

Sitzungsberichte

der

mathematisch-naturwissenschaftlichen
Abteilung

der

Bayerischen Akademie der Wissenschaften

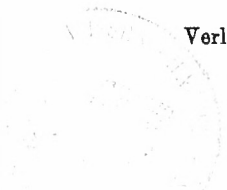
zu München

1926. Heft I

Januar- bis März-sitzung

München 1926

Verlag der Bayerischen Akademie der Wissenschaften
in Kommission des Verlags R. Oldenbourg München



Der Bau der südlichen Namib.

Fragen und Probleme der Geologie der Wüsten.

Von Erich Kaiser.

Vorgetragen in der Sitzung am 6. Februar 1926.

Die geologischen Untersuchungen, die ich vom Juli 1914 bis Mai 1919 in Südwestafrika durchführen konnte und in den späteren Jahren ausarbeitete, verdichteten sich schon im Laufe der langen Arbeitszeit draußen immer mehr zu der Aufgabe, Beiträge zur Erkenntnis des Wüstenbildes vom geologischen Standpunkte aus zu sammeln und zu verarbeiten. Die wesentlichste Aufgabe ist dabei für den Geologen heute die Klärung der Frage nach der Bildung und Umbildung der Wüstensedimente, die Erforschung der Gesamtheit des Fragenkomplexes der Petrogenesis in der Wüste. Die Erklärung der heutigen Sedimentbildung der Wüste hat eben für die Geologie eine hervorragende Bedeutung wegen der Anwendung der Forschungsergebnisse auf die entsprechenden Schichten alter, fossiler Wüsten. Man hat ja früher schon immer wieder den Bedingungen der Sedimentbildung in der Wüste nachgespürt und dabei die gewonnenen Erfahrungen für die Deutung alter Wüstengebiete nutzbar zu machen gesucht. Aber Widerspruch ist dann immer wieder von neuem hervorgetreten. Denn alle derartigen Untersuchungen waren in ihrer Auswirkung meist dadurch behindert, daß dem betreffenden Forscher nicht die nötige Zeit zu einem tiefen Eindringen in das Wesen der Wüstenbildung an Ort und Stelle zu Gebote gestanden hatte. Die Ergebnisse von mehr oder weniger raschen Reisen durch die Wüste haben recht häufig zu weittragenden Folgerungen und damit zu Irrtümern Veranlassung gegeben.

Da es mir nun durch besondere Umstände beschieden war, lange Jahre in einem Wüstengebiete und in benachbarten Klima-

zonen zubringen zu müssen, so legte ich den Hauptwert darauf, durch eine bis ins einzelne gehende Spezialdarstellung die Fragen der Wüstenbildung zu klären. Wenn diese genau verfolgt werden soll, dann darf man nicht nur das an der Oberfläche einsetzende Geschehen betrachten, sondern mußte auch das umzuwandelnde Objekt in den Kreis der Betrachtungen ziehen. Genaueste Kenntnisse von Oberfläche und Untergrund sind in gleicher Weise zum Verständnis der Umformung, Umlagerung und Neubildung in der Wüste notwendig. Deshalb geht die Darstellung der Neubildungen in unserem Beispiele der südlichen Namib Südwestafrikas aus von einer geologischen Spezialuntersuchung in dem für derartige Auslandsforschungen nur unter besonderen Umständen, aber selten, gewählten großen Maßstabe 1:25 000. Kenntnisse der Altersfolge, des Aufbaus der einzelnen Schichten, ihrer Zusammensetzung und ihres Fossilinhaltes, wie endlich auch der Tektonik erwiesen sich mehr und mehr für die Fragen der Umbildung an der Oberfläche bedeutungsvoll. So wurde eine geologische Karte geschaffen, die schon für sich, wenn sie nur die Untergrundverhältnisse dargestellt hätte, wichtige Ergebnisse lieferte. Daß dabei auch Fragen des Gebirgsbaus, der petrographischen Eigenart eines in besonders schöner Ausbildung und großer Vielseitigkeit auftretenden Komplexes von Alkaligesteinen, endlich eingehende Fossiluntersuchungen durchgeführt werden mußten, ist selbstverständlich.

Andererseits aber durfte die Untersuchung der sedimentären Neubildungen in der Wüste nicht nur von dieser allein ausgehen. Die Übergänge in andere Klimagebiete mußten untersucht werden. Ja, es mußte die Wüste stets mit den anderen Klimazonen des ariden Klimareiches verglichen werden. Die Wüste zeigt uns ja eben nur die extremste Form der Umwandlungen im ariden Klimareiche, und die Sedimentneubildungen sind nur dann verständlich, wenn man auch die mächtigen und normalen Ausbildungen des ariden Klimareiches kennt. Deshalb war ein genaues Eingehen auf alle Sedimentationsvorgänge in ihrer Abhängigkeit von den klimatischen Erscheinungen notwendig. Das führte dann zu einer Gliederung aller Vorgänge, Erscheinungen und damit Sedimentbildungen nach ihrer Beziehung zum Klima. Wir wissen längst, wie manche Formen klimatisch vorbedingt sind, wie die Boden-

arten vom Klima abhängen, während die Fragen der sedimentären Bildung und Umbildung jüngster terrestrer Auflagerung auf der Erdoberfläche nur da und dort stückweise untersucht wurden. Wenn man aber, wie jetzt versucht wurde, diesen Abhängigkeiten nachspürt, so gliedern sich auch die Sedimentauflagerungen in der Wüste in solche, die in der heutigen Zeit noch weiter gebildet werden, und solche, die in einer mehr oder weniger lange zurückliegenden Vergangenheit gebildet wurden, Vorzeitsedimente sind. Das war aber nur dadurch möglich, daß bei der Untersuchung der Vorgänge der Sedimentation und der gebildeten Endprodukte immer wieder auf die Vorgänge in weit abliegenden Gebieten und in anderen Klimazonen übergegriffen wurde.

Wenn nun das Ergebnis dieser Untersuchungen jetzt vorgelegt werden kann¹⁾, so sind damit die angeschnittenen Fragen nicht restlos geklärt. Es bedarf noch weiterer Untersuchungen in ähnlichen Gebieten, um die Petrogenesis der Wüste als eines Teiles des ariden Klimareiches vollständig zu verstehen und damit auch die Grundlage für eine völlig einwandfreie Erkenntnis der alten Wüsten zu geben.

Ich will von den hier vorgetragenen Gesichtspunkten aus eine Übersicht über die in dem vorliegenden Werke erörterten wichtigeren Probleme geben, indem ich einzelne Fragen durch Vergleiche hier schon weiter auszugestalten suche und einige Punkte hervorhebe, die auf der nun gegebenen Grundlage in anderen extrem-ariden Gebieten näher nachgeprüft werden sollten.

I. Die Karten.

Die Grundlage der ganzen Darstellung ist die von Herrn Diplom-Bergingenieur Dr. W. Beetz und mir aufgenommene geologische Spezialkarte, die in 6 Blättern ein Gebiet umfaßt, das

¹⁾ Erich Kaiser, Die Diamantenwüste Südwestafrikas. Zugleich Erläuterung zu einer geologischen Spezialkarte der südlichen Diamantfelder 1:25000, aufgenommen von W. Beetz und E. Kaiser. Mit Beiträgen von W. Beetz, J. Boehm, R. Martin †, H. Rauff, M. Storz, E. Stromer, W. Weissermel, W. Wenz, K. Willmann. 2 Bände, Band I 321 Seiten mit 13 Karten, 4 Tafeln, 59 Abbildungen. Band II 535 Seiten, 52 Tafeln, 32 Stereobilder, 99 Abbildungen. Berlin 1926. Verlag von Dietrich Reimer (Ernst Vohsen) A. G. Preis M. 120. —

an der südwestafrikanischen Küste von 26° 58' bis 27° 39' südlicher Breite und von der Küste aus im allgemeinen 12—15 km landeinwärts reicht. Zu der geologischen Karte mußte die topographische Unterlage mit Höhengichtlinien aus den verschiedenartigen vorhandenen Karten der Diamantengesellschaften zusammengefaßt, zum Teil überarbeitet und zum großen Teil völlig neu aufgenommen werden. Zunächst nur als Handexemplar für den persönlichen Gebrauch ist auf Grund der topographischen Grundlage der geologischen Karten eine Höhengichtkarte nach der neuen farbenplastischen Methode von E. Kremling¹⁾ gezeichnet worden, welche in den Abhandlungen der B. Akademie der Wissenschaften veröffentlicht wird und dann eine wesentliche Ergänzung zu der geologischen Kartenaufnahme bieten wird, ohne daß eine der beiden Karten die andere zu ersetzen vermag.

Die geologische Karte liegt in 6 Blättern vor, zu denen ein Blatt Profile gehört, und wird ergänzt durch verschiedene Spezialkarten, die besondere Erscheinungen, wie die Verhältnisse am Granitberg, dem stockartigen Durchbruche von Elaeolithsyeniten mit einer äußerst reichen Ganggefölschaft, dann die Gangintrusionen in der Nachbarschaft eines anderen Syenitstockes, das Auftreten der Phonolithe in dem Klinghardtgebirge weiter im Innern, das Wandern der Wanderdünen, auch den tektonischen Bau des Untergrundes und das Verhältnis der Gangintrusionen zu der Tektonik des Untergrundes darstellen.

