

Werk

Titel: Vorträge und Abhandlungen

Ort: Berlin

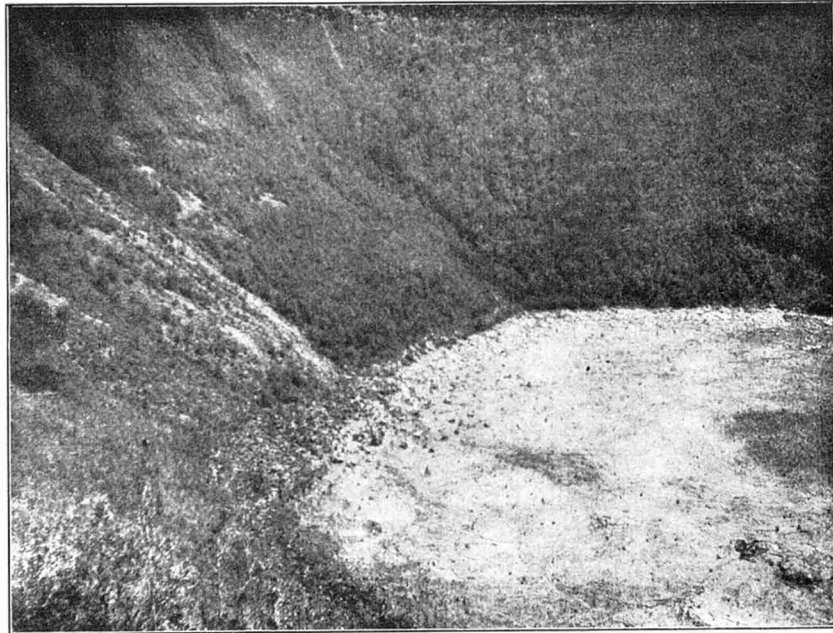
Jahr: 1912

PURL: https://resolver.sub.uni-goettingen.de/purl?391365657_1912 | LOG_0045

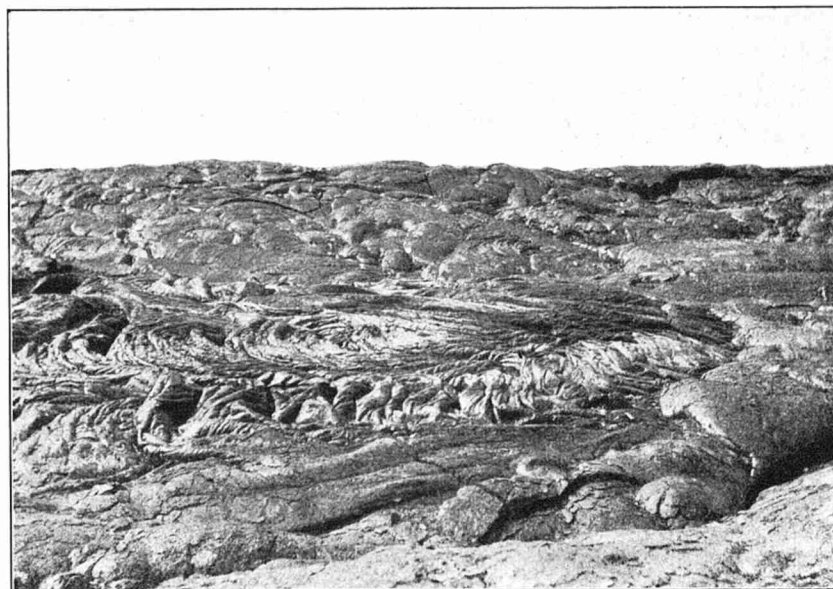
Kontakt/Contact

Digizeitschriften e.V.
SUB Göttingen
Platz der Göttinger Sieben 1
37073 Göttingen

✉ info@digizeitschriften.de



Abbild. 5. Kilauea iki, ein Maar mit erstarrtem Lavasee.
(Man beachte die Uferlinie.)



Abbild. 6. Pahoehoefeld im Kilaueakrater.

Die Erreichung des Südpols durch Amundsen.

Von Otto Baschin.

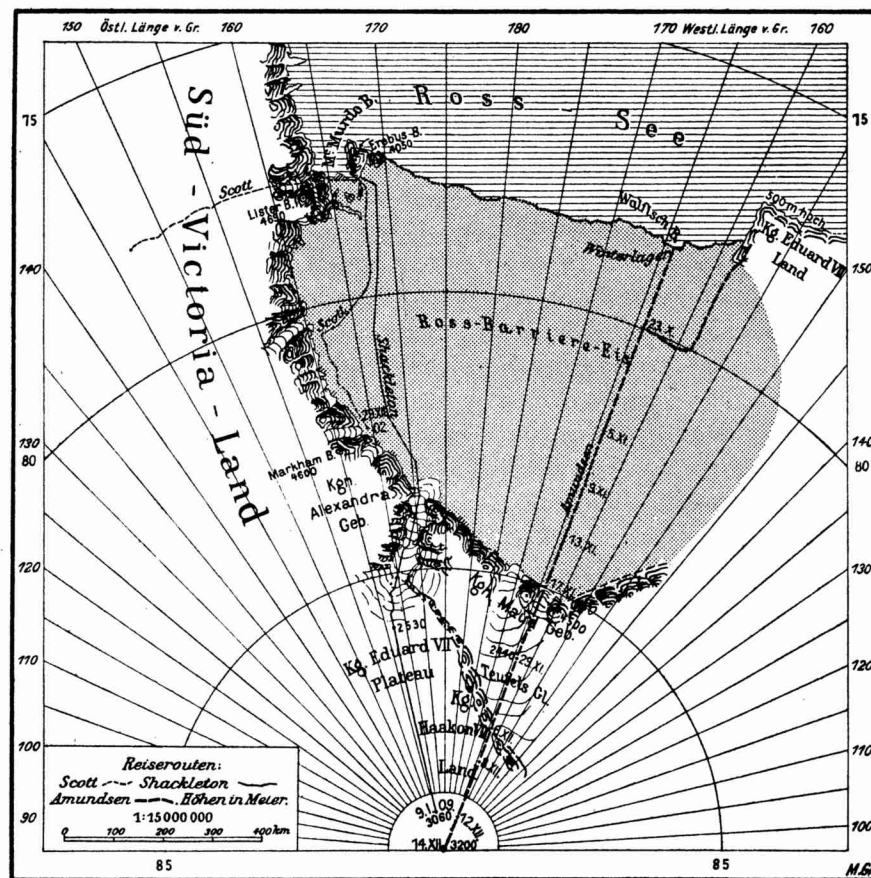
Roald Amundsens glänzend durchgeführte Südpolarreise ist durch die Erreichung des Südpols zu einem Ereignis in der Geschichte der geographischen Erforschung unseres Erdballs geworden, dessen Bedeutung nicht ausschließlich mit dem üblichen Maßstab gemessen werden kann, bei welchem die Zunahme unserer positiven Kenntnis den Skalenwert bildet. Allerdings steht diese Erweiterung unseres Gesichtskreises an erster Stelle, und der wissenschaftlichen Geographie fällt die Aufgabe zu, die Bereicherung des Tatsachenmaterials zu würdigen, die wir der erfolgreichen Entdeckungsfahrt des kühnen Norwegers verdanken. Zunächst freilich liegen nur vorläufige Berichte aus Tageszeitungen vor, die hauptsächlich allgemein interessante Einzelheiten der Öffentlichkeit unterbreiten und es noch nicht gestatten, ein völlig zuverlässiges Bild von den wissenschaftlichen Ergebnissen zu gewinnen, so daß eine definitive, zusammenfassende Darstellung der Resultate einem späteren Zeitpunkt vorbehalten bleiben muß. Aber auch schon die vorläufigen Ergebnisse sind von solcher Tragweite, daß wenigstens eine kurze Übersicht über dieselben hier am Platze sein dürfte.

Es ist in dieser Zeitschrift bereits darauf hingewiesen worden¹⁾, daß Amundsen mit großem Scharfblick und klugem Vorbedacht diejenige Stelle des Südpolargebiets als Ausgangspunkt seines Vorstoßes gewählt hat, die am bequemsten zugänglich ist. Sie vereinigt diesen Vorzug mit zwei weiteren, nämlich der größten, zu Schiff erreichbaren Polnähe und der Möglichkeit, einen Weg zum Südpol einzuschlagen, der weniger Schwierigkeiten bietet als jeder andere, wie sich nach den Ergebnissen der Reise von Shackleton bereits mit Wahrscheinlichkeit voraussagen ließ. Die gewaltige, größtenteils im Meere schwimmende Tafel des Barriere-Eises, das ziemlich eben ist und den Schlittengespannen ein leichteres Fortkommen gestattet als alle anderen Oberflächenformen der Antarktis, nimmt nämlich, wie

¹⁾ Jahrgang 1911, Seite 338.
Zeitschr. d. Gesellsch. f. Erdkunde zu Berlin. 1912. Nr. 3.

aus der beigegeführten, von Dr. M. Groll entworfenen Kartenskizze hervorgeht, von Westen nach Osten hin an Breite zu. Sie wird landeinwärts begrenzt durch den großen Steilabfall des antarktischen Plateaus, der mit Bergriesen besetzt ist, als deren höchste der Mount Markham mit 4600 m Höhe in 83° Süd und der Mount Lister mit 4690 m in 78° gelten. Das Umbiegen dieses Gebirgsrandes nach Südost ist bereits von Shackleton nach-

Abbild. 7.



gewiesen worden, der ihn durchquert und seine Fortsetzung bis 86° Süd festgestellt hat. Während aber Shackleton die Grenze zwischen Barriere-Eis und Gebirge unter 170° ö. L., wo er seinen Aufstieg begann, bereits in etwa $83\frac{1}{2}^\circ$ Süd angetroffen hatte, konnte Amundsen weiter östlich, in 164° w. L. mit einer beträchtlich südlicheren Lage jener Grenze rechnen. Diese Annahme hat sich bewahrheitet; denn er hat die Grenze erst in 85° Süd

angetroffen, so daß er bis zu dieser Breite auf der ebenen Schlittenbahn, welche die Oberfläche des Barriere-Eises darbot, in 27 Tagen vordringen konnte, während Shackleton zur Erreichung des gleichen Breitengrades 49 Tage gebraucht hatte. Günstige äußere Umstände wirkten außerdem bei Amundsens Reise mit, vor allem seine Ausrüstung mit starken Zughunden, gutes Wetter und ein vorzüglicher Gesundheitszustand aller Expeditionsteilnehmer, Vorteile, die Shackleton sämtlich nicht beschiedener waren. So erklärt es sich, daß Amundsen die Fahrt nach dem Pol mit einer durchschnittlichen Tagesleistung von 25 km zurückgelegt hat, während Shackleton trotz größerer körperlicher Anstrengung nur etwa zwei Drittel dieser Geschwindigkeit erreichen konnte.

Der äußere Verlauf der Expedition war kurz der folgende: Am 13. Januar 1911 lief die „Fram“ in die Walfisch-Bucht, die am weitesten nach Süden reichende Einbuchtung des Barriere-Eises ein, auf dessen Oberfläche, $2\frac{1}{2}$ km vom Landungsplatz entfernt, in einer Höhe von 50 m über dem Meeresspiegel das Winterquartier „Framheim“ in $78^{\circ} 40'$ Süd und 164° West errichtet wurde.

Gegenüber manchen Stimmen, die in Amundsens Wahl seines Stützpunktes einen unberechtigten Eingriff in die Operationsbasis der britischen Südpolar-Expedition sehen wollen, dürfte es nicht überflüssig sein hervorzuheben, daß die Walfisch-Bucht im Februar 1900 von dem Norweger Borchgrevink entdeckt worden ist, der hier zum ersten Male das Barriere-Eis betrat und auf einem Vorstoß nach Süden die von J. C. Roß im Februar 1842 erreichte höchste südliche Breite von $78^{\circ} 10'$ um $40'$ übertraf. Dazu kommt noch, daß „Framheim“ bei einer 1266 km betragenden Entfernung vom Südpol rund 700 km östlich vom Winterquartier Scotts gelegen war, eine Entfernung, die derjenigen der englischen von der mecklenburgischen Küste gleichkommt, so daß ein Vordringen beider Expeditionen auf benachbarten Wegen von vornherein ausgeschlossen erschien.

Am 20. Oktober verließ Amundsen nebst seinen vier Begleitern Hansen, Wisting, Hassel und Bjaaland mit 4 Schlitten, 52 Hunden und Proviant für vier Monate das Winterquartier und erreichte, genau in südlicher Richtung vordringend, am 23. Oktober 80° und am 31. Oktober, 5., 9., 13. und 16. November je einen weiteren Breitengrad. Unterwegs machte er eine höchst wichtige Entdeckung, die in ihren Einzelheiten jedoch noch weiterer Aufklärung bedarf. Am 11. November, also in einer Breite von etwa $83\frac{1}{2}^{\circ}$ Süd, konnte er feststellen, daß das Barriere-Eis in einer südostwärts gerichteten Bucht, die von dem im Süden auftauchenden, südöstlich ziehenden und einer anderen, in südwestlicher Richtung sich erstreckenden Bergkette gebildet wird, in 86° Süd und 163° West ihr Ende erreicht. In dem südwestlich streichenden Gebirge vermutet er einen Aus-

läufer des König Eduard VII.-Landes. Hier liegt offenbar eine Schwierigkeit in der Deutung dieser Nachricht vor, denn abgesehen von der großen Entfernung zwischen $83\frac{1}{2}^{\circ}$ und 86° , die etwa 280 km beträgt, also eine genaue Beobachtung nicht zuläßt, liegt König Eduard VII.-Land nicht nordöstlich, sondern nördlich von der genannten Stelle. Daß aber eine südliche Fortsetzung der Westküste von König Eduard VII.-Land nicht existiert, hat eine Partie der norwegischen Expedition unter Leutnant Prestrud, die dieses Land zum ersten Male betreten konnte, im November 1911 nachgewiesen.

Bis zum 85. Breitengrad war Amundsens Schlittenfahrt auf der glatten Oberfläche des Barriere-Eises ohne Schwierigkeiten vorwärts gegangen. Jetzt aber hatte man den Fuß des schon lange im Süden gesichteten Gebirges erreicht, das sich mit steilen, bis zu 4500 m aufragenden Gipfeln dem weiteren Vordringen in den Weg stellte. Das Gebirge, welches Amundsen nach der Königin Maud benannte, verläuft in nordwest-südöstlicher Richtung, ist also zweifellos eine Fortsetzung der von Shackleton entdeckten Königin Alexandra-Kette, mit der es auch in seinem ganzen Habitus übereinstimmt. Jetzt begann der schwierigste Teil des Weges, die Durchquerung der Gebirgskette, die durch zahlreiche spaltenreiche Gletscher erschwert wurde. Sie dauerte vom 18. November bis zum 6. Dezember, an welchem Tage in $87^{\circ} 40'$ die größte Höhe von 3275 m erreicht wurde, und nun folgte ein langsam nach Süden sinkendes einförmiges Plateau, auf dem die Schlittenfahrt in ziemlich flottem Tempo weiter ging. Am 8. Dezember war Shackletons höchste Breite ($88^{\circ} 23'$), am 10. Dezember der 89. Breitengrad erreicht und am 14. Dezember mußte man sich nach der Itinerarberechnung, die während der ganzen Reise eine gute Übereinstimmung mit den astronomischen Ortsbestimmungen gezeigt hatte, am Südpol befinden. Genauere astronomische Messungen ergaben indessen, daß die Breite erst $89^{\circ} 55'$ betrug, weshalb Amundsen mit seinen Begleitern noch 9 km weit nach Süden fuhr und dort, in 3200 m Höhe, ein mitgebrachtes Zelt errichtete, auf dem er die norwegische Flagge und den Framwimpel aufpflanzte.

