: 181-197.
- Jones, C.R. 1982. The Kalahari of Southern Africa. *Striae* 17: 20-34.
- Lancaster, I.N. 1979a. Evidence for a widespread late Pleistocene humid period in the Kalahari. *Nature* 279: 145-146.
- Lancaster, I.N. 1979b. Quaternary environments in the arid zone of southern Africa. *Environmental Studies, Univ. of Witwatersrand Occ. Pap.* 22: 1-77.
- Lancaster, I.N. 1981. Palaeoenvironmental implications of fixed dune systems in southern Africa. *Palaeogeogr., Palaeoclimat., Palaeoecol.* 33: 327-346.
- Mallick, D.I.J., F.Habgood & A.C.Skinner 1981. A geological interpretation of Landsat imagery and air photography of Botswana. *Overseas Geol. and Min. Resources, Inst. Geol. Sci. (London)* 56: 1-35.
- Netterberg, F. 1978. Dating and correlation of calcretes and other pedocretes. *Trans. geol. Soc. S.Afr.* 81: 379-391.
- Passarge, S. 1904. *Die Kalahari. Versuch einer physisch-geographischen Darstellung der Sandfelder des südafrikanischen Beckens*. Berlin: Reimer. 822 pp. + Kartenband.
- Reeves, C.V. 1974. The gravity survey of Ngamiland 1970-71. Part II: Interpretation. Rep. Geol. Surv. Botswana, No. CVR/20/74 (unpublished).
- Rust, U. 1985. Die Entstehung der Etoschafanne im Rahmen der Landschaftsentwicklung des Etoosha Nationalparks (nördliches Südwestafrika/Namibia). *Madoqua* 14: 197-266.
- Shaw, P. 1986. The palaeohydrology of the Okavango Delta. Some preliminary results. *Palaeoecol. of Africa* 17: 51-58.
- Shaw, P. & H.J.Cooke (im Druck). Geomorphic evidence for the Late Quaternary palaeoclimates of the Middle Kalahari of northern Botswana. *Catena*.
- Street, F.A. & A.T.Grove 1976. Environmental and climatic implications of late Quaternary lake-level fluctuations in Africa. *Nature* 261: 385-390.
- Street, F.A. & A.T.Grove 1979. Global maps of lake-level fluctuations since 30,000 yr. B.P. *Quaternary Research* 12: 83-118.
- Van Zinderen Bakker, E.M. 1982. African palaeoenvironments 18 000 yrs BP. *Palaeoecol. of Africa* 15: 77-99.
- Watts, N.L. 1980. Quaternary pedogenic calcretes from the Kalahari (southern Africa): mineralogy, genesis and diagenesis. *Sedimentology* 27: 661-686.

Abbildungen 3 und 4 treffen Sie im Einsteckfach am Ende des Bandes an.



Figur 4. Geomorphologisch-stratigraphische Karte aufgrund eigener Geländearbeiten