II. Der Untergrund.

Entsprechend der Forderung, daß die Wüstenbildungen immer in ihrer Abhängigkeit von dem Untergrunde studiert werden sollten, ist ein großer Teil des Werkes einer genauen Darstellung des Untergrundes gewidmet worden. Viele umfangreiche Beiträge zur Erkenntnis des Untergrundes hat dabei W. Beetz geliefert, der seine Ausführungen in dem vorliegenden Werke durch eine Reihe von weiteren Spezialuntersuchungen ergänzt hat²⁾.

¹⁾ E. Kremling, Die Farbenplastik in Vergangenheit und Zukunft. Mitteilungen der Geograph. Ges. München. 18. 1925. 363—428. Auch als Sonderdruck im Iro-Verlag München 1925.

²⁾ W. Beetz, The Konkop Formation on the Borders of the Namib Desert, North of Aus. Transact. of the Geol. Soc. of South Africa. Vol. 25. 1922.

Das Grundgebirge besteht aus krystallinen Schiefern mit verschiedenen alten Granitinjektionen. Das Stück Grundgebirge, das auf der geologischen Karte näher dargestellt und im Texte näher behandelt wird, bildet nur ein kleines Stück von der überaus weiten Ausdehnung ähnlicher Schichten in Südafrika und kann damit nur einen kleinen Beitrag zur Erkenntnis des Grundgebirgssockels bringen. Wenn auch der speziellen petrographischen Charakteristik des krystallinen Untergrundes kein so breites Ausmaß eingeräumt werden konnte, und vollends Vergleiche mit weiter abliegenden Gebieten fast völlig vermieden werden mußten, auch die Darstellung des Grundgebirges gegenüber den anderen Teilen des Werkes nicht so sehr hervorgehoben werden durfte, so gelang es doch, einige Spezialfragen zu fördern. So wurde Wert gelegt auf ein Studium der Granitinjektionen, welche Schicht für Schicht eindringend, ältere Gneise durch eine Injektionskontaktmetamorphose in hochmetamorphe Injektionsgneise umgewandelt haben. Durchträngung und Ausquetschung, auch mannigfache Umsetzungen führten zu abwechselnden Gesteinstypen, so daß es in diesem südwestafrikanischen Küstengebiet der südlichen Namib unmöglich war, zwischen primär sedimentären und eruptiven Gneisen scharfe Grenzen zu ziehen. Die granitischen, schichtartigen Injektionen gehen in größere linsenartige Injektionen über, die eine den Phakolithen von A. Harker ähnliche Form annehmen. Es handelt sich dann um einen konkordanten Injektionsverband der älteren Granite, der im Gegensatz steht zu den diskordanten Lagerungsformen der jüngeren granitischen Injektionen.

Die Phakolithe müssen in Beziehung stehen zu einer alten Faltung. Faltung und Granitinjektion sind gleichzeitig erfolgt.

Die Phakolithe gehören zu den abyssischen Tiefeninjektionen konkordanten Injektionsverbandes, während die Lakkolithe zu den hypoabyssischen Injektionsformen konkordanten Injektionsverbandes zu rechnen sind. Die Phakolithe verdanken

Ders., On a great Trough-Valley in the Namib, Ibidem 1924. 27. 1—38.
Ders., Beitrag zur Kenntnis der Stratigraphie der Konkipformation Südwestafrikas und der Erzvorkommen am Namibrand nördlich Aus. Neues Jahrb. f. Min., Beilage Bd. 50, S. 414—447, 1924. Ders., Über Glacialschichten an der Basis der Nama- und Konkipformation in der Namib Südwestafrikas. Erscheint im Neuen Jahrb. f. Min., Beilage Bd. 55 B. 1926.

ihre Entstehung einem passiven Hineinbewegen des Magmas in eine Lockerzone der Faltung, während das Magma in den Lakkolithen sich durch Emporheben des Daches seinen Raum selbst aktiv schafft¹⁾.

Die Injektionsgneise zeigen die ptygmatische Fältelung im Sinne von J. J. Sederholm auf weite Erstreckung hin.

Die verschiedenen granitischen Injektionen lieferten auch mannigfache, zum Teil diskordant durchsetzende Ganggesteine, von denen die erkannten lamprophyrischen, aber selbst wieder in Amphibolit umgewandelten Gänge eine besondere Behandlung erfahren mußten. Diese Amphibolite setzen häufig diskordant durch den ganzen Gesteinskomplex hindurch. Ein Vergleich mit vielen anderen Angaben aus den verschiedensten Gebieten zeigt, daß das Auftreten von zu Amphibolit umgewandelten lamprophyrischen Ganggesteinen im krystallinen Grundgebirge, die als basische Spaltprodukte zu den granitischen Injektionen des Grundgebirges gehören, gar nicht so selten beobachtet ist, und daß die noch in einigen Lehrbüchern zu findende Angabe, daß die geologische Erscheinungsform der Gänge im krystallinen Grundgebirge nicht bewahrt sei, unrichtig ist. Zu den bereits in dem Werke erwähnten, zu Amphibolit umgewandelten lamprophyrischen Ganggesteinen metamorpher Gesteinskomplexe wären auch noch neben anderen die Vorkommen zuzuzählen, die A. Wurm vor kurzem aus dem Fichtelgebirge beschrieben hat²⁾.

Stockartige basische Eruptiva treten als gabbro-dioritische Gesteine mehr außerhalb des auf den Karten dargestellten Gebietes auf. Zu beachten ist, daß bereits in dem krystallinen Grundgebirge ganz alte Amphibol-Peridotite (auch Websterit und Pyroxenit) aufsetzen, was im Gegensatz zu den Angaben von P. Range steht.

Das krystalline Grundgebirge ist bereits stark gefaltet vor Ablagerung der später zu besprechenden paläozoischen Auflagerungen. Diese älteste Faltung streicht bogenförmig durch unser Gebiet hindurch, so daß ein Teil der Faltenzüge S-N, nahezu parallel der heutigen Küste läuft, während im Norden der Karten-

¹⁾ Vgl. auch E. Kaiser, diese Sitz.-Ber. 1922, S. 255 u. f.

²⁾ A. Wurm, Über alte geschieferte Amphibolitgänge des Wunsiedler Marmorzuges. Zeitschr. d. Deutsch. Geol. Ges. 1925. 77. Mon.-Ber. S. 174—182.

aufnahme ein SW-NO Streichen des krystallinen Grundgebirges hervortritt. Diese letztere Richtung ist parallel zu der in weiten Teilen Südafrikas erkannten Texturrichtung des krystallinen Grundgebirges, worauf auch R. Rüdemann in seiner zusammenfassenden Darstellung hingewiesen hat¹⁾. Die schon erwähnten phakolithischen Injektionen dürften in einer besonderen Phase dieser ältesten Faltung eingedrungen sein.

Diskordant auf diesem krystallinen Grundgebirge im engeren Sinne, der „Gneis“-Ausbildung, liegt eine noch ebenfalls hochmetamorphe Stufe, die besonders von Herrn W. Beetz näher untersucht worden ist. Wir trennen sie als Chloritschieferstufe von dem älteren krystallinen Grundgebirge ab. Sie enthält neben reinen, an Quarz und Feldspat armen Chloritschiefern als Hauptgestein Amphibolit und Epidotamphibolit.

Weite Verbreitung und besondere Bedeutung für die Tektonik und die Oberflächenform unseres Gebietes kommt sodann der Konkip- und der Namaformation zu, welche Herr W. Beetz ausführlich behandelt, und wozu er neuerdings auch noch wichtige Beiträge mir in Manuskript zugänglich machte, die in Kürze zur Veröffentlichung gelangen²⁾.

Herrn W. Beetz gelang es, auf mehreren Forschungsreisen in das Innere die so notwendige Parallelisierung der Schichten des Küstengebietes mit ähnlichen, schon längst im Inland bekannten durchzuführen, so daß jetzt kein Zweifel mehr besteht, daß die im Inneren des Landes ungefalteten Schichtglieder beider Formationen an der Küste in eine starke Tiefenfaltung einbezogen sind.

Die Konkipformation besteht aus einer Folge von Dolomit, Quarzit und tonigen Gesteinen, die mit einer früher als Geröllhorizont bezeichneten Stufe diskordant gegen die Chloritschiefer absetzen. Herr W. Beetz erkannte nun neuerdings hierin einen alten Tillithorizont, den er wenigstens auf 25 km nachwies und dessen weitere Verbreitung nach S hin noch wahrscheinlich ist. Die Konkipformation ist nun ebenso wie die Chloritschieferstufe von zahlreichen basischen Eruptiven durchsetzt, die stark amphi-

¹⁾ New York State Museum Bull. 239/40. 17. Report 1920/21. Albany 1922.