Um für eine etwaige spätere Anzweiflung des Erfolges beweiskräftiges Material zu haben, wurden nun von vier Beobachtern 24 Stunden hindurch stündlich Messungen der Sonnenhöhe ausgeführt und zudem noch das Terrain in einem Umkreis von 8 km Radius durchstreift.

Die Rückfahrt, die am 17. Dezember 1911 angetreten wurde, ging beträchtlich leichter von statten wie die Hinreise, so daß durchschnittlich 36 km pro Tag zurückgelegt werden konnten, und die Forscher bereits am 25. Januar 1912 mit zwei Schlitten und elf Hunden in bestem Wohlsein wieder in „Framheim“ eintrafen. Am 30. Januar verließ das Schiff die Walfisch-Bucht, traf am 7. März in Hobart auf Tasmanien ein und ging

von da mit der gesamten Expedition am 20. März nach Buenos Aires ab.

Über die sonstigen Resultate, die geophysikalischen Messungen, die Eisuntersuchungen, die biologischen Beobachtungen und andere wissenschaftliche Ergebnisse enthalten die bisher vorliegenden Berichte teils nichts, teils nur dürftige Mitteilungen, doch geht schon aus dem Wenigen, was bekannt geworden ist, hervor, daß die Resultate der wissenschaftlichen Stationsarbeiten an Bedeutung nicht hinter den topographischen Entdeckungen zurückstehen.

Besonders betont wird die Häufigkeit und Pracht der Südlichter, die in der Winternacht am Himmel ihr Farbenspiel entfalteten. Das Barriere-Eis, dessen Rand im allgemeinen im Meere schwimmt und sich mit Ebbe und Flut hebt und senkt, liegt bei „Framheim“ offenbar fest auf dem seichten Untergrund des Meeres auf. An der Station fiel wenig Schnee, obgleich den ganzen Winter über offenes Wasser in großer Nähe war. Das erwartete stürmische Wetter stellte sich nicht ein, vielmehr kamen nur zwei Stürme von mässiger Stärke vor. Geradezu unerhört aber sind die niedrigen Lufttemperaturen, die Amundsen während des Winters messen konnte: am 1. August 1911 — 54° , am 17. August — 58° und am 13. August als absolutes Minimum — 59° , während bisher — $50,3^{\circ}$ als niedrigste an einer Südpolarstation jemals gemessene Temperatur angegeben wurde. Thermometerstände zwischen — 50° und — 60° gelangten in fünf Monaten zur Beobachtung. Das Jahresmittel gibt Amundsen zu — 26° an, so daß wir es mit der kältesten Gegend zu tun haben würden, die überhaupt auf der Erde bekannt ist, denn die niedrigsten bisher gemessenen Jahresmittel betragen — 20° , und selbst die Mitteltemperatur des Nordpols wird von H. Mohn nur zu — $22,7^{\circ}$, die des Südpols von Meinardus zu — 25° angenommen. Die klimatischen Verhältnisse an Amundsens Winterquartier scheinen also ganz einzigartig zu sein, vorausgesetzt natürlich, daß es sich nicht um ein ungewöhnliches Jahr, sondern um normale Zustände handelt.

Wir dürfen daher den erfolgreichen norwegischen Forscher nicht nur zu seiner Erreichung des Südpols, sondern auch zu den wissenschaftlichen Resultaten seiner Expedition auf das wärmste beglückwünschen. Möchte es ihm beschieden sein, die Hindernisse, die seiner geplanten Nordpolfahrt noch entgegenstehen, zu überwinden, und möge es ihm dann gelingen, auch die Umgebung des anderen Pols unseres Erdballs nicht nur zu erreichen, sondern auch wissenschaftlich zu untersuchen mit jener Gründlichkeit und Exaktheit, die heute bereits traditionell geworden ist für die norwegische Schule der Polarforschung, welche in Fridtjof Nansen ihren Begründer verehrt.

Berliner Seenstudien und Meeresforschung.*

Von Dr. Alfred Merz.

Zwei Forschungsrichtungen, die fast ausnahmslos getrennt betrieben werden, wage ich heute zusammenzufassen. Doch hoffe ich dabei der Zustimmung der Limnologen und Ozeanographen nicht zu entbehren; denn diese Trennung ist nicht natürlich und von keiner Seite erwünscht, sondern wohl ausnahmslos durch äußere Verhältnisse erzwungen. Ihrem Wesen nach gehören Seen- und Meereskunde zusammen, die eine ist die wichtigste Hilfswissenschaft der anderen. Denn eine ganze Reihe von Problemen ist beiden hydrographischen Disziplinen gemeinsam, und die Verschiedenheit der äußeren Bedingungen ermöglicht es bald durch Meeresforschung, bald durch Seenstudien die Lösung zu finden und sie beiden fruchtbar zu machen.

Die riesenhafte geschlossene Ausdehnung der Ozeane schaltet den Einfluß des Landes von großen Gebieten ganz aus und gestattet hydrographische und biologische Verhältnisse in ihrer freien, durch keine scharfen Schranken gehemmten Entwicklung zu verfolgen. Es wird damit der richtige Maßstab gewonnen, an dem jene Faktoren gemessen werden können, die jedem einzelnen See im Gegensatz zum einheitlichen erdumschließenden Ozean ein besonderes Gepräge geben. Es sind dies die räumliche Beschränktheit, die geographische Lage und der mit abnehmender Größe bis zu extremen Graden steigende Einfluß der umschließenden Landmassen besonders auf Thermik, Chemie und Biologie der Seen.

Nicht minder bedeutsame Dienste können Seenstudien der Meeresforschung leisten. Denn viele Probleme bieten die Seen in einfacherer, leichter lösbarer Form. Entbehren doch die meisten von ihnen des differenzierenden Salzgehaltes und alle, ihrer Kleinheit wegen, der Gezeiten. Auch die Wellenbewegung hält sich deshalb in viel engeren Grenzen, und dies gewährleistet wieder eine erhöhte Exaktheit der Untersuchung. Da die Form der Seen häufig sehr einfach und die Größe sehr gering ist, so können alle hydrographischen und biologischen Vorgänge mit Leichtigkeit über den ganzen See verfolgt und ohne große Hilfsmittel und Kosten selbst Jahre hindurch unter Kontrolle gehalten werden.

So bieten die Seen der Ozeanographie die wundervolle, bisher leider nur wenig benützte Gelegenheit, gleichsam Experimente im großen durchzuführen. Wie der Mathematiker bei Lösung einer Aufgabe vorerst zur Vereinfachung der Annahmen, wie der Physiker zum Experiment schreitet,

*) Vortrag, gehalten in der Allgemeinen Sitzung vom 2. Dezember 1911.

so sollte sich der Meeresforscher in vielen Fällen der Seeuntersuchung bedienen, um die Klärung mancher schwieriger ozeanographischer Probleme anzubahnen.

Wird den meisten Ozeanographen diese so wünschenswerte Verbindung der beiden Forschungsrichtungen aus äußeren Gründen sehr erschwert, so ist das Institut für Meereskunde in Berlin infolge des Seereichtums seiner Umgebung in der glücklichen Lage, neben der Ozeanographie auch der Limnologie einen Teil seiner Tätigkeit widmen zu können. Diese Seen bieten die dreifache Möglichkeit, die Studierenden jederzeit im Gebrauche der hydrographischen Instrumente zu üben, Aufgaben der Seenkunde zu lösen und die dabei gewonnenen Erfahrungen und Resultate der Meereskunde fruchtbar zu machen. Dadurch wird der Nachteil, den man für Forschung und Lehre am Institut für Meereskunde aus seiner Binnenlage vielleicht folgern könnte, zum großen Teil wettgemacht, ganz abgesehen davon, daß nunmehr das Institut an der Adria, in Rovigno, einen maritimen Stützpunkt besitzt.

Es hat denn auch bereits Professor Alfred Grund, als er noch am Institut für Meereskunde wirkte, seine Aufmerksamkeit auf die Seen der Umgebung geworfen und, unterstützt durch die Ortskenntnisse seines Privatassistenten Herrn Adolf Schroer, den Sakrower See bei Potsdam als ausgezeichnetes Arbeitsfeld für die Aufgaben des Instituts erkannt. Die leichte Erreichbarkeit, seine einfache Form und beträchtliche Tiefe (37 m), sowie die außerordentlich langsame Umsetzung seiner Wassermassen durch den unbedeutenden Zufluß und den schmalen, 1.5 m tiefen Kanal zur Havel machen ihn für die erwähnten Zwecke besonders geeignet.

So wurden bereits im Jahre 1909 am Sakrower See eine Reihe von Untersuchungen vorgenommen, deren interessante Ergebnisse in der Internationalen Revue für Hydrobiologie und Hydrographie publiziert wurden.

Als weiterhin die Zahl der Studierenden beträchtlich zunahm und das Instrumentarium des Instituts immer mehr vervollständigt wurde, da konnten auch die Übungen und Arbeiten einen weit größeren Umfang annehmen, nach einem auf Jahre hin entworfenen Plane systematisch durchgeführt und auf ein großes Endziel hin gerichtet werden. Dieses Endziel soll bestehen in der Aufhellung des Problems von den Beziehungen zwischen der Beschaffenheit des Seewassers und dem Lebensprozesse seiner Bewohner. Mag dieses Vorhaben vielleicht allzu kühn erscheinen, so empfiehlt es sich doch für die Arbeiten des Instituts für Meereskunde. Denn einerseits verlangt die Durchführung ein Zusammenarbeiten der verschiedensten Zweige der Hydrographie, wofür die Bedingungen an einem großen Institut noch am ehesten gegeben sind, andererseits würde die Lösung eine

wesentliche Vorarbeit für die Bearbeitung des analogen, aber noch viel schwierigeren Problems der Ozeanographie bedeuten.

Vorerst erfordert die Annäherung an das in der Ferne schwebende Endziel eine Reihe von Vorarbeiten. Muß doch vorher das physikalische und chemische Verhalten des Seewassers in allen Tiefenschichten und zu allen Jahreszeiten genau studiert werden, müssen doch auch die Organismen nach Art und Zahl das ganze Jahr hindurch verfolgt und sollen die Bodenablagerungen genau analysiert werden. Von diesen Voruntersuchungen ist ein nicht unbeträchtlicher Teil bereits durchgeführt worden, und ich möchte hier einige Hauptergebnisse flüchtig skizzieren, jedoch nicht ohne vorher einige Worte über Hilfsmittel und Arbeitsmethoden gesagt zu haben.

Das Institut für Meereskunde verfügt leider nur über eine Marinejolle, deren Fortbewegung an die Ruderkraft ihrer Insassen beträchtliche Anforderungen stellt. Ohne das selbstlose Entgegenkommen eines Privatmannes, des Herrn L o h m a n n in Nikolassee, der durch lange Zeit sein Motorboot zur Verfügung stellte, wäre es unmöglich gewesen, das große Arbeitsprogramm stets durchzuführen. Die Jolle ist nunmehr für die Seeuntersuchungen so gut als möglich eingerichtet. Ein solider Eichenschrank dient zur Aufbewahrung, ein Arbeitsmast mit zwei Auslegern zum Hinablassen und Heraufholen der Instrumente. Von den Winden wird der Draht über die an den Auslegern befestigten Meterräder geführt, deren Umdrehungen die abgelassene Drahtlänge auf wenige Zentimeter genau angeben und kostspielige Lotmaschinen ersetzen. Sie wurden auch bei der genauen Auslotung des Sees benutzt, die Herr Dr. Walter B e h r m a n n, unterstützt von einem Stabe von Geographen, leitete.

Für die hydrographischen Zwecke wurden die von der internationalen Meeresforschung verwendeten exakten Instrumente und Apparate erstmalig zur Seeuntersuchung mit bestem Erfolge herangezogen. Ekmannsche Wasserschöpfer dienen zum Aufholen der Wasserproben, die Richterschen Kippthermometer, deren Temperaturangaben auf wenige Hundertstelgrade genau sind, zur Untersuchung der Wärmeverhältnisse. Nach den Resultaten des Hydrographen richtet der Biologe seine Arbeit ein. Ihm ist der zweite Arbeitsmast zugeteilt, der zum Fieren und Hieven des Schlauches dient, durch den aus genau festgestellter Tiefe ein bestimmtes Wasserquantum herausgepumpt wird, um es auf seinen Organismengehalt sorgfältig quantitativ zu untersuchen. Denn eine Feststellung aller für das Problem bedeutsamen Faktoren nach Maß und Zahl ist eine der wichtigsten Vorbedingungen für die Lösung des Endproblems. — Da es meist erforderlich war, an mehreren Stationen gleichzeitig zu arbeiten oder an einem einzigen Tage dreißig und mehr Stationen zu untersuchen, so mußte zur Mietung primitiver Fischerkähne geschritten werden, die dann recht und schlecht

für die Arbeiten adaptiert wurden. Im Winter trat anstelle der Boote die Arbeit vom Eis aus.

Die eingehendste Erforschung haben bisher die Temperatur- und Sauerstoffverhältnisse erfahren. Seit Februar 1909 wurden sie fortlaufend verfolgt und von April 1910 bis Mai 1911 wurden diesen Fragen fünfzig gleichmäßig über das Jahr verteilte Arbeitstage gewidmet.

Eine in alle Einzelheiten eindringende Feststellung des jährlichen Temperaturganges für alle Tiefenschichten ist eines der Hauptresultate. Es ist mir hier nicht möglich, auf die hochinteressanten Details einzugehen. Sie werden ihre ausführliche Erörterung in einer umfangreichen Arbeit von Herrn Georg Schickendantz finden. Nur die Hauptpunkte sollen hier gestreift werden. Der Gang und die vertikale Verteilung der Temperatur ist charakterisiert durch große Gleichförmigkeit im Winter, wo von der Oberfläche bis zum Boden fast gleiche Temperatur herrscht, und durch große Gegensätze im Sommer, wo, wie zu erwarten, die Oberflächenschicht sich hoch erwärmt. Überraschender, aber auch schon bisher bekannt, ist die Erscheinung, daß mit zunehmender Tiefe das Wärmemaximum immer später eintritt und bereits in 11 m Tiefe auf Anfang November verschoben ist. Noch wenig bekannt ist eine weitere Tatsache, die unsere Arbeiten zeigen, daß die untersten Wasserschichten im Gegensatz zur Oberschicht die größten Temperaturänderungen nicht im Sommer, sondern im Vorfrühling und Spätherbst erleiden. Vollständig neu und im ersten Moment frappierend ist die Feststellung, daß der See eine Schicht aufweist, wo das Wasser gerade in der wärmsten Jahreszeit, in den Monaten der höchsten Oberflächentemperaturen, an Wärme verliert.

Diese und eine Reihe anderer Erscheinungen, die auch durch die chemischen und planktonischen Befunde bekräftigt wurden, zwangen uns dazu, unsere Anschauungen über den jährlichen Wärmegang eines Sees zu revidieren und besonders über die Genesis der Sprungschicht neue Gesichtspunkte aufzustellen, worüber ich vor einiger Zeit eine kurze Abhandlung publizieren konnte; die eingehende Behandlung wird erst Schickendantz bringen.