²⁾ W. Beetz, Über Glazialschichten an der Basis der Nama- und Konkipformation in der Namib. Erscheint im Neuen Jahrb. f. Min. etc. Beilage, Bd. 55, Reihe B.

bolitisiert sind und daneben auch zu einer Amphibolitisierung des Nebengesteines beitrugen. Sowohl Injektions-, Ejektions-, wie sogar auch Sedimentgesteine sind amphibolitisiert, so daß wir hier eine Konvergenz der Produkte metamorpher Vorgänge vor uns haben und man im einzelnen Falle oft sehr schwer sagen kann, aus welcher Gesteinsgruppe sich ein bestimmter Amphibolit entwickelt hat. Eigenartig ist das allerdings nur einmal beobachtete Vorkommen eines Alkali-amphibolit, als einzigem Anzeichen alter Alkaligesteine in unserem Gebiete. Die Amphibolitisierung ist in der tieferen Chloritschieferstufe viel durchgreifender als in den höheren Schichten der Konkipformation. Die Untersuchung dieser Amphibolite ist zum Teil nur bruchstückartig durchgeführt, und es würde sich sehr empfehlen, gerade diesem Amphibolitisierungsvorgang bei weiteren Untersuchungen noch besondere Beachtung zu schenken. Ein Vergleich mit ähnlichen Schichtgliedern in der weiteren Umgebung zeigt, daß nicht überall basische Eruptiva zur Zeit der Bildung dieser Schichten aufgedrungen sind, sondern daß auch saure Laven zum Ausbruch kamen, wie im inneren Namaland, welche andere Eruptivperiode P. Range erwähnte und W. Beetz näher untersucht hat. Das Auftreten dieser Amphibolite kann vielleicht bei weiterer Fortführung der Untersuchungen zu wichtigen Folgerungen in bezug auf die Tektonik der älteren Schichtglieder führen.

Die untere Namaformation hat im Gebiete der südlichen Diamantfelder eine besonders weitgehende Verbreitung und mußte besonders behandelt werden. Die mannigfachen Ergebnisse hat W. Beetz zusammengefaßt und auch hierzu neuerdings weitere Beiträge erbracht, die er an der schon genannten Stelle mit veröffentlicht, dabei auch hier wiederum einen neuen Tillit-Horizont nachweisend, den er mit den Numees-Tilliten von A. W. Rogers in Verbindung bringt.

Die untere Namaformation unseres Gebietes zeigt sich in zwei verschiedenen Fazies, in einer Arkose-Quarzit-Ausbildung gegenüber einer Schiefer-Ausbildung mit eingelagerten Karbonatgesteinen, welche beiden Fazies durch ein Basiskonglomerat mit lokal auftretendem unterem Dolomit oder Mergel gegenüber der Konkipformation abstoßen. Der obere Teil der Namaformation

aber ist einheitlich und besteht zunächst aus bändrigen Dolomiten mit viel Schiefererzwischenlagen und dann einem massigen Hauptdolomit.

Die Untersuchung der Lagerungsverhältnisse der älteren Schichten in der südlichen Namib führte zunächst zu dem Nachweis einer ausgesprochenen Diskordanz gegenüber dem krystallinen Grundgebirge, zu dem Nachweis weiterer Diskordanzen in den dem krystallinen Grundgebirge auflagernden Schichten und endlich zu dem Nachweise einer einheitlichen jungen Faltung des gesamten Schichtkomplexes. Man kann unterscheiden:

- a) älteste Faltung, nur im älteren krystallinen Grundgebirge nachweisbar;
- b) Post-Konkip, aber Pränamafaltung, altpaläozoisch;
- c) Postnamafaltung, wahrscheinlich jung-triassisch, der altkimmerischen Faltungsphase im Sinne von H. Stille angehörend;
- d) eine wahrscheinlich kretazeische Bewegung führte zu dem Küstenabbruche und gleichzeitig dann zu dem Ausbruch der in der südlichen Namib so weit verbreiteten Alkaligesteine in Tiefen-, Gang- und Effusivgesteinsformen.

Die gleichen altpaläozoischen Schichten, die im Inland noch heute ungefaltet mit flach östlichem Einfallen ausstreichen, sind in der Küstenzone in einem im allgemeinen S-N gerichteten Zuge gefaltet. Tiefste Einfaltung erfolgte dort, wo die Richtung der altkimmerischen Faltenzüge parallel zu der ältesten Faltung des krystallinen Grundgebirges liegt, während eine starke Tiefenfaltung von Konkip- und Namaformation dort nicht erfolgte, wo diese beiden Faltenrichtungen in Gitterstellung zueinander treten. In diesem Gebiete ist aber auch Bruchtektonik stärker als in der Strecke, in der beide Faltungsrichtungen parallel gestellt sind.

Die Faltungszone zeigt die Eigenschaften eines Synklinoriums, einer Fächermulde, mit geringer Überschiebung des krystallinen Grundgebirges auf die Großmulde. Ein zentrales Hauptgewölbe teilt das Synklinorium in eine westliche, steiler eingefaltete und in eine östliche Hauptmulde mit flacherem Bau. Höher aufragende Massive krystallinen Grundgebirges üben auf die Falten eine stauende Wirkung aus. Herrn Dr. Beetz gelang der Nach-

weis eigentümlicher domförmiger Aufpressungen einzelner Schichtpakete. Die so gebildeten Lagerungsformen zeigen deutlich den Unterschied mobiler und spröder Schichten, tektonische Injektion, die Injektiv-Faltungsform von H. Stille. Die spröden Schichten bedingen, daß in ihnen die Ganggefolgschaft späterer postorogenetischer Eruptivinjektionen fast durchweg in Quergängen aufsetzt, wogegen sich diese Eruptivgänge in mobilen Schichten zu meist als Lagergänge auf den Mulden- oder Sattelflügeln zeigen. Die Eruptivinjektion folgt in den orogenetischen, domförmigen Injektionen ebenfalls den früher bei der Faltung mechanisch injizierten mobilen Schichten. Diese Eruptivinjektion führt zu Kuppellagergängen der an die orogenetische Injektion sedimentärer Schichten akkordanten Eruptivgesteine. Diese Kuppellagergänge sind der Form, nicht aber dem Gesteinsinhalte nach mit den von A. L. du Toit¹⁾ beschriebenen glockenförmigen Intrusionen der Karroo-Dolerite in der östlichen Kapkolonie zu vergleichen.

Zwei verschiedene Klüftungsrichtungen durchsetzen den gefalteten Untergrund. Eine ältere Klüftung folgt der N-S Faltung, während die jüngere etwa 35° dagegen gedreht ist und dem Küstenabbruche folgt, auf welche Linie noch später zurückzukommen ist.

Die Faltungszone in der südlichen Namib ist zu vergleichen mit einer ähnlichen Faltung, die A. W. Rogers südlich des Oranje in dem kleinen Namalande festgestellt hat. Diese Faltung in der südlichen Namib Südwestafrikas wird zunächst, auf indirektem Wege nur beweisbar, als Arbeitshypothese nur verwertbar, als auslaufende stark abgetragene Falten S-N verlaufender Äste der Kapketten aufgefaßt. J. W. Gregory wies in Angola S-N gerichtete Staffelbrüche nach. J. Cornet, M. Leriche, F. Delhaye et M. Sluys stellten am unteren Kongo in der Nähe der Küste eine starke S-N Faltung fest, die nach den von Leriche bestimmten Fossilien ebenfalls obertriassisches Alter haben muß. Man kommt dann dazu, eine weit durchziehende Faltung an der Westküste Südafrikas bis über die Kongomündung anzunehmen. H. Stille führt in seinen „Grundfragen der vergleichenden Tektonik“ dieselbe Auffassung durch.

¹⁾ A. L. du Toit, The Karroo-Dolerites of South Africa. A Study in Hypabyssal Injection. Transact. Geol. Soc. of South Africa. 1920. 23. 1--42.

W. Beetz hat nun durch neuere Untersuchungen, die in erweiterter Form gegenüber seiner ersten Darlegung¹⁾ in dem Werke mitgeteilt sind, in sehr schwer zugänglichem Gebiete einen großen Grabeneinbruch nachgewiesen, den er nach der Hauptwasserstelle am Rande desselben Wittpütz (= Weißbrunn), den Wittpützgraben nannte. Er entspricht der Größenordnung nach ungefähr dem Rheintalgraben. W. Beetz mußte aber in einem nahezu fast wasserlosen Gebiete von einigen wenigen, zum Teil nur wenig Wasser gebenden Stützpunkten aus, die etwa wie Karlsruhe, Saargemünd, Straßburg und Basel zu dem Rheintalgraben liegen, das weit ausgedehnte Gebiet untersuchen. Es gelang ihm hier, einen OSO-WNW gerichteten Grabenbruch nachzuweisen und wahrscheinlich zu machen, daß nahezu parallel zu ihm mehrere andere Gräben aus dem inneren Namalande zur Küste heraustreten.

Die Verfolgung der Faltungszüge an der Westküste Südafrikas hatte schon den Verfasser dieser Mitteilung veranlaßt, auch am Oranje eine parallel gerichtete Störungszone anzunehmen, die sich dann einem System von Querbrüchen eingliedern würde, deren Auftreten im Falle des Oranje und des Kongo zu einer Erklärung dieser eigenartigen, deutlich resequenten Flußdurchbrüche führt, die widersinnig die ihnen entgegen fallenden mächtigen, an dem großen Steilabbruch des südafrikanischen Hochlandes hoch empor steigenden Schichten durchschneiden. Das ist eine neue Erklärung für diese eigenartigen, dem ganzen morphologischen Bau Südafrikas sich sonst nicht einfügenden, weit zurückgreifenden Stromsysteme.

Nur geringe Verbreitung zeigen in der südlichen Namib Diabase (Karoo-Dolerite), die weiter im Inland und in der nördlichen Namib viel reichlicher auftreten. Sie haben aber doch eine wesentliche Bedeutung für die Erkenntnis der Tektonik unseres Gebietes, da sie ein deutliches Anpassen an den Faltenbau der altkimmerischen Faltung zeigen und in unmittelbarem Zusammenhang mit ihr ausgebrochen sein müssen. K. Willmann gibt Einzelheiten der mikroskopischen Untersuchung.

Alkaligesteine haben in dem untersuchten Gebiete eine sehr große Verbreitung. Sie hatten den Anlaß zu meiner Studien-

¹⁾ W. Beetz, On a great Trough-Valley in the Namib. (Transact. of the Geol. Soc. of South Africa. 1924. 27. 1—38.)

reise in die südliche Namib gegeben, welche dann durch den Kriegsausbruch sich auch auf andere Fragen erweiterte. Die Alkaligesteine fügen sich den in ganz Afrika so weit verbreiteten jungen Alkaligesteinen an. Sie stellen in unserem Gebiete die sechste Phase vulkanischer Tätigkeit dar und bilden einen wesentlichen Gegensatz zu den älteren, vornehmlich Alkalikalkmagmen zuzurechnenden Injektionen und Ejektionen. Viele petrographische Einzelheiten sind untersucht und mitgeteilt. Es möge daraus nur hervorgehoben werden, daß in einem besonderen Vorkommen, dem Granitberg¹⁾, merkliche Assimilation durch Aufschmelzen von Nebengestein nachgewiesen ist, wodurch in der inneren Kontaktzone wesentlich abweichende Gesteine bis zu alkali-granitischen Magmen ausgebildet wurden, die wahrscheinlich aktiv sogar in kleinen stockartigen und lagergangartigen Intrusionen in höhere Horizonte aufgedrungen sind. Der Kontakt mit Dolomit führt zu einer ganz besonders grobkörnigen pegmatitischen Ausbildung der Eläolithsyenite infolge stärkerer Entwicklung sekundärer leichtflüchtiger Bestandteile, die eine weitgehende Zersplitterung und unregelmäßige Zerreißen des Nebengesteines hervorriefen, in welches nun dieser grobe Eläolithsyenitpegmatit in mannigfachen Adern und Trümmern eindrang. Kontakt mit schiefrigem Nebengestein führte zur Injektion Schicht für Schicht, zur Ausbildung eines jungen, wahrscheinlich kretazeischen Nephelings. Karbonatgesteine wurden mit Eozoontextur versehen. Der Kontakt mit verschiedenen Nebengesteinen führte andererseits zum Aufstieg von eigenartigem Mischgestein auf Spalten des erstarrenden Eruptivkörpers, zu Gangausfüllungen mit vielen eckigen oder gerundeten Gesteinsbruchstücken, die als hybride Ganggesteine bezeichnet werden. Der Injektionsverband ist ausgesprochen diskordant. Nur auf kurze Erstreckung sieht man akkordantes Anschmiegen an die Texturfugen des Nebengesteines.

Von besonderem Interesse ist das Auftreten einer sehr reich entwickelten Ganggefolgschaft, deren Verfolgung zu dem Nachweise führte, daß deren Injektion nicht mit der altkimmerischen Faltung der Namaformation in Beziehung stehen kann, sondern gleichaltrig ist mit dem wahrscheinlich kretazeischen Küsten-

¹⁾ Vgl. auch E. Kaiser, diese Sitzungsberichte 1922, S. 255 u. f.

abbruch, so daß auch die Tiefengesteine ein relativ junges Alter haben.

Ejektionsformen der alkali-syenitischen Injektionen der Küstenzone sehen wir sodann in den Phonolithen des Klinghardtgebirges, wo Gänge, Kuppen und Decken mit Phonolithtuffen auftreten. Grobporphyrische Formen bilden Phonolithporphyre, großporphyrische die eigenartigen Klinghardtite. Es handelt sich um ein abgetragenes jung-vulkanisches Gebirge mit eigenartigen Ringbergen, die als Abtragungsformen aufgefaßt werden, bei deren Ausgestaltung chemische Verwitterung eine größere Rolle spielt.

Melilithbasalt, Nephelinbasalt und Limburgit sind zum Teil gleichalterig mit den alkali-syenitischen Injektionen und Ejektionen, zum Teil basische Ausläufer derselben. Basalt wurde nur außerhalb des näher untersuchten Gebietes landeinwärts gefunden.

Zahlreiche Analysen geben einen Überblick über die chemischen Verhältnisse der in der südlichen Namib beobachteten Eruptivgesteine.

III. Das Deckgebirge.

Die Ausbildung des Küstenabbruches, mit dem gleichzeitig der größte Teil der alkali-syenitischen Injektionen und Ejektionen wohl erfolgt sein dürfte, führte nach den in der „Diamantenwüste Südwestafrikas“ niedergelegten Forschungsergebnissen zu einer wesentlichen Änderung der klimatischen Verhältnisse auf dem Festlande. Vorausgegangen war eine lange Abtragszeit unter den Verhältnissen humiden Klimas. Die Neugestaltung der Küstenzonen, wie man sie sich auch denken mag, führte zum erstmaligen Herantreten der Vorläufer der heutigen Benguelaströmung an das Festland. Die Zeit ist mit einiger Wahrscheinlichkeit in das Neokom zu setzen.

Die weite Einebnung einer Abtragsfläche humiden Klimas, die wir als eine Endrumpffläche im Sinne von W. Penck¹⁾ bezeichnen dürfen, wird nun durch das unter Einfluß des Benguelastromes in das Festland einziehende aride Klima umgestaltet und mit neuen Sedimenten überdeckt. Der II. Band des Werkes ist diesen Fragen gewidmet.

¹⁾ W. Penck, Die Morphologische Analyse. Ein Kapitel der physikalischen Geologie. Stuttgart 1924.

Ist eine genaue Zeitdatierung für die Umwandlung der Küstenverhältnisse und die klimatischen Erscheinungen auf dem Festlande nicht zu geben, so erhalten wir doch einen Anhaltspunkt nach oben hin durch die marine Ingression, welche in dem südlichen Teile des untersuchten Gebietes in das Land eindrang. Joh. Böhm und W. Weißermel hatten schon früher die von H. Lotz mitgebrachten Fossilien untersucht. Joh. Böhm bezeichnete damals das Alter als Untermiocaen (Burdigalien). Er konnte nun neuerdings, ebenso wie W. Weißermel, verschiedene neue Aufsammlungen bearbeiten, woraus sich nach Joh. Böhm ergibt, daß die Ingression mittel- bis obereocaenes Alter hat. J. Böhm gibt viele Einzelangaben über die Fauna. W. Weißermel lieferte einen weit ausholenden Beitrag zur Frage der postpaläozoischen Tabulaten. Um Mißverständnisse zu vermeiden, muß ich aber hier betonen, daß die von ihm gegebene Zusammenstellung bereits im Sommer 1922 vorlag, und daß neuere Arbeiten anderer Forscher von W. Weißermel nicht mehr berücksichtigt werden konnten, da eben sein Beitrag schon vor längerer Zeit gedruckt wurde. Ich muß es mir versagen, auf Einzelheiten der Darstellungen dieser Mitarbeiter hinzuweisen.

Ist diese marine Ingression sicher belegt, so können wir von den älteren beobachteten Schichtgliedern auf der kretazeischen Endrumpffläche nur sagen, daß sie prämitteleocaen sind, weil sie von der marinen Ingression angeschnitten sind. Herr W. Beetz hat sie als „Tertiär-Bildungen der Küstennamib“ in einem Aufsatze behandelt, der mir ebenfalls schon im Jahre 1922 zugeing, aber mit der Veröffentlichung bis zum Abschluß des Kartendruckes warten mußte. Nachdem nun später die Altersbestimmung für die marinen Schichten für Granitberg-Bogenfels durch Joh. Böhm vorlag, wurde die Sicherheit gegeben, daß ein Teil der in dem Werke und auf den Karten noch als Tertiär bezeichneten prämitteleocaenen Schichten schon der Kreide angehören muß.