Auch jene merkwürdigen Schwankungen in der Tiefenlage der Sprungschicht, welche durch die wundervollen Untersuchungen am Loch Ness in Schottland erst vor kurzer Zeit entdeckt wurden, konnten am Sakrower See nachgewiesen werden. Sie wurden von den schottischen Limnologen bekanntlich als stehende Schwingungen der beiden durch die Sprungschicht getrennten, verschieden dichten Wassermassen erklärt. Sie treten am Sakrower See nicht nur in der Längsachse, sondern auch als Querschwingung auf und beeinflussen die Temperaturverteilung so stark, daß gelegentlich die Flächen gleicher Temperatur an dem einen Ende des Sees

um 4—7 m tiefer als an dem anderen liegen. Dies entspricht einem Gefälle von 2—3,5 ‰ und muß Ausgleichsströmungen hervorrufen.

Vollkommen neue Tatsachen bieten eine Reihe von Temperaturuntersuchungen, die im vergangenen Sommer mehrere Tage hindurch von zehn zu zehn Minuten im Gebiete der Sprungschicht vorgenommen wurden. Die Veranlassung dazu boten neben theoretischen Überlegungen die Erfahrungen, die gelegentlich bei rasch wiederholten Messungen in der Sprungschicht gemacht wurden. Es zeigte sich, daß solche Wiederholungen selbst bei exaktestem Arbeiten oft Temperaturdifferenzen bis zu einem Grad ergaben. Die systematische Durchführung rasch aufeinanderfolgender Beobachtungen hat nun hochinteressante Resultate gezeigt. Es zeigte sich nämlich neben dem bereits erwähnten langsamen Auf- und Abpendeln der Sprungschicht von ungefähr 5 Stunden Dauer ein ziemlich regelmäßiges An- und Absteigen der Temperatur mit einer Periode von ungefähr 25—30 Minuten, das wir aus einer fortschreitenden Wellenbewegung im Gebiete der Sprungschicht glauben ableiten zu dürfen. Durch diese Ergebnisse erhalten unsere analogen, freilich viel weniger umfassenden Beobachtungen an der Adria eine bedeutsame Stütze.

Diese Resultate der thermischen Arbeiten stehen in erfreulicher Übereinstimmung mit unseren Beobachtungen über den Sauerstoff- und Planktongehalt des Wassers. Zum leichteren Verständnis der Ergebnisse möchte ich darauf hinweisen, daß nach unseren Untersuchungen der See im Winterhalbjahre eine homogene Wassermasse enthält, die alle Strömungsimpulse bis zum Grund vordringen läßt, während er im Sommer aus zwei getrennten Schichten besteht, die sich infolge ihrer Dichtedifferenz nicht miteinander mischen, so daß sich Bewegungsvorgänge nur innerhalb einer jeden Schicht abspielen, ohne daß sie von der einen in die andere übergreifen. Auf dieser Grundlage lassen sich nicht nur die erwähnten Eigenheiten im Jahresgang der Temperatur, sondern auch Sauerstoff- und Planktonverteilung verstehen.

Der Sauerstoffgehalt ist nämlich im Winter, wenn die Wassermischung bis zum Boden greift und dadurch immer wieder sauerstoffgesättigtes Wasser von der Oberfläche hinabgeführt werden kann, in allen Schichten gleich hoch. Sobald sich aber eine sommerliche Sprungschicht entwickelt, wird die unterlagernde Wassermasse von der Kommunikation mit der Lieferantin des Sauerstoffs, der Atmosphäre, abgeschnitten, und der Sauerstoff nimmt hier immer mehr ab, bis er schließlich gänzlich verschwindet. Er wird durch die Lebensprozesse der Organismen verbraucht, und an seine Stelle tritt der lebensfeindliche Schwefelwasserstoff. Wenn aber im Herbst die Sprungschicht tiefer und tiefer sinkt, dann kann auch die Wassermischung wieder weiter abwärts greifen, und Sauerstoff dringt schließlich abermals bis zum Grund vor, während gleichzeitig der Schwefelwasserstoff verschwindet.

Dieses Auftreten von Schwefelwasserstoff in den Tiefen von Binnenseen, das durch die Untersuchungen des Herrn Schickendantz das erstmal nachgewiesen wurde, verdient besondere Beachtung, denn es ist von großer Bedeutung auch für praktische Zwecke, besonders für die Fischerei.

Die im innigen Konnex mit der Hydrographie ausgeführten biologischen Untersuchungen haben gezeigt, daß das Plankton in viel engerer Abhängigkeit von den hydrographischen Verhältnissen steht, als vielfach angenommen wird. Das auffälligste Ergebnis der von Herrn Hugo Behrens durchgeführten Untersuchungen ist die enge Beziehung zwischen Sprungschicht und Planktonmenge. Jede Beobachtungsserie zeigte ihre einschneidende Bedeutung für das organische Leben, meist in der Weise, daß unterhalb die Planktonmenge rasch auf geringe Quantitäten abnahm. Wir können allerdings heute die Art der Beziehung noch nicht immer vollkommen durchschauen und können nur konstatieren, daß sie für die einzelnen Komponenten durchaus nicht ganz gleichartig ist. Im Winterhalbjahr dagegen, wenn die Sprungschicht verschwunden, die Wassermasse homogen geworden und der Sauerstoff wieder bis in die Bodenschichten vorgedrungen ist, dann ist auch das Plankton gleichmäßig in der Vertikale verteilt.

Eine noch recht rätselhafte Erscheinung ist das Auftreten eines Maximums lebender Planktonten in großer Tiefe, dessen Lage sich im Laufe des Spätsommers und Herbstes allmählich nach oben verschiebt. Die Weiterführung der Untersuchungen wird hoffentlich auch diese Fragen klären.

Ist schon die limnologische Tätigkeit des Instituts für Meereskunde etwas durch den Mangel eines geeigneten Fahrzeuges erschwert, so galt dies vor der Verbindung mit Rovigno in noch viel höherem Grade für die maritimen Arbeiten. Sollte dennoch nicht auf selbständige Forschungstätigkeit verzichtet werden, so mußte versucht werden, irgendwie anders aufs Meer hinaus zu gelangen. Die außerordentliche Förderung, welche die kaiserliche Marine und zivile Behörden sowie die Norddeutschen Seekabelwerke diesen Bestrebungen zuteil werden ließen, haben in den letzten Jahren in der Tat eine ausgedehnte ozeanographische Betätigung ermöglicht.

In erster Linie wurde die Deutsche Bucht der Nordsee als Arbeitsfeld in Betracht gezogen. Denn einerseits war sie nicht in das Bereich der Internationalen Meeresforschung einbezogen worden, und andererseits boten sich hier Stützpunkte für die Untersuchungen in den Feuerschiffen, welche die Deutsche Bucht umgürten.

So wurde nach einer von Professor Grund geleiteten Voruntersuchung auf den Elbfeuerschiffen die Deutsche Bucht als erstes Arbeitsgebiet ge-

wählt. Das Institut trat zu diesem Zweck in Kooperation mit der Biologischen Anstalt auf Helgoland, welche den biologischen Anteil übernahm. Als Arbeitspunkte wurden die Feuerschiffe Borkum Riff, Norderney, Elbe I und Amrum Bank gewählt, die in ziemlich gleichen Abständen die Küste der Deutschen Bucht begleiten. Hier sollte in jeder Jahreszeit mehrere Tage hindurch gearbeitet werden.

Der Plan der hydrographischen Untersuchungen mußte sich natürlich den speziellen Verhältnissen des Arbeitsgebietes anpassen. — Während unsere Seen ihre interessanteste Eigentümlichkeit in der Entwicklung einer Sprungschicht haben, auf die sich die Hauptaufmerksamkeit der Beobachter konzentrieren muß, ist die Deutsche Bucht gerade durch entgegengesetztes Verhalten charakterisiert. Außerordentlich gleichförmig sind in diesem seichten und stürmischen Meere Salzgehalt und Temperatur von der Oberfläche bis zum Grund angeordnet, große Differenzen gibt es nur in der Horizontalen. Warm sind gegenüber der offenen See die Küstengebiete im Sommer und relativ kalt im Winter; stets sind sie aber salzarm infolge der einmündenden Süßwässer. Bedeutsam sind die Gezeiten in der Deutschen Bucht, und sie müssen nicht nur den Wasserbewegungen ihr Gepräge geben, sondern auch die Verteilung von Temperatur und Salzgehalt beeinflussen. Sollte daher mehr als bloß ein Beitrag zur Kenntnis der jahreszeitlichen Veränderungen der hydrographischen Verhältnisse erreicht werden, dann mußten die Gezeitenerscheinungen zu einem Hauptobjekt des Studiums gemacht werden. Dies konnte nur erzielt werden, wenn weit über den gewöhnlichen Umfang hydrographischer Untersuchungen hinaus in regelmäßig wiederholten Beobachtungsserien Stromrichtung und Geschwindigkeit, Temperatur und Salzgehalt gemessen wurden. So sollten denn auf allen Feuerschiffen während einer Woche mindestens jede zweite Stunde die genannten Faktoren in allen Tiefenschichten beobachtet werden.

Nur die Winteruntersuchungen wurden durch die berüchtigten Stürme in der zweiten Februarhälfte dieses Jahres vereitelt, sonst wurde das ganze große Programm, das Tausende und Tausende von Beobachtungen einbrachte, glatt und, trotz sehr schwieriger Witterungsverhältnisse, ohne Verlust von Instrumenten durchgeführt. Daß dies so glücklich gelungen ist, und daß die Exaktheit der Beobachtungen nichts zu wünschen übrig läßt, zeigt recht eindringlich den großen Nutzen, welchen die intensive Schulung der Studierenden durch die vorbereitenden Arbeiten auf Seen gewährt.

Die Überfahrt zu den Feuerschiffen, deren Benützung von den betreffenden Regierungen auf das Entgegenkommendste gestattet wurde, geschah teilweise auf Regierungsdampfern, meist aber auf Fahrzeugen der

kaiserlichen Marine, der das Institut dafür zu größtem Danke verpflichtet ist. Die Arbeiten an Bord der Feuerschiffe, deren Besatzung auf willigste jede Hilfe leistete, geschahen mit denselben Instrumenten, die wir bei den Seeuntersuchungen benutzt hatten. Backbord und Steuerbord wurde je ein Ausleger als Arbeitsmast angebracht und mit Meterrad und Draht versehen. Auf der einen Seite wurde der Wasserschöpfer mit Kippthermometer, auf der anderen Seite der Strommesser angebracht. Die zur Aufnahme der Wasserproben bestimmten Kisten wurden als Arbeitstische montiert, und bei dieser Anordnung ließ sich zu zweit gut arbeiten.

Die Verarbeitung des riesigen Materials wird am Institut von Herrn *Fritz Wendicke* durchgeführt. Sie ist nunmehr soweit vorgeschritten, daß es möglich ist, einige Hauptresultate der Sommerexkursion zu überblicken.

Allenthalben sind, wie vorauszusehen war, die Gezeiten das dominierende Phänomen in den hydrographischen Erscheinungen. Entgegen dem Sinne des Uhrzeigers dreht der Gezeitenstrom in allen Tiefen von Flut auf Ebbe und von Ebbe auf Flut, wobei er seine größten Geschwindigkeiten nahe am Mittelwasser, seine geringsten dagegen zur Zeit von Hoch- und Niedrigwasser erreicht. Doch verhielten sich Flut- und Ebbestrom recht verschieden. Stets hatte der Flutstrom seine größte Geschwindigkeit in den obersten Wasserschichten, wenn auch ähnlich wie die Flüsse nicht unmittelbar an der Oberfläche, sondern etwas tiefer. Die Abnahme der Geschwindigkeit mit der Tiefe war sehr beträchtlich. Anders der abfließende Ebbestrom. Er erreichte in den oberen Wasserpartien nur geringe Stärke, und erst in halber Tiefe oder noch näher dem Boden erlangte er das Maximum seiner Kraft. Diese Tatsachen geben uns ein Bild von dem Bau der küstennahen Gezeitenwelle, das in mancher Hinsicht an die Brandungserscheinungen an einer Flachküste erinnert. Wie dort im kleinen die brandende Welle mit überbrechenden Kämmen von obenher auf die Küste zustürzt, so besitzt hier im Großen der landwärts gerichtete Flutstrom die höchste Geschwindigkeit in der Oberschicht. Und wie dort das Wasser am Boden entlang als Sog abläuft, so kehrt hier im großen der Ebbestrom mit besonderer Mächtigkeit in der Tiefe zurück. Wenn er nicht in unmittelbarer Nähe des Grundes seine größte Geschwindigkeit erreicht, so dürfen wir darin auch eine Einwirkung der Reibung erblicken. Allerdings scheint auch der zyklonale Nordsee-Strom diese Entwicklung nicht unbeträchtlich zu beeinflussen. Anders liegen natürlich die Verhältnisse in der Elbe, wo mit der Ebbe das leichte Elbwasser abwärts strömt, das nur in der Oberschicht zum Abfluß gelangen kann.

Diese Gezeitenströme werden besonders durch drei Faktoren in ihrer Reinheit gestört. Ganz allgemein durch den zyklonalen Strom der Nordsee,

zeitlich durch stürmische Witterung und lokal durch die Anordnung der Tiefenverhältnisse. Bekanntlich umkreist die Nordsee eine Meeresströmung von West über Süd nach Nord. Auch aus unseren Beobachtungen konnte der vom Gezeiteneinfluß befreite resultierende Strom abgeleitet werden, der während der Beobachtungszeit allerdings nicht ganz dem durchschnittlichen Schema entsprach. Jedenfalls ergab aber diese Berechnung die interessante Tatsache, daß der resultierende Strom mit der Tiefe rasch abnahm. Dies ist nun von großem Einfluß auf die Gezeitenströme. Dieselben werden in den Oberschichten durch den kräftigen Strom verhindert, die normale Rotation auszuführen. Sie wird vielmehr in eine Zickzackbewegung auseinandergezogen, die selbst in der halben Wassertiefe noch klar hervortritt. Nur in den untersten Schichten bleibt die rotatorische Bewegung fast völlig erhalten, so daß sich hier ein Wasserteilchen nach Ablauf einer halbtägigen Gezeitenperiode nur wenig von seinem ursprünglichen Platze entfernt, während ein Oberflächenteilchen weit von seinem Ausgangspunkt abkommt. — Die gewaltigen Stürme der Nordsee sind das zweite Element, das die Gezeitenerscheinungen in hohem Grade beeinflußt, da sie Richtung und Stärke der resultierenden Strömung wesentlich modifizieren. Braust zum Beispiel ein mächtiger West- oder Nordweststurm auf das Land zu, so werden die Oberschichten mit beträchtlich erhöhter Geschwindigkeit gegen die Küste gedrängt, wodurch der Weg des Gezeitenstroms noch mehr ausgezogen wird. Aber noch größer ist der Einfluß auf die Tiefenschichten. Denn der Wasseranstau an der Küste erzeugt einen Überdruck, der zur Entwicklung eines seewärts, also gegen den Sturm gerichteten Tiefenstroms führt, der nun die normale rotatorische Form des Gezeitenstroms der Tiefe stört. Es ist mithin bei diesen Untersuchungen gelungen, im Meer durch Strommessungen ein Zirkulationssystem nachzuweisen, das bisher für Seen in ähnlichen Fällen nur indirekt aus Temperaturmessungen erschlossen werden konnte.