Auf der kretazeischen, tiefgründig unter humidem Klimaeinfluß verwitterten Endrumpffläche haben sich nun, wenn auch nicht mächtige, so doch bedeutungsvolle Ablagerungen gebildet, die zum Teil die Dolinen, Karren und Karstbildungen der alten Landoberfläche überdecken. Sie zeigen nach dem petrographischen Habitus und den wenigen, darin aufgefundenen Landkon-

chilien, die W. Wenz bearbeitete, daß diese Schichtenserie zumeist unter extrem-aridem Klimaeinfluß abgelagert worden ist. Es sind die von W. Beetz eingehend behandelten Quarzitschotter und Pomonaschichten, deren Entzifferung den früher nur flüchtig das Gebiet durcheilenden Forschern nicht gelungen war. Während die Quarzitschotter sich als Ablagerungen von Trockenflüssen in großen Schotterdeltas erwiesen, wie sie sich ähnlich auch heute noch am Rand der Namib am Steilanstieg gegen das innere Hochplateau ausbilden, sind die Pomonaschichten terrestre Ablagerungen mit nur wenig eingestreuten Gerölllagern, bestehen sonst aber aus einem eckig scharfkantigen, fein- und mittelkörnigen Schutt, der zunächst eine Kalkkruste und dann später eine Verkieselungsdecke erhielt in einer zweiten Zeit lebhafter Bewegung der Kieselsäure, die ähnlich ist einer älteren Verkieselung, welche bereits schon die ältere Landoberfläche mit einer Kieselkruste überzogen hatte. Von den Pomonaschichten sind heute relikartige Zeugenformen in Tafelbergen und Senken erhalten, die als besondere Formelemente des Landschaftsbildes eine besondere Behandlung in dem Werke erfahren haben.

Ein wichtiger Erfolg der Untersuchungen von W. Beetz war der Nachweis einer zweimaligen starken fluviatilen Tätigkeit, einer älteren, prämitteleocaenen („ältere Revierzeit“), aus welchen Vorgängen eine entwicklungsgeschichtliche Betrachtung nicht nur für die Stratigraphie, sondern auch für die Erklärung der Oberflächenformen wesentliche Folgerungen zu ziehen vermag, auf die in dem Werke mehrfach eingegangen wird.

In den posteocaenen Flußablagerungen der jüngeren Revierzeit wurden nun an mehreren Stellen, zunächst an einer von mir, dann an mehreren anderen von W. Beetz Wirbeltierreste gesammelt, deren Bearbeitung E. Stromer übernahm. Er konnte in seinem Berichte die ersten tertiären Landwirbeltiere Südafrikas behandeln. Wenn ich auch hier nicht auf alle, zum Teil weittragenden Ergebnisse eingehe, so möchte ich doch betonen, daß E. Stromer die Funde in den Ablagerungen der jüngeren Revierzeit als untermiocaen, höchstens oberoligocaen bezeichnet¹⁾.

¹⁾ Vgl. auch E. Stromer, diese Sitzungsber. 1922, S. 331—340; 1923, S. 353—370.

Zweifellos sind die einzelnen untersuchten Fundpunkte nicht unbedingt gleichalterig und die jüngere fluviatile Periode mag eine gewisse Zeitlang gedauert haben.

Nach dieser untermiocaenen Flußtätigkeit erlischt aber in der südlichen Namib jegliche weitere Eintiefung der ausgebildeten Flußsysteme. Das steht im Gegensatz zu den Verhältnissen in der nördlichen Namib, wo auch heute noch große Erosionsrinnen mit weit in das Inland zurückgreifendem Entwässerungsgebiet bis an das Meer hindurch eingeschnitten sind und von Zeit zu Zeit noch erhebliche Wassermassen in das Meer abführen („Abkommen“ der Reviere). Dieser Unterschied in den orographischen Verhältnissen der südlichen und nördlichen Namib ist darauf zurückzuführen, daß bald nach dem Untermiocen oder schon in dieser Periode ein Rückwärtseinschneiden der Flüsse nicht mehr erfolgt, während in der nördlichen Namib eine weitere Eintiefung der zweifellos zur selben Zeit schon angelegten Flußsysteme durchdauert. Das ist eine Folge verschiedenen klimatischen Verhaltens der südlichen und nördlichen Namib. Auch andere, im Werke näher behandelte Erscheinungen führen zu der Folgerung, daß die südliche Namib früher und stärker ausgetrocknet ist, als die nördliche Namib.

Alle jüngeren Ablagerungen der südlichen Namib sind unter dem Einfluß extrem-ariden Klimas gebildet, sind Wüstenablagerungen, deren Bildungsvorgänge in einem besonderen Abschnitte besprochen werden sollen. Landkonchylien aus verschiedenen Horizonten dieser jungen Auflagerungen auf der alten Endrumpffläche hat W. Wenz untersucht, ohne daß aber die nur spärlichen Funde verwertet werden konnten, um einzelne Horizonte zu unterscheiden, besonders, da auch die aufgefundenen Formen sich durch eine außerordentlich lange Persistenz auszeichnen.

H. Rauff übernahm die Bearbeitung von Fossilresten, die M. Storz in einem Süßwasserhornstein bei der Untersuchung der Verkieselungserscheinungen gefunden hatte. Es zeigte sich, daß es sich um Gemmulae-Nadeln von Spongilliden, d. h. von Süßwasserschwämmen, handelt, also um Keimkörper in einer Kapsel, die durch kieselige Spikule verstärkt werden. Dieser Fund bestätigt so recht die Auffassung von dem terrestren Charakter der Dolinen, in denen die Verkieselungsmassen aufgefunden worden waren.

IV. Die Sedimentneubildungen im extrem-ariden Klima, in der Wüste.¹⁾

Wenn auch schon mehrfache Versuche zu einer Zusammenfassung der Vorgänge zur Gesteinsaufbereitung und Gesteinsneubildung im extrem-ariden Klima vorliegen, so war es für mich sowohl bei den Feldaufnahmen, wie nachher bei der Bearbeitung des gesammelten Materials eine erste Pflicht, für das Beispiel der südwestafrikanischen Namib die gesamten Erscheinungen der Wüstenumbildung und Sedimentation möglichst eingehend darzustellen. Ich beschränkte mich nicht nur darauf, die gebildeten Sedimente zu analysieren, sondern suchte die einzelnen Faktoren, welche zu der Umbildung beitrugen, möglichst weitgehend ziffernmäßig zu erfassen. Erscheint es merkwürdig, wenn in einem vorwiegend geologischen Werke ausgedehnte Angaben und Tabellen zur Meteorologie des Gebietes vorgelegt werden, so war aber doch eine Behandlung der meteorologischen Daten vom geologischen Standpunkte aus direkt notwendig, denn die Form, in der uns gewöhnlich die Beobachtungsergebnisse meteorologischer Stationen zugestellt werden, sind nur wenig für geologische und sedimentpetrographische Betrachtungen verwertbar. Von diesem Gesichtspunkte aus mußten die Niederschläge, der Abfluß des Wassers, der Wind und die Sonnenwirkung in Einzelheiten geschildert werden, um daraus dann die Umwandlungen der Gesteine und die Sedimentneubildungen zu erklären.

Die Betrachtung des Windes führt im Gegensatz zu den Angaben von S. Passarge zu einer scharfen Trennung zwischen Deflation und Korrasion. Während bei der Korrasion erst bei höheren Windstärken härtere und schwerere Teilchen nur in der Nähe des Bodens bewegt werden und Schleifspuren in die verschiedensten Gesteine eingraben, hebt die Deflation schon bei geringen und auch bei höheren Windstärken die durch andere Vorgänge gelockerten, feinen, staubigen Teilchen ab, trägt sie hoch in die Luft empor und meist weit aus dem Ursprungsgebiet fort. Deflation entstaubt, Korrasion zerschleift die Oberfläche.

¹⁾ Über die Begriffsbestimmungen der extrem-ariden Klimazone vgl. E. Kaiser, Was ist eine Wüste? Mitt. d. Geogr. Ges. München. 16. Heft 3, S. 1—20, 1923.

Die für die Wüste oft gelegnete chemische Verwitterung mußte ganz besonders behandelt werden. Chemische Verwitterung ist in der südlichen Namib sehr beträchtlich. Eine tiefgründige Kaolinisierung wurde an vielen Stellen an den Silikatesteinen beobachtet. Diese chemische Verwitterung ist aber oft so versteckt, daß es mich nicht wundert, wenn man auch heute noch so oft von einem völligen Fehlen der chemischen Verwitterung in der Wüste spricht. Die Schleifwirkung des Sandes nimmt auf der Windseite der Berge, im Luv derselben, alle gebildeten feinen Verwitterungsreste fort, während im Windschatten, im Lee, sich die tonigen Verwitterungsreste wohl halten können, aber sehr oft unter einer mächtigeren Schuttbedeckung oder unter Flugsandanwehungen versteckt sind. Dort wo Korrasion und Deflation im extrem-ariden Gebiete arbeiten, kann die chemische Verwitterung aber zumeist nicht mit ihnen Schritt halten. Deflation und Korrasion tragen an den dem Sandwind ausgesetzten Berghängen rascher ab, als chemische Verwitterung voranschreitet. Deflation und Korrasion führen andererseits zu Gleichgewichtsformen, die hauptsächlich abhängig sind von den Hauptwindstärken, weniger von der Zusammensetzung des umgewandelten Gesteines. Es bilden sich im idealen Falle Formen aus, die man Stromlinienkörpern der Aerodynamik vergleichen kann. Auf der Luvseite der Berge wirkt dann in erster Linie Korrasion umgestaltend, während im Lee hauptsächlich Deflation tätig ist. Korrasion schleift aber nicht nur die Blöcke, Felsen und Berge an, sondern poliert auch jede einzelne Felsfläche. Diese Politur, die nicht mit dem Wüstenlack verwechselt werden darf, gibt einen gewissen Schutz gegen weiteren chemischen Angriff. Die Deflation wirkt nicht polierend, sondern befördert sogar die Ausbildung rauher Oberflächen. Die einzelnen Blöcke, wie auch größere Berge sind somit auf der einen Seite gegen den Angriff der Niederschläge geschützt, im Windschatten aber nicht. Sind Stromlinienkörper ausgeformt, so greift im Windschatten chemische Verwitterung noch unter die Oberfläche des Stromlinienkörpers herunter, im Luv aber nicht. Aber trotzdem ist bei derartig gestalteten Bergen die chemische Verwitterung im Lee oft schwer erkennbar, aber unter einer äußeren verhüllenden Rinde doch sehr tiefgründig, was man meist erst

durch Aufgraben feststellen kann. Selektive Verwitterung setzt dort ein, wo für Wasser undurchlässige Gesteine aneinander stoßen.

Chemische Verwitterung zeigt sich nicht nur in den Verwitterungsresten, sondern auch in den durch das Wasser zusammengeschwemmten, feinstaubigen Massen in den einzelnen Hohlformen nach Regengüssen, in dem Ausblühen der Gesteine nach oft nur geringen Niederschlägen, selbst an Tautagen, sowie in Rinden- und Krustenbildungen verschiedener Art.

Ein besonderes Zeichen der eigenartigen chemischen Verhältnisse in dem extrem-ariden Gebiete ist die starke Verkieselung als ein Zeichen des Wanderns der bei der chemischen Gesteinsaufbereitung gebildeten Kieselsäure. Diese Verkieselung ergreift alle Gesteine, besonders alle Karbonatgesteine. Die Kieselsäure wandert im Gegensatz zu den humiden Gebieten in den extrem-ariden nicht weit. Wenn in dem Hauptwerke nur die Verkieselungsvorgänge in der Namib behandelt sind, so liegen doch genügend zahlreiche Literaturangaben dafür vor, um die Verkieselung als eine fast an alle Wüstengebiete gebundene Erscheinung anzusprechen. Auch das Eisen wird ausgelaugt, wandert ebenfalls in der Solform, aber nicht weit, so daß es zu Rot- und Brauneisenkrusten kommt. Kieselsäure und Eisengele haben sich bei der Verkieselung gegenseitig ausgefällt, so daß in den Verkieselungszonen und -krusten sehr häufig an Eisengelen reiche Hornsteine vorliegen, die auf der einen Seite fast frei von Eisen, aber an anderen Stellen so eisenreich sind, daß die Kieselsäure fast völlig zurücktritt. M. Storz hat die mikroskopischen Verhältnisse der Verkieselung in dem Hauptwerke eingehend geschildert. Er kann scharf die schon von Kalkowsky unterschiedenen Vorgänge der Verkieselung und Einkieselung einander gegenüber stellen und fügt als dritten Vorgang noch die Durchkieselung hinzu. Die Darlegungen von M. Storz sind auch für andere diagenetische Vorgänge von Bedeutung.

Nachdem die Hauptzüge der heutigen chemischen Verwitterung erkannt waren, gelang es auch, Vorzeitererscheinungen der chemischen Verwitterung nachzuweisen, und diese zu benutzen, um jüngere Klimaschwankungen aus den Eigenschaften des Gesteinsmaterials zu folgern, deren zeitliche Festlegung teilweise sogar möglich war. Verkieselung und Einkieselung sind

zum Beispiel in der Küstennamib ein über lange Zeiträume sich abspielender Prozeß, der bereits in der Kreidezeit einsetzte, seinen Höhepunkt nach der Ablagerung der Pomonaschichten erreichte, aber auch jetzt noch fort dauert.

Vergleich des extrem-ariden mit dem benachbarten normal-ariden Gebiete führte zu dem Nachweis von gebietsfremden Erscheinungen in der extrem-ariden Klimazone, wobei unter den gebietsfremden Erscheinungen auch sedimentäre Neubildungen eingeschlossen sind. Es zeigte sich weiter, daß man auch in sedimentpetrographischer Beziehung die Oasen besonders beachten muß, nicht nur für die heutigen, sondern auch für alte Wüsten, da man sonst das gesamte Bild der Wüstensedimente nicht erklären kann.

Die Umlagerung der durch Zerspaltung, chemische Verwitterung, Korrasion, Deflation und Einwirkung der Bodentiere gelockerten Massen erfolgt durch trockenen Massentransport, äolisch, sodann bei den episodisch eintretenden Niederschlägen in Schlammströmen in breiter Front am Gehänge und auf den Flächen in Flächenspülungen (Schichtfluten, sheet-floots), nur sehr selten im eigentlichen extrem-ariden Gebiet fluvial. Den episodisch eintretenden Abtragungsvorgang, zumeist in Schlammströmen, bezeichne ich als fluvio-arid und spreche auch von fluvio-ariden Ablagerungen und Erscheinungen.

Wir mußten uns hier auf einen nur rohen Überblick über die Faktoren der Wüstenbildung beschränken und konnten auch nicht das Ineinanderwirken der verschiedenen Faktoren besprechen, welcher Frage in dem Hauptwerke längere Ausführungen gewidmet sind.

Die neugebildeten Sedimente sind einmal grobe Schuttmassen, die sich in fächerartig ausgebreiteten Schuttkegeln vor das Gehänge legen, oft, aber nicht immer, an Erosionsschluchten und -rinnen gebunden, und durch die Schichtfluten wie äolische Auflagerung mehr und mehr eingeebnet werden. Das abgelagerte Gestein sieht oft ähnlich aus wie die Blocklehme humiden und nivalen Klimas, ohne daß aber die Eigenschaften dieser Bildungen mit jenen der extrem-ariden Klimazone völlig übereinstimmen. A. C. Lawson¹⁾ hat sich nun bereits eingehend mit den umge-

¹⁾ University of California Publications. Bull. Dep. of Geology 1913, 7. 325—334.

lagerten Schuttmassen ariden Klimas beschäftigt und hat die meist in großen Schuttfächern (fan) abgesetzten Ablagerungen ariden, besonders extrem-ariden Klimas als Fanglomerate bezeichnet, welchen Ausdruck ich gerne wegen der notwendigen Unterscheidung von Blocklehmen, Breccien und Konglomeraten übernahm. Ich bezeichne dann als Fanglomerate die grobkörnigen bis grobstückigen Ablagerungen ariden Klimas mit viel beigemengten feineren Bestandteilen, die sich bei ihrer Ablagerung durch eine relativ große Frische ihrer Bestandsmassen auszeichnen, die zuweilen geschichtet, aber noch nicht gut nach den Korngrößen getrennt, sondern oft in wildem Durcheinander durch trockenen Massentransport und durch Schlammströme fluvio-ariden Abflusses im ariden, besonders im normal- und im extrem-ariden Gebiete gebildet worden sind. Lockere, verschiedenartigem Untergrunde auflagernde Massen meist ganz geringer Mächtigkeit können als Schutt bezeichnet werden, während dann die Fanglomerate mehr die mächtigeren, durch Verwitterung und Diagenese teilweise umgewandelten, oft verhärteten Massen darstellen, die bei der Abtragung selbstverständlich wieder zu lockerem Schutt werden. Eine scharfe Grenze zwischen Schutt und Fanglomeraten ist nicht zu ziehen.

Der Schutt und die Fanglomerate in der Küstennamib sind autochthon, d. h. stammen aus der näheren Nachbarschaft. Erst weiter landeinwärts in der Innennamib und bei den älteren flächenhaften kretazeisch-eocaenen Eindeckungen der Küstennamib findet man auch von weither zugeführte Bestandteile im Schutt und Fanglomerat. Windabtragung kann aus einer mächtigen Schutt- und Fanglomeratmasse alle feinerkörnigen Bestandteile entfernen, so daß nur eine Lage von groben Schuttbruchstücken zurückbleibt, die aber wieder durch Korrasion zerschliffen und durch Sonnenwirkung mit plötzlicher Abkühlung bei Regengüssen zerspalten werden. Solche konzentrierten Schuttlager aus einem mächtigeren Profile von Fanglomeraten bezeichne ich als Deflationsrückstand. Zeiten mächtigerer Auflagerung in der Küstennamib treten nur episodisch ein und sind durch lange Zeiten stärkerer Windabtragung getrennt. Im einzelnen Profile sind deshalb häufig die episodischen Aufschüttungen von Fanglomeraten an ihrer Oberkante durch Deflationsrückstände gekennzeichnet und

von einer nächsten Fanglomeratlage getrennt. Diese Deflationsrückstände können Gerölllager vortäuschen, was namentlich für ältere Ablagerungen extrem-ariden Klimas von Wichtigkeit ist und unbedingt an Profilen älterer Ablagerungen geprüft werden muß. Dabei ist zu beachten, daß sich Deflationsrückstände auch in anderen Teilen des ariden Klimareiches bilden, aber stellenweise sogar auch noch im humiden und nivalen Klimareich.