Nicht minder deutlich ist die Wirkung der Tiefenverhältnisse auf die Gezeitenströme. Besonders bei Feuerschiff Amrum Bank läßt sich dies nachweisen. Hier liegt nordöstlich der Beobachtungsstelle die nur 8 m Wassertiefe aufweisende Bank. Sie bildet ein Hindernis für die normale Herausbildung des Tiefenstroms, der hier nicht regelmäßig rotiert, sondern den seichten Nordostquadranten fast überschlägt, so daß der Gezeitenstrom rasch von der Ebbe- in die Flutrichtung überspringt.

Vergleicht man den Gang der Temperatur- und Salzgehaltswerte mit den Gezeitenströmungen, so tritt eine enge Beziehung unverkennbar hervor. Allerdings ist dies nicht in jedem einzelnen Falle leicht zu ersehen und manchmal ist auf den ersten Blick kaum mehr festzustellen, als daß auch hier wie bei den Strömungen selbst die Erscheinungen in der Tiefe

viel regelmäßiger als an der Oberfläche sind. Doch das Bild klärt sich außerordentlich, wenn wir die Temperatur- und Salzgehaltsbeobachtungen nach den halbtägigen Gezeitenperioden übereinanderlegen und durch diese Methode andere Perioden und Störungen ausscheiden. Wir erhalten dann besonders für Feuerschiff Amrum Bank ein Bild von wundervoller Klarheit. Regelmäßig steigt in der ganzen Wassersäule mit der Dauer des Flutstroms der Salzgehalt und sinkt die Temperatur. Wenn dagegen Ebbestrom eintritt, kehrt sich das Verhältnis um: der Salzgehalt beginnt zu fallen und die Temperatur zu steigen. Befreit man die beobachteten Temperatur- und Salzgehaltswerte von diesen Gezeitenschwankungen, so zeigen sie einen recht einförmigen Verlauf. Dies ist ein weiterer Beweis, daß hier die Gezeiten die Hauptursache der kurzperiodischen, recht beträchtlichen Veränderung sind. Welchen Wert würde die höchste Genauigkeit von Einzelbeobachtungen haben, wenn die eine zufällig nahe an Hochwasser, die andere nahe an Niedrigwasser fällt? Wir müssen aus unseren Untersuchungen folgern, daß selbst in einem so wenig differenzierten Gebiet wie die Nordsee die Forderung gilt, daß viele wichtige hydrographische Erscheinungen nur durch ausgedehnte Beobachtungsreihen der Erklärung zugänglich gemacht werden können.

Führten diese Untersuchungen das Institut auf das Meer hinaus, so hat das unschätzbare Entgegenkommen der Norddeutschen Seekabelwerke auch die Möglichkeit einer ozeanischen Betätigung gesichert. Denn die Seekabelwerke erklärten sich bereit, einen Beamten des Instituts an Bord des Kabeldampfers „Stephan“ zu nehmen, um die Legung der Teilstrecke Monrovia—Pernambuco auch der Wissenschaft dienstlich zu machen. Dieses Anerbieten war von um so größerem Werte, als die für die Kabellegung nötige Lotungsreihe quer durch die Tropen des Atlantischen Ozeans führte, einem ebenso hochinteressanten, als von modernen Expeditionen nur wenig bearbeiteten Gebiete. Vom Institut zur Teilnahme an der auf Januar dieses Jahres festgesetzten Ausreise bestimmt, konnte ich alle Vorbereitungen für ein möglichst umfassendes Programm treffen, dessen Ausführung durch die große Hilfsbereitschaft, die ich an Bord fand, sehr erleichtert, ja größtenteils überhaupt erst ermöglicht wurde. In Verwertung der Erfahrungen, die bei den bereits angezogenen Arbeiten gemacht worden waren, plante ich, alle überhaupt auszuführenden Beobachtungen in möglichst kleinen Zeitintervallen regelmäßig zu wiederholen.

So wurden bereits auf der Ausreise vom Kanal bis in den Golf von Guinea jede zweite Stunde meteorologische, sowie hydrographische Oberflächenbeobachtungen angestellt und nur von 12½ Uhr nachts bis 4 Uhr

morgens eine größere Pause eingeschoben. Aus den Ergebnissen dieser in Fahrt angestellten Beobachtungen möchte ich hier nur ein Resultat hervorheben, das im nordwestafrikanischen Kaltwassergebiet erzielt wurde. Während sich sonst die Beobachtungen zu einer sehr regelmäßigen, sanft geschwungenen Kurve zusammenfügen, wird sie hier viel reicher bewegt. Temperaturdifferenzen von $2,3^{\circ}$ kamen innerhalb zweier Stunden zur Beobachtung. Und dieses Auf- und Absteigen vollzieht sich nicht regellos, wie man es bei zufälliger Mischung verschieden temperierter Wassermassen erwarten müßte, sondern mit auffallender Periodizität. Um ungefähr 12 Stunden fallen die Maxima auseinander. Es drängt sich unwillkürlich der Gedanke auf, daß hierin Gezeitenbewegungen zum Ausdruck kommen. Diese vielleicht kühn erscheinende Annahme erhält eine wesentliche Unterstützung durch weitere Beobachtungen auf meiner Reise, durch Untersuchungen von Helland-Hansen anlässlich der atlantischen Expedition des Michel Sarß im Sommer vergangenen Jahres und vor allem durch die jüngst von Knudsen publizierten Ergebnisse dänischer Arbeiten bei den Fär-Öer-Inseln, die dartun, daß die Tiefenwasser durch die Gezeiten nicht nur bewegt, sondern auch in Temperatur und Salzgehalt merklich beeinflusst werden. Es ließe sich daraus folgern, daß solche Erscheinungen in unserem Gebiete auch an der Oberfläche auftreten könnten, da ja hier Tiefenwasser emporquillt.

Die Hauptaufgaben boten sich jedoch erst bei der Lotungsreise von Monrovia nach Pernambuco. An 100 Lotungen wurden auf diesem Querprofil, zum Teil in sehr engen Abständen, gelegt. Während der Lotungen lag das Schiff ungefähr eine Stunde still, und diese Zeit konnte für die Durchführung hydrographischer Serienmessungen ausgenützt werden. Die Schiffs- und Expeditionsleitung förderten dies nach Kräften. Es wurde mittschiffs für die hydrographischen Arbeiten ein Ausbau errichtet, der eine sichere Führung des Drahtes gewährleistete und vor allem die gefährliche Reibung am Schiffskörper verhinderte. Zum Auf- und Abholen der Instrumente stand eine von mehreren Matrosen bediente Kabelwinde zur Verfügung, und ein zwischengeschalteter Dynamometer diente zur Abschwächung der Stampfbewegung des Schiffes. Mit diesen Einrichtungen war es möglich, 64 Lotungen für hydrographische Zwecke auszunützen und Temperatur- und Salzgehaltsuntersuchungen bis 800 m Tiefe anzustellen, ohne daß irgend ein Verlust an Draht oder Instrumenten eintrat. Dadurch ist nunmehr ein mit modernen Mitteln gewonnenes Querprofil durch die Tropen des Atlantischen Ozeans festgelegt.

Soweit diese Beobachtungen verarbeitet sind, bestätigen sie einerseits die Hauptzüge der Temperaturverteilung in den gequerten Stromgebieten, wie sie bereits vorher bekannt waren, andererseits fügen sie eine

Reihe weiterer Züge dem bekannten Bilde hinzu. So ließ sich an der Küste von Liberia ein bisher nicht erwähntes Kaltwassergebiet nachweisen, und die Salzgehaltsbeobachtungen im westlichen Teil des Arbeitsgebietes ergaben ein Minimum bei 650—700 m Tiefe.

Besonders interessante Ergebnisse wurden aber dadurch erzielt, daß in Verwertung der an der Adria und am Sakrower See gemachten Erfahrungen über rasche Veränderungen im Gebiete der Sprungschicht, dieser besondere Beachtung in Form häufig wiederholter Beobachtungen geschenkt wurde. Dadurch gelang es, die wichtige Tatsache nachzuweisen, daß auch auf offenem Ozean die Lagerung der Flächen gleicher Temperatur und gleichen Salzgehaltes durchaus keine horizontale und daher stabile ist. Und auch der Abfall dieser Flächen in Staugebieten, sowie der Anstieg in Auftriebsgebieten geht durchaus nicht gleichförmig vor sich. Vielmehr gleiten die Isothermobathen und Isohalinen mit Amplituden von hundert und mehr Metern auf und ab, und die Bewegung ist immer dort am größten, wo verschiedene Wassermassen übereinander liegen. Ob diese Erscheinungen stets in einer zeitlichen Aufeinanderfolge, oder ob sie, wie manche Ozeanographen geneigt sind anzunehmen, gelegentlich auch auf einem örtlichen Nebeneinander beruhen können, muß in jedem einzelnen Fall sorgfältig untersucht werden. Jedenfalls liegen die Beobachtungsdifferenzen weit außerhalb jedes Beobachtungsfehlers und führen uns immer wieder vor Augen, wie eng auch auf dem Ozean die Stationen angelegt werden sollen. Sie zeigen uns aber auch, daß aus Beobachtungsdifferenzen zwischen verschiedenen Expeditionen nicht ohne weiteres auf fehlerhafte Ergebnisse da oder dort geschlossen werden darf.

Trotz der Kürze der für die Beobachtungen verfügbaren Zeit war es noch möglich, während mehrerer Tage über 50 brauchbare Strömungsmessungen bis 250 m Tiefe auszuführen. Ich habe eine neue, einfache Methode der Strommessung angewendet und erprobt. Sollte sie sich, wie ich aus äußeren und inneren Gründen bestimmt zu hoffen wage, auch weiterhin und in größeren Tiefen bewähren, so würde ich in der Einführung dieser Methode einen wesentlichen Gewinn aus meiner Fahrt ersehen. Denn sie würde uns in die Lage setzen, eine der wichtigsten Aufgaben der Meeresforschung, nämlich Strömungsmessungen, in der Tiefsee in größerem Umfange auszuführen, während bisher die Erfüllung dieser Forderung an dem Mangel einer rationellen Methode gescheitert ist. Die Strömungsmessungen sind während der Lotungen von Bord des Kabeldampfers „Stephan“ aus angestellt. Sollen gute Resultate erhalten werden, dann ist es nötig, daß bei der Ausführung ein ähnlicher Vorgang eingehalten wird wie bei den Lotungen des „Stephan“, den ich nunmehr skizzieren will. Das Schiff wurde sorgfältig in den Strom eingestellt, so daß es weder nach

Backbord noch nach Steuerbord schwaite. War dies erreicht, so wurde nur so viel Dampf gegeben, daß das Schiff noch ein wenig vom Strom zurückgetrieben wurde. Dann ging das Lot vom Bug aus zur Tiefe, so daß es etwas nach vorn ausstand. Auf den nunmehr leicht sichtbaren Treffpunkt des Lotdrahtes in die Wasserfläche wurde langsam zgedampft, bis der Draht senkrecht stand. Dies Resultat zu erzielen, ist allerdings nicht leicht, aber bei der glänzenden Navigierung an Bord des Kabeldampfers wurde es fast immer erreicht. Des weiteren war es nicht so schwierig, den Draht auch durch längere Zeit in der senkrechten Lage zu erhalten. So lange aber der Draht senkrecht steht, kann der Schiffsort als praktisch unverändert betrachtet werden. Denn sobald das Schiff von seiner Position abkäme, würde sich der Draht schräg stellen und schließlich reißen, da er sich mit seinen tieferen Partien und dem Lotgewicht in Wasserschichten befindet, die jedenfalls nur minimal bewegt sind. Es konnte demnach, sobald bei einer Lotung der Draht die senkrechte Lage erreicht hatte, mit Strommessungen begonnen werden. Und ich glaube, daß diese Methode mehr Sicherheit bietet als die Strommessung von einem einfach verankerten Schiff aus, dessen Schwaiven nur schwer, dessen Gieren gar nicht kontrolliert werden kann. Und doch haben die Versuche des niederländischen Instituts für Meeresforschung und unsere Arbeiten ergeben, daß an Bord einfach verankerter Feuerschiffe mit gutem Erfolg gearbeitet werden kann. Die wichtigsten Gründe für die Verlässlichkeit der angewandten Methode sehe ich aber in den Ergebnissen selbst. So gaben die in 15 m Tiefe ausgeführten Beobachtungen, die mit Rücksicht auf den eisernen Schiffskörper anstelle von Oberflächenbeobachtungen traten, Stromrichtungen und Geschwindigkeiten, die mit den Resultaten aus der sorgfältigen Besteckrechnung sehr wohl übereinstimmten. Ferner harmonisieren die Ergebnisse der Einzelmessungen miteinander und geben klare, verständliche Bilder. So zeigen alle zwischen 19—29° w. L. und 2½° N. bis 2° S. ausgeführten Messungen analoges Verhalten. Der Oberflächenstrom kommt ausnahmslos aus dem nordöstlichen Quadranten, wir befinden uns daher in einem einheitlichen Stromgebiet. Je weiter wir aber in die Tiefe dringen, um so mehr dreht der Strom nach rechts und nimmt an Stärke ab. Diese Erscheinungen zeigen sowohl die Mittelwerte der einzelnen Beobachtungstage als auch, in besonderer Reinheit, das Gesamtmittel aller Beobachtungen aus dem erwähnten Gebiet: der Oberflächenstrom kommt aus Ostnordost mit einer Geschwindigkeit von 50 cm in der Sekunde (1 Seemeile in der Stunde); in 50 m Tiefe kommt der Strom aus Ost und hat 30 cm sec. Geschwindigkeit, in 100 m Tiefe kommt er mit 20 cm in der Sekunde aus Südost und in 150 m mit gleicher Geschwindigkeit aus Südwest. Auch bei diesen Untersuchungen bestätigte sich wieder die Erfahrung, daß eine vereinzelt Serie nicht einer

weitergehenden Auswertung unterzogen werden kann, ohne daß man Gefahr läuft, zu irrigen Schlüssen zu gelangen. Denn meine Beobachtungen zeigen ebenso wie die bereits erwähnten Messungen von Helland-Hansen, daß die Strömungen in den verschiedenen Tiefen selbst wieder eine Drehbewegung besitzen, deren sichere Erklärung erst umfassendere Beobachtungsreihen ermöglichen werden.

Wenden wir nach diesem kurzen Bericht unseren Blick vorwärts auf diejenigen Aufgaben der Ozeanographie, die in nächster Zukunft der Lösung harren, so fühle ich die Pflicht, hier an dieser für den Fortschritt der Geographie so bedeutsamen Stelle die Überzeugung auszusprechen, daß die Meereskunde infolge der großen Errungenschaften besonders des letzten Jahrzehnts nunmehr ebenso wie einst vor fast 40 Jahren in ein Stadium getreten ist, das berechtigt, aber auch gebietet, an die Bearbeitung von Problemen heranzutreten, die von größter Tragweite für die gesamte Geophysik sind.

Der Boden der Tiefsee birgt in seiner Sedimentschichtung das Geheimnis von gewaltigen Krustenbewegungen, die er erlitten hat. Wir vermögen heute in langen Stanzröhren uns diese Zeugnisse heraufzuholen und auszuwerten für geologische Vorgänge, die Flächen von riesigen Dimensionen betroffen haben. Konnten wir bis vor kurzem nur die Wasserbewegung an der Oberfläche des Weltmeeres verfolgen, so stehen uns nunmehr Mittel zu Gebote, um in die großen Tiefen einzudringen und das Problem von den internen Wasserbewegungen in Angriff zu nehmen und Vorgänge direkt durch Messung nachzuweisen, die bisher nur indirekt erschlossen werden konnten. Der durch die neuesten Arbeiten erbrachte Beweis, daß durch feine Luftdruckmessungen und besonders durch Strom-, Temperatur- und Salzgehaltsbeobachtungen auch auf der Hochsee der Wechsel von Ebbe und Flut nachgewiesen werden kann, gewährt uns die Möglichkeit, durch systematische Untersuchungen den Fortschritt der Gezeitenwelle über die Ozeane festzustellen und so die Lösung eines der größten Probleme der Physik der Erde anzubahnen.