Neben einer fluvio-ariden Abtragung erfolgt trockener Massentransport am Gehänge, der die Lockerprodukte arider Entstehung von den eluvialen Lagerformen am Orte der Lockerung über eine kolluviale Lagerform am Gehänge nach der alluvialen Lagerform in der nächsten Senke bringt. Schuttleisten, Schuttrinnen, Schuttrillen, Schuttgräben und Schuttschleier sind besondere Lagerformen kolluvialer Natur. Schuttströme und Schuttungen führen dann zu den großen Schuttkegeln der alluvial gelagerten Fanglomerate über.

Ein besonderer Bestandteil des Schutts und der Fanglomerate ist der Diamant, dessen Auftreten, Lagerstätte und Eigenschaften näher behandelt werden. Es zeigt sich, daß bereits die ältesten Eindeckungen der Pomonaschichten und der Quarzitschotter Diamanten, aber nur in großer Verdünnung, führen. Der Diamant befand sich in jenen Schichten bereits auf sekundärer Lagerstätte. Eine Zurückverfolgung von diesen kretazeisch-eocaenen Ablagerungen auf eine primäre Lagerstätte der Diamanten ist noch nicht möglich, denn die Diamanten treten in jenen Sedimenten nach den bisherigen Untersuchungen nur in so geringer Verbreitung auf, daß eine Zurückverfolgung mit den größten Schwierigkeiten verbunden ist. Von jenen Lagerstätten in den ältesten Schichten des Deckgebirges aus bis in die jungen Schuttauuffüllungen der Hohlformen haben die Diamanten eine vielfache Umlagerung erfahren, sind fluviatil, fluvio-arid, äolisch und trocken mannigfach umgelagert worden, so daß sie sich heute auf xter Lagerstätte befinden. Aus den Umlagerungsvorgängen erklärt sich auch zum Teil die Verbreitung der Diamanten, die selbst in der einzelnen Hohlform oft strichartig und in Streukegeln auftreten¹⁾.

¹⁾ Neuere Zeitungsnachrichten melden das Auftreten von Diamant in Seifen auch südlich des Oranje bei Port Nolloth. Wenn sich die Angaben bestätigen, so braucht doch nicht eine gemeinsame Ursprungsstelle dieser

Eine frühere Angabe von mir¹⁾, daß nur an ganz wenigen Diamanten eine Abrundung der Kanten unter feiner Verletzung zu beobachten sei, ist von mehreren südafrikanischen Geologen angegriffen worden, die von einer starken Abrollung infolge langen Transportes sprechen. Das gab Veranlassung, große Mengen von Namibdiamanten auf die Abrollung hin zu untersuchen, wobei ich aber immer wieder zu dem Ergebnis von 1909 kam, daß nur in wenigen Ausnahmen Anzeichen starker Abrollung zu erkennen sind.

Die Herkunft der Diamanten ist noch ungeklärt. Sehr wichtig war, daß G. Scheuring und W. Beetz²⁾ alle Begleiter des Diamanten in der Namib aus dem Nachbargebiete herleiten konnten, und daß deshalb auch die Diamanten nicht aus weiter Entfernung zugeführt sein dürften. Die primäre Fundstelle muß im Inland liegen. Die prätertiären und die untermiocaenen Flüsse haben wohl bei der Umlagerung von der primären Lagerstätte aus besonders mitgewirkt.

Nächst den Schuttmassen ist der Flugsand wie in anderen Wüsten weit verbreitet. Er stammt von dem an der Küste angeschwemmten Strandsand oder aus den Schuttmassen des Inlandes. Die Hauptumlagerung erfolgt durch Südwind, während Ost- und Nordwinde ihn nur auf geringe Strecken fortbewegen. Als Ruheformen des Flugsandes haben wir Sandwehen, vor und hinter den Hindernissen, und Wanderdünen (Sicheldünen, Barchane) scharf voneinander zu trennen.

Es erwies sich als sehr praktisch, die Sandwehen besonders zu behandeln. Sie bilden sich als Ausgleich unregelmäßiger Oberflächenformen zu geschlossenen Stromlinienkörpern. Die Verfolgung der Sandwehen im einzelnen führte zur Benennung durch besondere Vorgänge bedingter Formen. Das Hauptwesen der Sandwehen besteht aber darin, daß sie sich überall dem Gelände anpassen und die Oberflächenformen zu geschlossenen Stromlinienkörpern auffüllen. Wo dann an einem Blocke, Hügel oder Berge Sandwehen sich bilden, hängt dann davon ab, wo sich etwa wind-

Diamanten im Kleinen Namalande und der in der Namib bei Lüderitzbucht vorzuliegen.

¹⁾ Centralbl. für Mineralogie 1909, S. 241.

²⁾ Vgl. W. Beetz, Neues Jahrb. f. Min. etc. 1923. Beil.-Bd. 47, 347–389.

stille Räume befinden. Der eine Berg zeigt nur eine Vorsandwehe im Luv, der andere eine Sandzunge im Windschatten, ein dritter beides. Vor steilen Hindernissen trennt ein Windgraben eine Vorsandwehe von dem steiler ansteigenden Blocke oder Berge.

Einen besonderen Typus der Flugsandanwehungen bilden die Sandschilde, die in Schuttschilde übergehen. Elliptisch gestreckte, flache Sandanwehungen treten oft auf, ohne daß ein Hindernis diese Sandanhäufung veranlaßte. Die von E. v. Cholnoky beschriebenen Garmaden sind ähnliche Bildungen.

Wie die Sandwehen, so sind auch die Wanderdünen (Sicheldünen, Barchane) Gleichgewichtsformen des bewegten Flugsandes unter Einfluß der an den Sandmassen entlang gleitenden Stromlinien, aber doch ganz verschiedener Gestalt als die Sandwehen, so daß man Sandwehen und Wanderdünen wegen der Verschiedenartigkeit in Form und Entstehung scharf voneinander halten muß.

Wanderdünen entstehen überall dort, wo auf eine irgend wie gestaltete Flugsandmasse immer neuer Flugsand aufgelagert wird, so daß zum Schluß die Auflagerung so hoch wird, daß die bisherige Grundform nicht haltbar ist. Windwirbel im Lee tragen ab, bilden zunächst den Steilabsturz der Wanderdünen, unter allmählichem Vorschieben der Sichelarme. Abschnüren der Sandmasse rückwärts von dem Steilabsturz führt dann zu der neuen Grundform des losgelösten und für sich vorschreitenden Barchans. Wanderdünen bilden sich aus dem Strandsand am Meeresufer, aber ohne Beteiligung von Hindernissen für die erste Ansammlung von Flugsand, weiter aus Sandwehen und aus Sandschilden. Wanderdünen haben immer die charakteristische Sichelform, die aber nach den Geländeverhältnissen durch Zusammenlaufen mehrerer oder durch das Loslösen einzelner Teile umgestaltet wird. Sie wandern einzeln oder zu mehreren vereint, auch in Wanderdünenzügen oder Wanderdünenherden, vereinigen sich zu großen Wanderdünenmeeren, wandern bergauf und bergab, verlanden aber an höheren Bergmassiven.

Einzelne größere Hindernisse halten an sie herantretende größere Wanderdünen lange fest. Dann lösen sich im Lee kleine Wanderdünen aus der großen zusammengesetzten, welche Erscheinung als das Kalben der Wanderdünen bezeichnet wird.

Die Hohlformen sammeln bei den gelegentlichen Regengüssen

die feinstaubigen Verwitterungsreste, die aber beim Eintrocknen stark salzig werden durch die aus der zusammengelaufenen Verwitterungslösung ausgeschiedenen Salze, so daß sich verschiedenartige Salzpsammite und Salzpelite ebenfalls wieder als Zeichen starker chemischer Verwitterung in unserem Gebiete bilden. Salzkrusten sind auch nicht selten. Deflation und Korrasion heben aber diese feinstaubigen Vley-(Pfannen-)Absätze wieder ab oder zerschleifen sie.

V. Morphogenesis.

Bei Betrachtung der Oberflächenformen extrem-arider Gebiete muß ganz besonderer Wert darauf gelegt werden, Arbeitsformen von Vorzeitformen zu trennen, wobei man aber auch berücksichtigen muß, daß einzelne Arbeitsformen zeitweise zu ruhenden Arbeitsformen werden und dann noch nicht gleich als Vorzeitformen betrachtet werden dürfen. Von der Ausscheidung der Vorzeitformen aus wird man dann auch zu einer Abtrennung von Vorzeitercheinungen der Sedimentation kommen. Aber eine Gliederung in Arbeits- und Vorzeitformen ist nur dann möglich, wenn eine genaue sedimentpetrogenetische und klimatologische Untersuchung als Unterlage zur Trennung vorliegt.

Unter den Großformen erweckt die Wannenlandschaft unser besonderes Interesse. Den Faltungsformen des Untergrundes angepaßte Hohlformen (Wannen) sind durch die nacheinander wirkende chemische Verwitterung und Deflation in großer Zahl ausgebildet worden. Die Anpassung an den Faltenbau ist so stark, daß man Synklinalwannen, Isoklinalwannen, Doppelwannen usw. unterscheiden, schmale, langgestreckte Wannen im Gebiete enger Faltung, breite Wannenformen im Gebiete flacheren Faltenwurfes finden kann. Langgestreckte Wannen sind infolge des Emporhebens und Untertauchens der Muldenachsen durch Querriegel in Teilwannen zerlegt. Die Umbiegungen der Faltenachsen spiegeln sich auch in Umbiegungen der Hohlformen wieder, welche Gestaltung bei der Gleichmäßigkeit der Windrichtung durch Korrasion nicht ausgearbeitet werden kann. Auch lassen sich dicht nebeneinander Wannen in verschiedenen Stadien der Eintiefung voneinander unterscheiden. Die Wannen entsprechen den Bolsonen der amerikanischen Literatur.

Im Gegensatz zu der Wannenlandschaft stehen die weiten, fast ebenen Formen der Flächennamib, die zum Teil durch die Endrumpffläche jurassisch-kretazeischer Abtragung, zum Teil aber durch jüngere Eindeckung in Folge fluvio-arider Auflagerung und äolischer Aufschüttung entstanden ist. Zeugenberge weisen auf starke Abtragung, Inselberge auf darauf folgende Wiedereindeckung hin. Hohlformen in dieser Eindeckungslandschaft, die bereits in der extrem-ariden Klimazone beginnt und bis weit in semi-arides Gebiet hinüberzieht, werden mehr und mehr aufgefüllt, während in der Wannenlandschaft eine weitergehende Eintiefung auch dann noch erfolgt, wenn einmal zeitweise starke Eindeckung eingetreten war. Dieser Gegensatz einer zahlreiche Hohlformen zeigenden Wannenlandschaft gegenüber der fast ebenen Eindeckung in der Flächennamib ist durch das Vorherrschen der Windabtragung in ersterer, durch Zurücktreten der Windabtragung in letzterer zu erklären. Wir müssen deshalb in extrem-aridem Gebiete noch verschiedene Landschaftstypen unterscheiden. Besondere Blockdiagramme erläutern diese Erscheinungen.

Die Grenze von Flächennamib zu Wannennamib ist während der rein extrem-ariden Klimabedingungen unseres Gebietes, spätestens seit dem Untermiocen, nicht stationär gewesen, sondern wanderte hin und her.

Größere Erosionsrinnen zeigen sich in den Resten untermiocäner Flußtätigkeit.

Eine Verfolgung der marinen formgebenden Vorgänge führte zu dem Nachweise einer weitgehenden Verlandung an allen nach Süden geöffneten Buchten in Folge starker Strandversetzung, auf welche Erscheinungen auch L. Schultze-Jena und H. Lotz bereits hingewiesen hatten. Die Verlandung geht bis zur Ausbildung einer Ausgleichsküste, an der dann weiter antreibender Sand immer wieder abgetragen und durch Strandversetzung fortgeführt wird. Die nach Norden geöffneten Buchten versanden weniger durch marin angespülten Sand, als durch den aus dem Inland wieder in das Meer hinaus transportierten Flugsand.

Die Buchten selbst aber sind zum allergrößten Teile unter den Meeresspiegel untergetauchte, auf dem Festlande im extrem-ariden Klima vorgebildete Hohlformen, die

bei einer positiven Strandverschiebung unter den Meeresspiegel sanken. Die verzweigten Buchten von Lüderitzbucht geben das schönste Beispiel einer solchen auf dem Festlande gebildeten, aber nun versenkten Wannenlandschaft. Die Verlandung in den nach Süden geöffneten Buchten ist bereits an vielen Stellen so weit gegangen, daß man weit landeinwärts junge Strandwälle und Strandterrassen feststellt. Ist die Verlandung bis zur Ausbildung einer Ausgleichsküste vorgeschritten, dann hört die Bildung von Wanderdünen in diesem Küstenstücke auf. Daß diese Verlandung nicht überall gleich weit vorgeschritten ist, hängt wohl mit einer nachgewiesenen Verbiegung des Festlandes zusammen.

Die Portugiesen haben den Namen Angras Juntas (Vereinigte Buchten) einem Küstenstücke gegeben, wo jetzt keine Buchten mehr vorhanden sind, wo aber das Auftreten vieler Buchten in relativ kurz zurückliegender Zeit aus den Höhenverhältnissen, aus Strandwällen und dem Auftreten von Lagunenschlick zu entnehmen ist. Es liegt deshalb die Annahme nahe, daß die Verlandung zum größten Teile erst seit der Zeit der Namengebung durch die entdeckenden Portugiesen erfolgte, was uns dann auch einen Maßstab geben würde für die Jugendlichkeit nicht nur der Verlandung, sondern auch eines großen Teiles des Wanderdünenmeeres nördlich von Lüderitzbucht.

Eine zusammenfassende Entwicklungsgeschichte und stratigraphische Gliederung der Oberflächenformen führt dazu, von kretazeischen Flächen mit Dolinen, Senken und alten Flußtälern, jungkretazeischen bis untereocaenen Eindeckungsformen, mittel- bis obereocaenen Strandnischen, Strandkolken, Strandwällen und Abrasionsstufen, untermiocaenen Talformen, großen, ebenfalls untermiocaenen Schotterkegeln, und dann von der jungtertiären bis rezenten Wannenlandschaft zu sprechen. Alle diese in verschiedenen Zeiten gebildeten Oberflächenformen sind noch heute stellenweise als Zeugenformen vorhanden und lassen sich gut voneinander unterscheiden. Daneben sind untergetauchte Stücke der Wannenlandschaft als Vorzeitformen unterscheidbar von den durch Strandsand verlandeten Buchten, deren Küste zum Teil noch fortschreitet, zum Teil aber ausgeglichen ist, während zwischen den Buchten das jetzt noch zurückweichende Kliff eine weitere heutige Arbeitsform darstellt.

Positive und negative Strandverschiebungen sind an dieser Küste mehrfach eingetreten, aber nicht gleichsinnig, sondern unter Verbiegung der alten Landoberfläche.

VI. Tiere, Mensch und Wüste.

An den verschiedensten Stellen des Werkes ist darauf hingewiesen worden, welche hohe Bedeutung das selbst der Wüste nicht fehlende Tier- und Pflanzenleben für die Umgestaltung des Wüstenbildes hat. Selbst die bewegten Flugsandmassen enthalten reiches Tierleben, da in ihnen sich an windgeschützten Plätzen ein an organischen Bestandteilen reiches äolisches Genist sammelt, das viele Tiere anlockt. Das Auffinden der Gemmulae von Spongilliden zeigte die Anpassung von Organismen an die Eigenschaften extrem-ariden Klimas in der Vorzeit. Wir staunen oft, wie rasch sich in den heute episodisch zusammenlaufenden Regenseen ein reges Leben entwickelt. Zahlreiche Bodentiere spielen für die Umlagerung der Lockerprodukte eine große Rolle.

Die Buschmänner, als die Ureinwohner unserer Namib, haben mannigfache Spuren ihrer Tätigkeit zurückgelassen. Sie haben sich namentlich die erwähnten, so weit verbreiteten Verrieselungsmassen zu Nutzen gemacht, so daß Hunderte von Buschmannplätzen von ihrer Anwesenheit künden. Zur Schilderung dieser Ureinwohner jener Diamantenwüste übernahm Rud. Martin die Untersuchung der von mir mitgebrachten Buschmannschädel und eines Buschmannskelettes. Er hat sich nicht darauf beschränkt, nur die Skelettreste zu untersuchen und zahlreiche Zahlen über deren Bau wiederzugeben, sondern hat die weit verzweigte und zum Teil sehr versteckte Buschmannliteratur zusammengetragen, ein Bild über diese dem Untergang geweihte Rasse gebend, die Frage nach der Urrasse Südafrikas prüfend, den Merkmalkomplex des Buschmanns umreißend und die genetischen Beziehungen zu den Hottentotten erörternd. So gibt uns dann dieser Bericht von Rudolf Martin, den er vor seinem leider allzu frühen Tode fertig stellte, eine recht willkommene Ergänzung zu dem Bilde der Diamantenwüste, das in dem ganzen Werke von den verschiedensten Mitarbeitern mit mir zusammen geschaffen wurde.

Dieser Bericht über den Inhalt des Hauptwerkes kann nur Stichproben geben, einige Ergänzungen hinzufügen und Ausblicke auf weitere Arbeiten andeuten. Einzelheiten müssen in dem Hauptwerke nachgelesen werden, zu dessen Benutzung ein ausführliches Inhaltsverzeichnis, eine umfangreiche Literaturzusammenstellung und ein Schlagwortregister beigelegt sind. Da die meisten der im Texte aus Südwestafrika genannten Örtlichkeiten vielen Lesern unbekannt sein dürften und auf vielen Atlanten nicht zu finden sind, wurden alle im Texte genannten Örtlichkeiten mit ihrer Länge und Breite angegeben und dazu eine Karte erwähnt, auf der die Örtlichkeit sicher zu finden ist. Wenn man nur allgemein die Lage des Ortes wissen will, so genügt dann zur Orientierung auch jeder andere Atlas.