Wir müssen im Hinblick auf die Größe dieser Aufgaben, denen chemische und biologische Fragen von eminenter Bedeutung zur Seite stehen, die Überzeugung ausdrücken, daß eine großzügig angelegte Tiefsee-Expedition heute das dringendste Bedürfnis der Ozeanographie ist. Wie die englische Challenger-Expedition ihre unsterblichen Erfolge nicht nur dem glänzenden Stab ihrer Gelehrten, sondern auch dem Umstande verdankt, daß sie reif gewordene große Probleme im richtigen Zeitmoment erfaßte, so könnte auch jetzt wieder eine solche Expedition die reichsten Ergebnisse ernten. Und ich glaube, daß diesmal das deutsche Volk frisch zugreifen sollte, sich diese Erfolge zu sichern und eine neue Großtat seinen ozeanographischen Leistungen hinzufügen.

Studien am Kilauea (Hawaii).

Von Dr. Walther Penck.

Nach tagelanger, etwas eintöniger Seefahrt überrascht den Reisenden, der San Francisco verlassen hat, um den asiatischen Kontinent zu erreichen, der unvermutete Anblick von Land. Als leichte Schatten tauchen die Umrisse von Bergen aus dem Pazifik. Die Ostasien-Dampfer nähern sich den Hawaiischen Inseln, von denen Oahu mit seiner Hauptstadt Honolulu angelaufen wird.

Ebenso überraschend, wie die Eilande den Fluten entsteigen, versinken sie wieder am westlichen Horizont, und auf Tage hinaus stört nur das Rollen der Wogen die monotone, aber nicht leblose Umgebung. Der Durchreisende erhält so von den Inseln den Eindruck des Weltentlegenen, Isolierten. Und die Lage der Hawaiischen Inseln hat in der Tat etwas Erstaunliches, solange wir ihren geologischen Bau nicht kennen. Sind doch ringsum in nächster Umgebung Tiefen von 4000—5000 m gelotet worden! Um so fremdartiger muß es erscheinen, hier, inmitten des Ozeans, gebirgige Inseln aufsteigen zu sehen, deren Höhe im Mauna Loa (4168 m) fast die des Mt. Blanc erreicht. Die *A b g e s c h i e d e n h e i t* der Hawaiischen Inseln stellt ein eminentes Problem dar, besonders dann, wenn wir alle jene Erscheinungen berücksichtigen, die sich als Folge der Isolierung kennzeichnen. Im ganzen Naturreich treten sie uns entgegen: endemische Formen charakterisieren Fauna und Flora; eine bemerkenswerte Armut zeichnet die erstere aus.

Der Mensch hat hierin einen gewissen Wandel geschaffen, indem er Nutztiere und -pflanzen mit sich brachte. Und zwar waren es Polynesier, die auf ihren kühnen Fahrten die Korallenküsten Hawaiis zuerst betraten. Sie schufen in ihrer Weltferne eine hohe Kultur, deren Eigenart nicht weniger auffallend ist als die der Entwicklung alles organischen Lebens auf den Inseln.

Diese ganze Reihe von Fragen klärt uns die Kenntnis der Gesteinsbeschaffenheit: Magmamassen entquollen der Erdrinde, erstarrten, zu immer größerer Mächtigkeit gehäuft, auf dem Grunde des Pazifik — die Hawaiischen Inseln wuchsen dem Lichte entgegen.

Einige Vulkane sind längst erloschen. Atmosphärische Wasser furchten ihre Gehänge, Kratere, Kegel wurden zerstört, in die Basaltflanken Täler gegraben und so ein lebhaftes Gebirgsrelief geschaffen, wie es heute das Innere von Oahu auszeichnet. Je weiter zurück die Anhäufung der Basaltmassen liegt, desto tiefergreifend ist die Zerstörung; je jugendlicher das

Gebilde, desto intakter die ursprüngliche Form. So leitet uns eine geschlossene Reihe graduell unterschiedener Erosionsstadien zu jenen Vulkanen Hawaiis hin, die heute noch dem feurigflüssigen Magma den Austritt an die Erdoberfläche vermitteln.

Sie liegen auf dem südöstlichsten der Eilande. Als gewaltiger Schild wölbt sich der breite Rücken des Mauna Loa; in seine Flanke eingesenkt liegt der sagenumwobene Kilauea.

Seit langem hat die Eigenart vulkanischer Tätigkeit an beiden Aufmerksamkeit erweckt. Nicht nur Naturwissenschaftler und besonders Geologen haben ihre Beobachtungen niedergelegt, sondern der Kilauea ist bald als ein Naturschauspiel besonderer Art Anziehungspunkt für Reisende überhaupt geworden. Sie und auch ansässige Missionäre haben viel wertvolles Beobachtungsmaterial schriftlich überliefert, so daß uns von der Ausbruchtätigkeit des Kilauea ein recht vollständiges Bild vorliegt. In neuerer Zeit hat Brigham¹⁾ alle Berichte gesammelt und in einem großen Werke vereinigt.

Das Besondere vulkanischer Tätigkeit im Kilauea, seine Beziehungen zum Mauna Loa sind wiederholt erörtert worden. Der Kilauea entfaltet seine unterirdischen Kräfte, wie es scheint, ganz unabhängig von seinem gewaltigen Nachbarn, dessen Schild er doch durchbricht. Gesetzmäßigkeiten sind trotz allen Strebens nicht aufgefunden worden. Vor kurzem hat Daly²⁾ dies Problem wieder aufgegriffen und zu wahrscheinlicher Lösung gebracht. Seine „substratum-injektion-hypothese“ beansprucht allgemeinere Bedeutung und fußt auf der Frage der reihenweisen Anordnung der Vulkane, wie sie die Hawaiischen Inseln so ausgezeichnet besitzen.

Schon Dana³⁾ hat darauf hingewiesen, daß die Inseln einen leicht geschwungenen Bogen bilden, daß besonders die einzelnen Vulkane sich über zwei nur leicht divergierenden Spalten aufzubauen scheinen. Im Nordwesten, wo jene am weitesten abgetragen sind, ist nur ein Bogen vorhanden. Auf Oahu gabelt sich dieser, die Vulkanreihe verdoppelt sich, damit auch die Inselkette, bis auf Hawaii selbst die Vulkane des Innenbogens (Hualalai, Mauna Loa) mit denen der äußeren Reihe (Kohala, Mauna Kea, Kilauea) zu einer Insel wieder verschmelzen. Suess⁴⁾ sah in den Hawaiischen Inseln einen letzten Bogen der Ozeaniden.

¹⁾ W. Brigham, The volcanoes of Mouna Loa and Kilauea. Mem. of the Pauahi Bishop Mus. of Ethnol. and Nat. hist. Honolulu 1910.

²⁾ R. A. Daly, The Nature of volcanic action. Proc. of the Amer. Acad. of Arts and Sciences. Vol. XLVII, N 3, S. 48.

³⁾ J. Dana, On the volcanoes and volcanic phenomena of the Hawaiian Islands. Amer. Journ. of Science XXXIII—XXXVII, 1887—89.

⁴⁾ E. Suess, Antlitz der Erde III. 2. S. 365. Wien-Leipzig 1909.

Das Problem erfährt weiter noch eine besondere Gestaltung durch den Umstand, daß sich die vulkanische Tätigkeit entlang der ganzen Linie nicht zu gleicher Zeit entfaltete, sondern ihren Sitz offenbar von WNW nach OSO verlegt hat. Diese Tatsache wird kaum eingeschränkt durch das Vorhandensein sehr jugendlicher Kegelchen und Kratere (wie Punch-bowl, Diamondshead), die dem sonst weit abgetragenen Vulkangebirge Oahus aufgesetzt sind.

Die Theorie Dalys erklärt das oben erwähnte selbständige Verhalten des Kilauea gegenüber dem Mauna Loa durch eine von dessen Schlot seitlich abgezweigte Intrusion basaltischen Magmas, das, nahe unter die Erdoberfläche gebracht, durch Gasexplosion den Kilaueaschlot schuf¹⁾. Ist der Sekundärherd selbständig geworden, so kann auch die Tätigkeit im Kilauea keine besondere Abhängigkeit von der des Loa zeigen.

Diese Bildung eines Herdes gleichsam 2. Ordnung, wie sie auch H. Reck²⁾ für ein isländisches Beispiel annahm, ist der Ausgangspunkt für die Daly'sche Hypothese. Nach ihr dürfte alles Magma, andesitisches und basaltisches, aus einer abyssischen Region stammen, aus der es auf „abyssischen Spalten“ in jene Teile der Erdrinde eindrang³⁾ — sei es aufgepreßt durch sinkende Gebirgsschollen, sei es spontan infolge von Druckentlastung⁴⁾ —, die den äußersten granitischen und sedimentären Teil unseres Planeten zusammensetzen.

Durch diese Injektion kann das Magma in Gebiete geraten, in denen der Druck des Hangenden geringer ist als die Tension magmatischer Gase, so daß als Folge abyssischer Intrusion oberflächlicher Vulkanismus mit einer Explosion einsetzen kann.

Die Spalteninjektion in der Tiefe zieht notwendig eine reihenweise Anordnung der Schlöte nach sich, ohne daß die einzelnen Vulkane exakt auf einer Linie zu liegen brauchen, ohne daß sich eine verbindende Spalte⁵⁾ an der Erdoberfläche nachweisen ließe.

¹⁾ Vgl. l. c. Profil S. 112.

²⁾ H. Reck, Das vulkanische Horstgebirge Dyngjufjöll. Anhang Abh. Königl. Preuß. Akad. d. Wiss., Phys.-math. Kl. Berlin 1910. S. 82.

³⁾ Der chemische Gegensatz der Magmen gegen die Sedimente und granitisch zusammengesetzten Gesteine läßt erstere exotisch erscheinen; d. h. die Magmen können nicht durch Verflüssigung der Gesteine der äußersten Erdrinde erklärt werden. Sie müssen ursprünglich aus einer tieferen, abyssischen Region stammen.

⁴⁾ Druckänderung durch die Injektion, chemische Reaktion im Gefolge davon, Wärmeentwicklung u. s. f. kommen als weitere wichtige Faktoren in Betracht.

⁵⁾ Eine solche ist vorhanden, wenn die abyssische Spalte sich bis an die Erdoberfläche fortsetzt und Spalteneruptionen zur Auslösung gelangen.

Zu eng war die Konzeption, wenn bei Vulkanreihen nach solchen gesucht wurde!

Ist ein Kondukt verlegt, so finden die in der Magmakammer aufsteigenden Gase an anderer Stelle vielleicht einen leichteren Ausweg: ein Wandern der Zentren vulkanischer Tätigkeit resultiert an der Erdoberfläche. Daß dies auf den Hawaiischen Inseln in so auffällig bestimmter Richtung vor sich ging, legt den Gedanken nahe, daß das Aufreißen der Spalte in der Tiefe und die damit verbundene Injektion des Magmas in dieser einen Richtung weiterschreitet, bestimmt orientierte Spannungen in der Erdkruste auch in bestimmtem Sinne auslösend.

Eine Reihe kleiner Schiffe vermitteln den Verkehr zwischen den Inseln und bringen den Reisenden von Honolulu nach Hilo oder Kona auf Hawaii. Sind die Verhältnisse günstig, haben nicht schon morgens dicke Passatwolken die Berge umhüllt; so sieht man die Insel als einzigen gewölbten Schild in imposanter Breite aus den Fluten sich erheben. Nähern wir uns dem Lande von Norden, so ist's der Kea, der das Auge auf sich lenkt, auf seinem ungliederten Rücken zahlreiche Aschenkegel tragend, die ihn vielzackig erscheinen lassen. Noch gewaltiger ist der Anblick des Mauna Loa; er allein scheint die ganze Insel aufzubauen. Diese besteht jedoch aus den Aufschüttungen von vier Vulkanbergen, von denen Kea und Loa allerdings die größte Masse besitzen. Den ganzen Süden, über die Hälfte des Areals von Hawaii, decken die weitausholenden Flanken des Loa. Täler fehlen; unscheinbar sind die Wasserrinnen, die über die jungen Lavahänge abwärtsziehen. Kohala, Hualalai, seit längerer Zeit erloschene Vulkane der Nordwestseite von Hawaii, besitzen dagegen — besonders Kohala im Norden — schon die ersten Anfänge eines Erosionsreliefes.

Die Eigenart der Landschaft ist also bedingt durch das Hervortreten nicht zerstörter Formen, wie wir es bei tätigen oder noch nicht lange erloschenen Vulkanen kaum anders erwarten können. Die Senken zwischen den Bergen sind so, wie sie die vulkanische Aufschüttung geschaffen hat. Die Gehänge sind geschlossen, nicht zerfurcht; die hie und da in langen Reihen auftretenden Steilstufen sind nicht ausgeglichene Verwerfungen. So läuft einer großen Strecke der Südostküste parallel solch ein tektonischer Rand, eine Linie, auf die ich noch zu sprechen komme.

Anders die Küste selbst, die der Brandung des Pazifik ausgesetzt ist. Die Kerben, die diese nagt, werden nicht wieder, oder nur höchst selten, durch neue Lavamassen ausgefüllt. Mit einem Steilrand hebt sich die Insel aus dem Ozean. Wasserfälle stürzen in malerischen Klammern herab; kurze, schluchtartige Tälchen leiten eine Strecke weit die Basalthänge hinauf.

Die Nordostküste, die Luvseite der Insel, täglich bestrichen von Passatregen, zeigt diese spärlichen Anfänge eines Talsystems, das wegen seiner Jugendlichkeit, wegen der gleichmäßigen Neigungsverhältnisse des Hinterlandes in ausgezeichneter Weise die Züge konsequenter Entwässerung trägt. In den Schluchten, in der Wassernähe, siedelt sich tropische Vegetation in üppigster Fülle an und es entstehen durch das Zusammenwirken anorganischer Zerstörung und organischen Aufbaues Landschaftsbilder von bezaubernder Anmut.

Ganz anders die Leeseite: Trockenheit herrscht hier, kahl tritt der schwarze Boden hervor. Die Gegensätze von Luv und Lee, von Feucht und Trocken, sind so scharfe, daß die Kanaken ihr Land geradezu nach diesen Phänomenen orientieren. An der Passatseite liegen auch die Zuckerrohrplantagen, die den Hauptreichtum der Insel vorstellen. Blickt man auf der Fahrt nach Hilo über die Steilränder der Nordostküste hinan, so sieht man schier endlos die hellgrünen Flächen wogenden Zuckerrohrs die Schleppe der Vulkanriesen überkleiden. Durch die Plantagenzone windet sich auch die kleine Bahn von Hilo nach Glenwood, den Zugang zum Kilauea erleichternd. Ist der Küstenstrich mit den Pflanzungen, den unter eingeführten Tropengewächsen verschwindenden Niederlassungen mit den Resten gerodeten Urwalds überquert, so gelangen wir in höheren Regionen in üppigstes Dickicht. Verwilderte Bananen gedeihen unter den mächtigen Wedeln der für Hawaii so sehr charakteristischen Farrenbäume, über die vereinzelt oder in Gruppen breitausladende Kronen von Koa und Kukui ragen. Mit größerer Höhe nimmt der Bestand an Üppigkeit und Artenreichtum ab, zumal wir uns der Scheide von Luv und Lee nähern.

Bemerkenswert gleichmäßig ist das Gefälle auf der ganzen Strecke von der Küste bis zum Kilauea, und auch weiter bis zum Gipfel des Mauna Loa nimmt es nur wenig zu. Die Entfernung beträgt in der Luftlinie etwa 60 km; daraus ergibt sich für die Durchschnittsböschung dieses Vulkanschildes ein Wert von nur 4°.

Die Lage des Kilauea an der Vegetationsgrenze zwischen Luv- und Leeseite der Insel — so daß das Auge ungehinderte Aussicht hat —, ist auffallend. Sind wir bis zum Krater angestiegen, so gewahren wir, daß in gleicher Richtung nunmehr ein Absinken des Geländes stattfindet. Der Kilauea liegt, wie auch ein Blick auf eine Karte¹⁾ lehrt, auf der Höhe eines Rückens. Verfolgt man diesen in seiner Längserstreckung, so kommt man gegen Osten an das Kap Kumukahi, das Ende jenes Landzipfels, der Hawaii seine dreieckige Form gibt²⁾. Auf der anderen Seite leitet uns der Rücken

¹⁾ Daly (l. c. S. 111) gibt einen Ausschnitt der Government map.

²⁾ Der Nordzipfel der Insel wird gebildet durch den Vulkan Kohala, ist also nicht ein Sporn eines der großen Vulkane.

in gleichmäßiger Steigung hinan zum Mauna Loa. Die Erhebung ist nicht etwa das Ergebnis fortgesetzter vulkanischer Aufschüttung; im Gegenteil: abgesehen von dem Strom von 1840, der nahe der Küste entquoll, war die Landschwelle, die etwa die Provinz Puna umfaßt, ein Teiler für die Ströme des Loa. Durch ihn wurden die Lavaergüsse nach Süden oder N bis NO abgelenkt. Der Rücken, der Träger der „Pit craters of Puna“, deren größter und am höchsten gelegener der Kilauea ist, stellt eine Aufblähung der Flanken des Mauna Loa dar. Gegen die Küste ist diese begrenzt durch einen Bruchrand (vgl. S. 183), so daß keine gehobenen Strandlinien oder Korallenriffe das Alter der Hebung dokumentieren können. Daly¹⁾ führt diese Aufblähung auf die Intrusion aus dem Stammherd des Loa zurück, durch die jener selbständige Sekundärherd geschaffen²⁾ wurde, auf dessen Entgasung die Tätigkeit im Kilauea-Krater beruht — eine Auffassung, die einen hohen Grad von Wahrscheinlichkeit besitzt und im folgenden beibehalten werden soll.

Diese Magmakammer zweiter Ordnung kann nicht in allzu großer Tiefe angenommen werden, macht sich doch die Intrusivmasse an der Erdoberfläche als ausgesprochene Aufwölbung bemerkbar³⁾! Sie erklärt uns die Eigenart vulkanischer Tätigkeit im Kilauea und besonders seine rätselhaften Beziehungen zum Mauna Loa. Diese werden um so schwerer verständlich, als der Kilauea keine selbständige Erhebung ist, sondern, wie schon hervorgehoben wurde, in die aufgeblähte Flanke des Loa, in die Basaltlager dieses Vulkanes eingesenkt ist.

Im Krater des Mauna Loa, Mokuaweoweo, liegt ein Gebilde vor, ganz analog dem Kilauea. Er ist durch mehrfache Kraterbildung und Einstürze vielgliederig und daher noch größer als der Kilauea; aber seine Tätigkeit, Entstehen und Vergehen von Lavaseen, ruhiges Steigen und Fallen des Magmas, randliches Abbrechen der Kraterwände — alles Phänomene, die wir am Kilauea kennen lernen werden — bekunden die Gleichartigkeit von Bau und Erscheinung. Und doch ist die Lavasäule in Mokuaweoweo 3100 m höher als im Kilauea! Noch mehr widerspricht der Annahme eines Magmaherdes, aus dem beide Kratere nach Art kommunizierender Gefäße gespeist werden müßten, die schon betonte Unabhängigkeit ihrer Ausbrüche voneinander, wie sie die Geschichte lehrt. Wiederholt regte sich im Kilauea nichts, kein

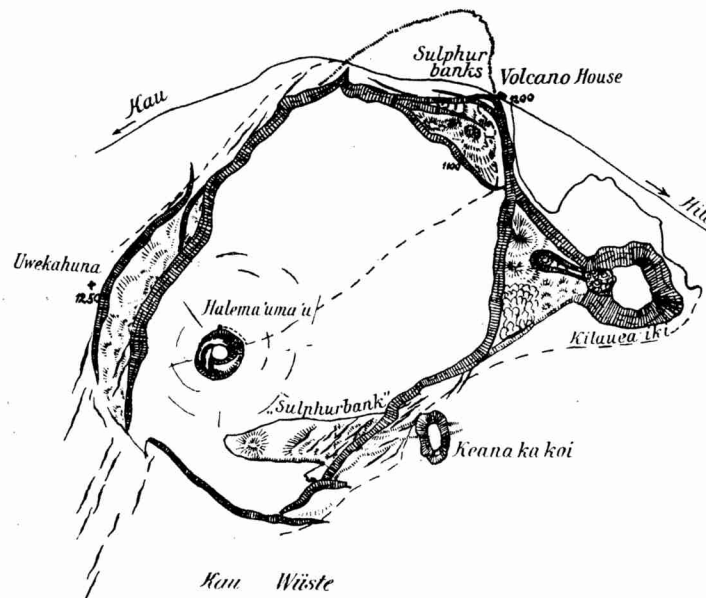
¹⁾ l. c. S. 112.

²⁾ Siehe S. 182.

³⁾ Siehe weitere Belege S. 200.

Feuerschein durchbrach das Dunkel, während mächtige Spaltenergüsse aus den Flanken des Loa durch ein bis 300 m hohes Aufschießen und in sich *Zusammensinken* weißglühenden Gesteinsflusses eingeleitet wurden. So erhellte 1859¹⁾ ein bis 100 m hoher Lavastrahl weithin die Nacht und 1877 hoben sich die breiten leuchtenden Fontänen bis über den Rand von Mokuaweoweo, während am Kilauea keine besondere Erregung bemerkt wurde. Beim Ausbruch im Jahre 1868 versiegte sogar alles Magma im Kilauea u. s. f.

Abbild. 8.



Kilauea nach H. E. Newton, 1908. Maßstab 1 : 72 000.

Kehren wir zum Kilauea zurück! An seinem Nordrand steht das Volcano house, von dem aus wir die ganze seichte Einsenkung des Kraters überschauen: nur etwa 100 m leiten die Steilhänge zur Tiefe und stoßen dort mit flach ausgebreiteten Laven zusammen. Kaum wahrnehmbar ist das sanfte Ansteigen des Bodens gegen Südwest, wo aufsteigende Dämpfe die Lage von Halemaumau verraten. Während zur Rechten, westlich, der breite Schild des Mauna Loa zu kolossaler, geschlossener Masse sich aufbaut, senkt sich das Gelände deutlich gegen

¹⁾ Bericht von Professor R. C. Haskell in Brigham l. c. Auch 1843 (Coan) war der Loa tätig, Lavafontainen auf dem Gipfel kündigten die Flankeneruption an, während der Kilauea ruhig blieb.

Südwest, so daß die südliche Umrandung des Kilauea kaum 30—40 m hoch über die Laven des Kraterbodens ansteigt. Und jenseits dieses Randes blicken wir, den Flanken des Loa entlang, abwärts über die unermeßlich scheinende, schiefe Ebene der Kauwüste, bis das Auge in dünnem, weißem Streifen die Begrenzung gegen den Ozean, die Brandung, erreicht. Wir stehen an der Kulmination des (S. 184) beschriebenen Spornes und sehen über seine Südabdachung hin.

Zur weiteren Orientierung diene das Kärtchen Abbild. 8, das die Verhältnisse aus dem Jahre 1908 wiedergibt.

Der Durchreisende wird meist noch nachts nach Halemaumau geführt. Der Weg benutzt im Abstieg die terrassenförmige Konfiguration des Kraterrandes unmittelbar unter dem Volcano house. Dann geht es über den harten Lavaboden dem Feuerscheine entgegen.

Das Bild, das sich entrollt, wenn wir aus den Schatten der Nacht in den Lichtkreis von Halemaumau treten, ist von unbeschreiblicher Großartigkeit. Wohl 80 m¹⁾ setzen dunkle Lavawände zur Tiefe und umschließen ein fast kreisrundes Loch, das unvermittelt in den Kraterboden²⁾ eingesenkt ist. Die Vorgänge dort unten ziehen alle Aufmerksamkeit in ihren Bann. In unregelmäßig umrissenem Becken, das nicht einmal den dritten Teil der Bodenfläche von Halemaumau umfaßt, bildet das Magma einen See. Er ist von schwarzer, bei Tageslicht stahlgrauer Schlacke überzogen, deren Plastizität sich in dem ständigen Ziehen und Verändern der Oberfläche verrät. Die rotglühende Flüssigkeit darunter ist in Bewegung; ihr sucht die Kruste zu folgen. Doch sie zerreißt. So durchziehen ständig sich ändernde, sich überkrustende, neu entstehende Sprünge das Dunkel der Gesteinshaut. Das Rot, das diesen Spalten entströmt, erhellt die Wände von Halemaumau und läßt deren Bau erkennen. Gebankt, an Schichtung erinnernd, sondern sich die erstarrten Ströme, die den Kilaueaboden zusammensetzen.

Nicht in glattem Abbruch senken sich die Wände zur Tiefe, sondern deutlich lassen sich Staffeln unterscheiden, deren gleichsinnig geneigte Oberfläche eine Schrägstellung dieser absinkenden Schollen verrät. Die Karte J. M. Lydgates (Juli 1909)³⁾ läßt die drei spiralig ansteigenden Terrassen deutlich erkennen.

Das Zerren und Ziehen in der Seeoberfläche hält ununterbrochen an; es ist ein deutliches Fließen, das freilich, wie sich später zeigte, keineswegs eine Richtung bevorzugt, sondern an anderen Tagen andere Wege

¹⁾ Im Juli 1909 von J. M. Lydgate bestimmt zu 235 Fuß.

²⁾ Hier folge ich meinen Beobachtungen vom Februar-März 1909.

³⁾ Siehe bei Daly l. c. S. 75.

einschlägt. Stets aber ist ein Zuströmen zu einem Punkte, dem Old faithful, vorhanden, wie es seit Jahren beobachtet worden ist. An dieser einen Stelle wölbt sich die Schlackenhaut etwas auf, ein Zerplatzen folgt, weißglühende Lavafetzen spritzen auf. Es ist ein mächtiges Aufwallen und Brodeln unter dumpfem Klatschen. Eine Fülle des Lichts entquillt dem See. Unter ständiger Bewegung, dem Sieden gleich, wandert die Eruption zum Ufer des Sees, unter den überhangenden Rändern aufs Neue heftig anbrandend. Dort dringt das Auge in weißglühende Höhlungen, in denen es heftig wallt, in denen von den Decken eben gebildete Lavastalaktiten der zurückweichenden Magma- und Lava-Ente entgegenwachsen. Ähnliche Vorgänge müssen auch in vielen Lavahöhlen des Kilauea-Bodens stattgefunden haben, denn solche Stalaktiten können häufig beobachtet werden und sind wiederholt beschrieben worden. Brigham¹⁾ führt sie auf wässrigen Ursprung zurück. Auch W. Libbey²⁾ neigt zu dieser Ansicht.

Das Bild der Gasexplosionen ist wechselnd. Dort, wo unter dem Rande die Strömung herzukommen scheint, beginnt die Eruption mitunter schon als ein schwaches Brodeln, das sich bis zum Old faithful hinzieht. Der ist aber, wie schon der Name andeutet, durch Jahre hindurch konstant geblieben. Und während hier das flüssige Gestein in heftigstem Aufruhr bis 15 m hoch aufsprudelt (niemals mehr!), verharrt die übrige Seeoberfläche völlig ruhig; nur das langsame Fließen ist wahrnehmbar.

Die Erscheinung, die durch Spannung und Aufwölbung der Schlacken- und Lava-Ente vorbereitet wird, erinnert an das Aufsteigen und Zerplatzen großer Gasblasen, eine Deutung, die Dana zum erstenmal gegeben hat. Daly³⁾ erklärt die Konstanz von Old faithful und das Phänomen selbst etwas anders. Old faithful liegt nach ihm gerade über dem engen, schachtförmigen Schlot, der zum Magma- und Lava-Ente führt. Halemaumau wird also zu einem flachen See- und Lava-Ente mit nur schmaler Kommunikation nach unten. Dem wird man insofern zustimmen können, als der Schlot von Halemaumau in der Tiefe vielleicht wirklich nicht den Umfang hat, wie ihn die Ränder besitzen, sondern ein Konvergieren der Wandungen wohl stattfinden dürfte. Es mag auch erstarrtes Magma als Verenger eine Rolle spielen.

¹⁾ W. Brigham (l. c.) führt an, daß diese Stalaktiten oft mit wässrigen Absätzen überzogen seien. Das ist dort, wo die Laven von Wasser durchsunken sind, ohne weiteres verständlich; der Kern der Gebilde besteht aber auch dann aus blasigem, oberflächlich glasiertem Basalt.

²⁾ W. Libbey, Harpers New monthly Magaz. N. 569. 1897. S. 719. Hier eine ausgezeichnete Abbildung.

³⁾ l. c. S. 83.

Die absinkenden Terrassen in Halemaumau aber scheinen mir darauf hinzudeuten, daß die Verengung nach unten eine allmähliche ist. Die Konstanz von Old faithful findet auch dann ihre Erklärung, da Gase in der Vertikalen aufsteigen und die Seeoberfläche an der Stelle erreichen, die über der in der Tiefe zu suchenden Verengung liegt ¹⁾).

Entgasung ist indes, worauf Daly mit allem Nachdruck hinwies, nicht der einzig wirksame Faktor. Der Vorgang ist vielmehr kompliziert: durch die Berührung mit Luft tritt im Magmasee starke Wärmeabgabe ein, viel stärker, als dies gegenüber den Schlotwandungen der Fall ist. Spezifisch schwere Magmapartien sinken unter und lassen Konvektionsströmungen entstehen. Nun ist das Magma der Tiefe von Gasen gesättigt, und zwar um so mehr, je geringer der Druck wird. Schließlich werden Ausscheidungen in Form von Blasen schon in gewisser Tiefe zu erwarten sein. Magmapartien, die reichlich von Blasen durchsetzt sind, sind spezifisch leichter als andere, in denen die Gasmenge von vornherein geringer ist. Eine zweite Art von Konvektion summiert sich mit der allein auf Temperaturunterschied beruhenden und schafft gasreiche Magmapartien an die Seeoberfläche. Unter der Schlackenhaut sammeln sich die Gase, bis ihre Tension die Kohäsion der Kruste überwinden kann, und — da letztere einen bestimmten Wert hat — sie periodisch unter explosiven Erscheinungen befreit werden. In der Tat spricht die ausgeprägte Periodizität von Old faithful — ich zählte zu wiederholten Malen 16 Eruptionen in 10 Minuten —, die Plötzlichkeit der Entgasung gegen ein einfaches Aufsteigen und Zerplatzen großer Blasen.

Die Gase, die wir entweichen sehen, bestehen zum größten Teil aus SO_2 . Es läßt sich dies ohne weiteres feststellen, wenn man an die Leeseite von Halemaumau geht. Die Lava ist dort gebleicht und morsch, so daß der Fuß in die gelockerten Massen stets einbricht; ein mühsames Wandern, ähnlich dem auf verharschtem Schnee. Der Passat treibt die Exhalationen hierher, der stickige Geruch von SO_2 raubt den Atem und verbietet längeres Verweilen. Noch eine Beobachtung ist hier von Interesse. In der Tiefe von Halemaumau fand sich 1909 unter dem überkrusteten Seeufer eine Eruptionsstelle ähnlich Old faithful. Es war von ihr wenig zu sehen; mitunter nur spritzte bei dem stoßweisen Pfauchen flüssige Lava unter der Uferdecke hervor. Aber Schwefeldioxyd hatte sich durch die Decke ein Loch gebohrt, durch das es pfeifend und rasselnd entwich, mit blauer

¹⁾ „Lavafontänen“, d. h. diese Art explosiver Entgasung wurde 1907 auch an Stauseen von Lavaströmen des M. Loa beobachtet.

Stichflamme brennend. Solche Blaslöcher sind übrigens mehrfach beobachtet worden¹⁾; die Entstehungsbedingungen sind ja so geartet, daß eine Wiederholung möglich ist.

Vielfach erörtert wurde die Frage, ob sich Wasserdampf unter den Exhalationen des Kilauea, speziell von Halemaumau, vorfinde. W. L. Green glaubte, die Anwesenheit von Wasser leugnen zu können. Was an Beobachtungen vorliegt, scheint diese Annahme zu bestätigen²⁾. Sollten weitere systematische Untersuchungen ergeben, daß Wasser doch an der Entgasung von Halemaumau beteiligt sei, wenn auch in bescheidenem Maße, so wäre noch einzuwenden, daß wir uns am Kilauea in 1000 m Meereshöhe befinden, im Bereich täglicher Passatregen, wo also die Bergfeuchtigkeit in den ziemlich durchlässigen Basalten in große Tiefe zu dringen vermag. Der Einfluß des Passats ist in der Tat ein erstaunlicher. An klaren, kalten Morgen war über Halemaumau nichts zu sehen. Trieben gegen Mittag Passatwolken heran, begannen die unvermeidlichen Regen, dann entquollen dem Kondukt dicke Dampfballen. Aber auch zahlreiche Spalten, besonders die Halemaumau konzentrisch umziehenden³⁾, qualmten außerordentlich stark, so daß dann die Zerrissenheit des Kraterbodens vorzüglich überblickt werden konnte. Die den Spalten des Kilauea-Randes entsteigenden Dampfvolken, wie sie, unter dichter Vegetation versteckt, gleich westlich vom Volcano house das Gelände durchziehen (besonders an der „sulphure bank“), müssen außer der Betrachtung bleiben; sie setzen nicht in große Tiefe nieder.

Scheint also am Kilauea juveniles Wasser auch zu fehlen⁴⁾, so dürfen daraus doch nicht Schlüsse allgemeinerer Bedeutung oder Analogien abgeleitet werden.

¹⁾ Zum Beispiel im Jahre 1824, 1865 u. s. f.

²⁾ A. Brun (Recherches sur l'exhalaison volcanique. Genf 1911) findet an Gasen im Basalt: HCl, SO₂, CO₂, CO, H₂, N₂, Cl₂, CH₄. Brun konnte feststellen, daß der Passat wasserreicher (auch an regenlosen Tagen) war als die Exhalationen von Halemaumau. Unter diesen fand er 1910 (S. 248) besonders reichlich Sublimationsprodukte hygroskopischer Salze. Deren Existenz wäre allerdings durch Gegenwart von H₂O in Frage gestellt.

³⁾ A. Brun (l. c. S. 249) fand an ihnen nach 20 stündigem Ausbleiben des Regens eine Abnahme der Feuchtigkeit um 22%!

⁴⁾ R. T. Chamberlin (The Gases in Rocks, Public. N 106. Carnegie Inst. Washington 1908) macht wahrscheinlich, daß in basaltischen Magmen bei sehr hohen Temperaturen H und O als Wasser vorhanden sind. Die Dissoziation tritt mit der Abkühlung ein nach der Gleichung: $3 \text{ Fe O} + \text{H}_2 \text{ O} = \text{Fe}_3 \text{ O}_4 + \text{H}_2$. Das von A. Brun gefundene H₂ deutet darauf hin, daß am Kilauea diese Gleichgewichtsverschiebung durch Abkühlung im Schlot zugunsten des Magnetits eingetreten ist.

Der Tag enthüllt dem Reisenden, der Halemaumau in der Dunkelheit besucht hat, eine Fülle interessanter Kleinformen in der Tiefe des Kilauea-Kraters. In weitem Umkreis umspannen die abrupt aufsteigenden, wenn auch niederen Kraterwände ein Gelände von eigenartigstem Aussehen. Über den regelmäßigen Lagen der Westumrandung — man meint geschichtete Gesteine zu erblicken — erhebt sich der im Frühjahr schneegekrönte Dom des Mauna Loa, der mit seinen von Lavaströmen wie von einem Netz von Adern überspannten Flanken das ganze Gesichtsfeld beherrscht.

Vielfach beschrieben und abgebildet sind die *Felder von Fladenlava*, die in mannigfaltigster Gestaltung den Kilaueaboden bedecken. (Vgl. Abb. 6). So charakteristisch ist die Formation, daß die Bezeichnung der Eingeborenen in die Literatur Aufnahme gefunden hat: *Pahoehoe*. Wülste, gedrehte Strähne, gekröseartige Bildungen, einem Faltenwurf ähnliche Partien wechseln in bunter Folge. Die Anordnung der Strähne läßt die Bewegungsrichtung erkennen, da der Zusammenschub der Falten in der Mitte einer Lavazunge am stärksten ist, an den Rändern am raschesten aufhört. Hier werden die Falten in der Fließrichtung gestreckt, in der Mitte stellen sie sich senkrecht zur Bewegung. Systeme im Halbkreis gebogener (nach außen konvexer) Strähne kehren bei weitem am häufigsten wieder. Die Oberfläche ist glatt, glänzend schwarz, darunter häufig bimsteinartig entwickelt. Die in Falten gelegte Bimsteinhaut ist vielfach gänzlich abgehoben von den kompakteren Massen darunter, so daß der Fuß bei jedem Schritt knirschend oft bis $\frac{1}{2}$ m tief einbricht: eine Folge der Kontraktion bei der Abkühlung, der sich die ungemein poröse, schon starre Oberflächenschicht nicht vollkommen anzupassen vermochte. Durchaus feste, blasenarme und daher kompakte Fladen wechseln mit den lockeren, und zwar treten beide Typen partienweise auf, so daß die Vermutung nahe liegt, sie verschiedenen Strömen zuzuordnen¹⁾. Bimstein-Pahoehoe findet sich in vollkommenster Ausbildung im Norden und Nordosten des Kilauea. Hier bildet sie eine in sich geschlossene Strommasse, die auf dichter Pahoehoe aufruht. Offenbar ist der strukturelle Gegensatz auf die verschieden rasche Entgasung, vielleicht auf ursprüngliche Unterschiede im Gasgehalt zurückzuführen. Auch der Gesamthabitus deutet auf eine größere Leichtflüssigkeit der festen Pahoehoe: an ihr sind die Falten viel feiner ausgebildet als an der dicksträhnigen Bimsteinmasse.

Unabhängig von der Fließrichtung ist an vielen Stellen, besonders des nördlichen Kraterbeckens, eine *Oberflächenstruktur* ent-

¹⁾ Von Uwekahuna aus gewahrt man eine scharfe Trennung der schwarzen, Halemaumau zuletzt entquollenen Ströme von mehr grauen Lavapartien, die das ganze nördliche Becken erfüllen und als ältere Bildungen von den schwarzen Laven überlagert werden.

wickelt, die durch ihre flaserige, überaus zarte Beschaffenheit an jene feinste Windkräuselung erinnert, die die Wogen des Ozeans gleichsam überspinnt. Die Richtung, in der eine Streckung dieser superponierten Struktur stattgefunden hat, ist überall dieselbe und stimmt mit der herrschenden Windrichtung überein. Das Endergebnis dieses „Spinnens“, das selbstverständlich unabhängig von der Bewegung der Pahoehoe stattfindet, ist Peles Haar, weithin verwehte Fäden basaltischen Glases. In größerer Menge hat es sich südlich vom Kilauea in der Kau-Wüste in Regentrillen angesammelt¹⁾.

Zu den mannigfaltigen Kontraktionsformen gehören auch die allenthalben klaffenden Spalten von oft bedeutenden Dimensionen. An ihnen dringen wenig nördlich Halemaumau Schwefeldämpfe auf und im nördlichen Teil des Beckens sind sie durch weiße Salzausblühungen weithin sichtbar gemacht. Diese Risse haben natürlich sehr verschiedenes Alter, so daß wir an mehreren Stellen jüngere Ströme in Spalten oder aufgedeckte Höhlen des älteren Untergrundes eindringen sehen.

Im Nordwesten lenken kleine domförmige Auftreibungen des Kraterbodens die Aufmerksamkeit auf sich. Ihr Rücken wird ausnahmslos von zackigen Rissen zerspalten, so daß die Vermutung entsteht, es handle sich um aufgeplatzte Blasen. Steigt man aber in das Innere der bis gegen 8 m Höhe erreichenden Aufwölbung, so überrascht die Tatsache, daß die klaffenden Spalten von festen Lavawänden²⁾ begrenzt werden. Verschiedenfarbig treten als Schichten die Basaltlagen hervor, jede in ihrer überdeckten Oberfläche blasenreicher als in ihrem Innern. Die Hügel sind keine Blasen, sondern wohl Staunungsphänomene.

Wenden wir uns von hier gegen Süden, so überqueren wir auf dem Weg zum Halemaumau das Gebiet des 1874 gebildeten Kilauea lake. Seine Umrisse sind noch deutlich zu sehen: ein ovales Becken, mit flach ausgebreiteter Pahoehoe und schollenartig erstarrtem Basalt erfüllt, wird umsäumt von niederen Wänden, die mauergleich aus zusammengepackten Basaltschollen bestehen. Von Süden her ist in die seichte Einsenkung ein Strom eingedrungen, zwischen dessen Lavasträhnen Reste des ehemaligen Seeufers hervortreten.

Die Nähe von Halemaumau verrät sich durch die seinem Rande

¹⁾ Peles Haar ist nun auch von anderen Punkten der Erde bekannt geworden. The volcano of Oshima. S. Namakura, T. Terada, D. Isitani in Tokyo Sugaku-Buturigakkwai Kizi. Ser. II, vol. IV N 15, 1908, S. 293.

²⁾ Das Aufwölben und Aufreißen muß geschehen sein, als die Masse noch sehr heiß war, denn an den Bruchrändern der Spalten finden sich erstarrte Tropfen ausgepreßten Magmas.

parallel laufenden Spaltenzüge, deren konzentrische Anordnung innige Beziehungen zu ihm verrät; sie sind keine Kontraktionsrisse, sondern scheinen vulkan-tektonischer Natur zu sein und erinnern an die den Kilauea-rand begleitenden Spaltensysteme.

Im Westen wird Halemaumau umwallt von einem Haufwerk flacher Basaltschollen, die untereinander durch Pahoehoesträhne verkittet sind. Auch größere Strommassen sind hier durchgebrochen und gegen die nahen Kraterwände zu geflossen. Die Neigung des Untergrundes ist verhältnismäßig groß, da die Kulmination des aufgewölbten Kilauea-Bodens nach der Südwestecke des Beckens gerückt ist. Vielleicht ist das eigenartige Aussehen der erwähnten kleinen Ströme auf dies größere Gefälle zurückzuführen. Sie haben nämlich eine Ausbildung, die bei großen Loaeruptionen wiederholt beobachtet wurde: unter rasch sich bildender Kruste schießt die Lava mit unverminderter Geschwindigkeit dahin (am Mauna Loa bis 40 km in der Stunde; z. B. 1855), da sie unter deren Schutz dünnflüssig bleibt. Die Schlackendecke ist schließlich als Tunnel erhalten oder noch häufiger eingebrochen. Das Gebilde gleicht dann mit seinen aufrechten Seiten und der eingesunkenen Mitte einem ausgeronnenen Sack.

Die zuletzt angeführten Erscheinungen datieren aus den neunziger Jahren¹⁾ (1893), als das Magma aus Halemaumau überfloß. Libbey beobachtete, wie die Schlacken auf dem Lavasee durch ständige Strömungen²⁾ nach den Ufern getrieben wurden und dort strandeten. Der Wall überhöhte allmählich seine Umgebung, das Lavaniveau im „pit“ stieg gleichfalls, so daß ein Überfließen und Durchsickern durch den Uferwall stattfinden konnte.

Die derart entstandenen Ströme sind merkwürdigerweise zum Teil als Blocklava (Aa) erstarrt. Vielleicht hat das raschere Fließen auf dem stärker geneigten Untergrund die notwendige, schnellere Abkühlung herbeigeführt. Die Schnelligkeit der Erkaltung allein gibt aber nicht den Ausschlag — kennen wir doch auf Hawaii Pahoehoe-Kaskaden von 200 m Höhe (z. B. Mauna Loa 1855) —, sondern ihr Verhältnis zur Bewegungsgeschwindigkeit ist maßgebend, ob Pahoehoe oder Aa entsteht. Dana glaubt, daß Fließen über feuchten Untergrund Blocklava entstehen lasse; A. Heim läßt rasche Entgasung wirksam sein. Zweifellos spielt die dem Strom eigentümliche

¹⁾ Auch 1842 (Coan) und 1865 (Brigham) war Halemaumau bis zum Rande gefüllt. Daly fand im Januar 1910 denselben Stand; im Februar war das Magma wieder verschwunden!

²⁾ Nach Libbey sollen die Strömungen durch die vor den Gasexplosionen des Old faithful stattfindende Aufwölbung der Oberflächenkruste hervorgerufen worden sein.

Wärmemenge eine bedeutende Rolle, da bei sonst gleichen Bewegungsbedingungen¹⁾ überhitztes Magma sich anders verhalten wird, als solches, dessen Temperatur bei der Eruption schon nahe dem Kristallisationspunkte liegt.

Blocklava fehlt sonst im Kilauea vollständig. Anders ist es freilich mit den großen Strömen des Mauna Loa; Brigham hat auf die Bedeutung dieser Strukturform für die Physiognomie der ganzen Insel hingewiesen, denn leicht verwitternde Blocklava gibt der Vegetation im Gegensatz zu Pahoehoe rasch günstige Existenzbedingungen.

Wenden wir uns nun den Wandungen des Kilauea-Kraters zu. Sie heben sich fast ringsum vertikal aus dem asphalt-schwarzen Boden heraus. Nur im Süden sind sie durch nur noch 30—40 m hohe, steile Böschungen ersetzt. Die Zusammensetzung ist sehr gleichförmig: in großer Regelmäßigkeit sind Basaltlagen aufgeschichtet, die ihrer Herkunft nach dem Mauna Loa angehören. Daly²⁾ hat zwischen ihnen einen größeren Intrusivkörper entdeckt, dessen Vorhandensein eine gewichtige Stütze für die Annahme abgibt, der Herd des Kilauea sei eine vom Loaschlot abgezweigte Intrusivmasse.

Gekrönt werden die Kraterwände von einer Lage grünlicher Tuffe. Die Verteilung dieser Massen ist folgende: im Norden fehlen sie ganz, in der Nähe des Kilauea iki stellen sie sich als dünne Schicht ein, im Süden bilden sie Bänke von 5 m und mehr Mächtigkeit. Wir erkennen hier das Wirken des Passats. Als Hangendes der Tuffe treffen wir grobe Schotter, die durch ihre Schichtung auf Wassertransport weisen. Vereinzelt sind ihnen große Auswürflinge festen, blasenleeren Basalts eingestreut. Auch diese Schicht nimmt an Mächtigkeit gegen Süden zu, entsprechend den Neigungsverhältnissen des Untergrundes. In der Kauwüste, einem öden, sterilen Landstrich südlich vom Kilauea, sind in Regentallen vorzügliche Profile aufgeschlossen. Die Unfruchtbarkeit hängt hier nicht allein mit Regenarmut zusammen (Leeseite des Passates!), sondern infolge der Mächtigkeit der genannten Tuffe liegt der Grundwasserspiegel für jegliche Vegetation zu tief. Krustenbildung und Flugsand sind in der Kau weit verbreitete Erscheinungen.

Die Tuffe müssen auf die einzige bekannte Explosion des Kilauea zurückgehen. Diese war im Jahre 1789. Ob das grobe Material über ihnen einer späteren Phase dieser Explosion entspricht, bleibe dahingestellt. Jedenfalls sind sie nirgends von Laven überdeckt³⁾. Der

¹⁾ Stromgeschwindigkeit ist natürlich immer proportional dem Gefälle.

²⁾ l. c. S. 116; die grobkristalline Masse liegt unter Uwekahuna.

³⁾ Die Laven etwas südwestlich vom Kilauea gehören einer kleinen Spalten-

Kilauea ist also sicher noch niemals übergeflossen. Das ist ein Charakteristikum aller „pit craters“ der Landschaft Puna. Vorzüglich ist diese Namengebung, denn sie enthält das wichtige morphologische Moment, das Maarartige, das alle diese Kratere, wie wir sehen, auch den Kilauea auszeichnet.

Wenn wir nun aus der Geschichte des Kilauea entnehmen, daß sich in ihm alle vulkanische Tätigkeit in Form ruhigen Oszillierens abspielte, daß explosive Vorgänge niemals seit 1789 eintraten, daß auch nach zeitweiligem Erlöschen das Wiedererwachen der schlummernden Kräfte durch keinerlei Paroxysmen gewaltsamer Natur eingeleitet wurde, drängt sich uns der Gedanke auf, daß der Kilauea als größter der pit craters damals im Jahre 1789 entstanden ist. Diese Katastrophe als Maarexplosion des Kilauea aufzufassen, hat schwerwiegende Gründe für sich¹⁾.

Daß der Kilauea 1789 nicht in seinem heutigen Umfange geschaffen wurde, lehrt der Zustand seiner Umrandung.

Schon oben ist der Konfiguration gedacht worden, die den Abstieg vom Volcano house ermöglicht. In drei Absätzen hebt sich die Kraterwand aus dem flachen, unter scharfem Winkel anstoßenden Kraterboden. Diese drei Terrassen sind alle gegen Südost geneigt, so daß sich der Weg auf den schiefen Ebenen bequem zur Tiefe winden kann. Breite Spalten klaffen zwischen den dicht überwachsenen Staffeln: das Ausgehende der Verwerfungen, an denen die Schollen des Kraterrandes abgesunken sind. Es scheinen diese Brüche sich auch zu gabeln, so daß schmale Partien zwischen den Terrassen besonders tief einbrechen konnten. Eine schluchtartige, fast unzugängliche Depression westlich vom Weg dürfte als schmaler Graben zu deuten sein; sein Boden liegt tiefer als der des Kilauea. Die oberste Staffel erreicht durch das Ansteigen gegen Westen die Höhe des Kraterrandes, und die Verwerfungsspalte, die sie absondert, läßt sich noch ein Stück weit verfolgen. Sie vereinigt sich mit jenem ausgesprochenen Spaltensystem, das den ganzen Nordrand des Kilauea umsäumt. In diesen klaffenden Sprüngen lernen wir ein zweites Phänomen kennen, das den Umfang des Kraters größer werden läßt. Wir beobachten es rund um das weite Becken, und zwar bleibt der Parallelismus von Spalten und Kraterrand stets gewahrt. Jene machen sogar seine Umbiegungen mit, so daß wir im Südwesten,

eruption an, wie solche weiter südlich in der Kau in Form von Reihen kleiner Kegel wiederkehren.

¹⁾ Kanaken berichten, daß in der Nähe des Kilauea, wohl an seiner Stelle, vor 1789 ein kleines Kraterchen lag, auf dessen Rand ein der Pele heiliger Tempel stand.

aber auch an anderen Stellen, die eigenartige Erscheinung gekrümmter Spaltenzüge wahrnehmen können. An vielen Orten, so besonders im Westen entlang der ganzen „Uwekahuna“ genannten höchsten Erhebung des Kraterrandes, laufen Spalten des hier Nordost bis Südwest streichenden Systems in ihn aus und sondern von ihm mauerartige Felskulissen. Sie stürzen zur Tiefe und ihre Schuttkegel werden im Laufe nachfolgender Eruptionen resorbiert oder doch zugedeckt. Wir vermissen sie fast allenthalben am Fuß der noch vertikalen, aber ständig zurückweichenden Kraterwände. Es liegt hier die ausgesprochene Tendenz vor, die übersteilen Kraterabstürze durch Böschungen zu ersetzen. Im Südosten ist dies erreicht und wir vermissen dort darum diese Art von Spaltenzügen, die eine Beziehung zum Kraterrand erkennen lassen.

Gerade an der Südumsäumung des Kilauea komplizieren sich die Erscheinungen, da sich hier die Ausläufer eines großen von Nordost nach Südwest streichenden Verwerfungssystems bemerkbar machen, das bei dem Erdbeben des Jahres 1868 durch lange Spaltenzüge erweitert wurde. Diese klaffenden Risse sind unabhängig von den Vorgängen im Kilauea entstanden, und wir sehen deshalb auch, daß sie sich seiner Umrandung nicht anschmiegen, sondern diese zerschneiden. Der lehrreichste Punkt in dieser Hinsicht ist wiederum die Südwestecke des Kraters, an der wir erstens das Einlenken und Anschmiegen jener Spalten sehen, die zum Losbrechen von Trümmern des Kraterrandes führen, und daneben das zweite, quer zum Kraterand verlaufende System beobachten können. Als Klüfte enden diese Spalten in den Steilhängen. Weithin lassen sie sich nach Süden verfolgen und verlieren sich in der Kau-Wüste. Reihen von Schlackenkegelchen¹⁾ sind ihnen aufgesetzt. Augenfällig tritt der Parallelismus hervor zwischen ihnen und den scharf ausgeprägten Bruchrändern, die, dem Gehänge des Mauna Loa entlangstreichend, die Kau-Wüste als seichten Graben einschließen. Der Boden dieses Grabens ist gegen Südwesten abgedacht (S. 186); in diesem Sinne verlaufen auch kurze, sanderfüllte Wasserrisse, die am Kilauea-Südrand ihren Ursprung nehmen. Ähnliche, doch ganz unbedeutende Spuren von Rinnsalen ziehen auch über die Kraterböschungen gegen Norden. Sie enden in flachen, abflußlosen Becken, die sich staffelförmig wiederholen, bis wir im Abstieg die asphalttschwarze Pahoehe erreichen. Auch hier im Süden finden sich also die als erstes Randphänomen beschriebenen Terrassen, wie wir sie am

¹⁾ Wenig südwestlich vom Kilauea ragen in schütterem Wald auf einer dieser Spalten flache Lavakegel auf, die Ausbruchspunkte für die weit ausgebreitete Pahoehe in der Nähe.

Volcano house kennen gelernt haben. Da diese absitzenden Staffeln ihre ursprüngliche Neigung gegen Südwest bewahrt¹⁾ haben und voneinander durch mehr oder weniger steile Böschungen getrennt sind, konnten am Fuße jeder höheren Stufe beckenartige Depressionen entstehen.

Auf der Karte fällt eine als „sulphur bank“ bezeichnete Gesteinszunge auf, die in der südlichen Hälfte des Kraters in ihn hineinragt. Eine Untersuchung zeigt das Unzutreffende der Benennung, denn von Schwefel-exhalationen oder deren Resten ist in der Tat nirgends eine Spur zu finden. Tuffe und darüber grobgeschichtete Massen setzen sie zusammen²⁾. Ein Vergleich mit den Profilen in der Kau-Wüste läßt die Sulphur bank sogleich als eine abgesunkene Scholle, als ein eintauchendes Stück des Kraterrandes erkennen, wenn auch die liegenden Basalte nicht mehr aufgeschlossen sind. Das „Eintauchen“ kann nirgends im Kilauea so vorzüglich beobachtet werden wie hier. Im Osten, wo sich die Scholle an den Kraterrand anlehnt, sind ihre fast senkrechten Abbrüche wohl 10—15 m hoch; sie werden nach Westen zu immer niedriger, die Sulphurbank verschwindet, auf sie schieben sich schwarze Lavamassen mit wulstigem Stirnrand.

Es kann keinem Zweifel unterliegen, daß die Sulphurbank ehemals auch eine „Staffel“ war und von dem einstigen Kraterrand, den wir hier zu suchen haben, in derselben Weise absank, wie dies in der Nähe des Keanakakoi³⁾ oder an der Südeinfassung des Kilauea heute zu beobachten ist. Das Zurückweichen der Kraterwände tritt eklatant in die Erscheinung. Die Sulphurbank zeigt aber ein merkwürdig stationäres Verhalten, während der Kilauea-Rand schon 500 m weiter nach Süden gewandert ist. Südlich von ihr sind die Laven in eine durch Einbruch entstandene Bucht gedrungen; sie selbst ist als Halbinsel bestehen geblieben⁴⁾.

Wenn wir nun auch noch am Westrand, wo wir das Abbröckeln der Kraterwände, die Spaltenzüge schon kennen gelernt haben, sehen, daß die Umwallung treppenförmig ansteigt, daß sie sich als System von Terrassen⁵⁾ mit wenig über 15—20 m Sprunghöhe heraushebt, so werden wir dem Phänomen allgemeine Verbreitung zuschreiben und das Absinken der Kraterwände des Ki-

¹⁾ Die Schollen gehörten der Kau-Abdachung an, die den Kilauea im Süden begrenzt.

²⁾ An der Sulphurbank finden sich die besten Tuffprofile.

³⁾ Ostrand des Kilauea.

⁴⁾ In der Tat ist die Sulphurbank die einzige abgesunkene Scholle, die wiederholt beobachtet wurde, die also stabiler zu sein scheint als alle anderen absitzenden Terrassen. Brigham erwähnt sie schon um 1860.

⁵⁾ Auffällig ist bei den Terrassen ihre gleichsinnige Neigung.

lauea auf eine gemeinsame Ursache zurückführen müssen.

Die Maar-Explosion schafft einen Schlot, der rundum von vertikalen Wänden umgeben ist. Der Schlot füllt sich mit Magma, einer Flüssigkeit, der gegenüber die Schlotwände sich ähnlich verhalten, wie die Kraterwände gegen Luft. Letztere sind übersteil und suchen einen Ausgleich der Gefällsverhältnisse durch Abbrechen mauerartiger Partien entlang klaffender, dem Kraterrande paralleler Spalten. Aber auch die Schlotwände sind übersteil in Bezug auf das Magma, und zwar bis in jene Tiefe, in der der Druck der Magmasäule die Schlotwände vertikal zu erhalten vermag. Diese werden immer einen Neigungswinkel anstreben, mit dem das betreffende Gestein (hier Basalt) im Gleichgewicht ist. Dieser Tendenz entspricht ein Druck¹⁾ gegen die Magmasäule, den in gewisser Tiefe der Gegendruck des Magmas nicht mehr kompensiert. Von hier bis zum Kraterrand sind die zunächst vertikalen Schlotwände labil, und die Tendenz, eine „Normalböschung“ zu erreichen, wird sich im Abbrechen und Einsinken von Teilen der Schlotwände, den beobachteten Schollen, kundtun. Daß am Kilauea neben dem Abbrechen der Kraterwände (zur Erreichung einer Normalböschung gegen Luft) auch ein Absinken großer Keile vom Schlotrand zur Erreichung einer Normalböschung gegen das Magma²⁾ stattfindet, weist darauf hin, daß er die Öffnung eines sich trichterförmig erweiternden Schlotes ist. Dessen Größe muß eine bedeutende sein, denn das Einsinken von schmalen Schollen entlang steil einfallender Brüche wäre sonst nicht verständlich.

Das Abbrechen der Kraterwände ist eine seit Langem beobachtete Tatsache, und der Zusammenstellung von Brigham ist auch zu entnehmen,

¹⁾ Der Druck wirkt senkrecht zur Schlotfüllung, ist gleich einem Teile der Schwere, und zwar erreicht er den Wert: $g \sin a \cos a$, worin g die Erdbeschleunigung, a die Normalböschung des Basalts gegen das Magma, m die Masse der labilen Schlotpartie sind.

²⁾ Die vielleicht recht dicke Überkrustung, die den heutigen Kilauea-Boden bildet, kann außer Betracht bleiben; sie dürfte nach dem Stande des Lavasees in Halemaumau einen Wert von 100 m nicht wesentlich übersteigen. Das Absitzen der Schlotwände reicht aber viel tiefer: am Volcano house ist die Breite der Staffelfzone etwa 700 m, an der „Sulphur-Bank“ 800 m; nehmen wir für den angestrebten Böschungswinkel etwa 45° (gewiß zu niedrig, da Basalt und Basaltmagma geringe Dichteunterschiede haben und damit auch der angestrebte Böschungswinkel ein großer wird), so erhalten wir für die Tiefe, bis zu der ein Absitzen stattfindet, 800 m; bei einem Winkel von 60° schon 1300 m. Die Überkrustung der Magmasäule im Kilauea-Schlot spielt also bei den vorliegenden Phänomenen keine Rolle.

wie rasch dies vor sich geht. Ellis berichtet davon schon 1823. 1842 weiß Coan davon zu erzählen; 1864 fand Brigham beim Abstieg die Terrassen an der Nordseite, und bei einem weiteren Besuch im Jahre 1880 war der Kilauea um 5% größer geworden gegenüber 1865.

Daly (l. c. p. 98) meint, der Schlot des Kilauea, allerdings gemessen „below the explosion zone“, sei wesentlich kleiner als der Kraterumfang. Er glaubt, ihm keine andere Größenordnung geben zu können, als sie die Necks früherer Perioden besitzen — Mt. Taylor nach Daly einer der größten bekannten Necks mit nur 450 m Durchmesser! Dem kann ich nicht beipflichten.

Versuchen wir, alles, was von den Kraterwänden in die Tiefe gebrochen und gesunken ist, wieder an seine Stelle zu setzen, so daß wir also ein Bild vom ursprünglichen Umfang des Kraters bekommen, so werden die gefundenen Maße auch für die Größe des Schlotes in der Tiefe Geltung haben. Unter den oben gemachten Voraussetzungen kommen wir zu Werten von 2:3 km als Durchmesser gegen 2,8:4,6 km des heutigen Kilauea. Diese Zahlen zeigen immerhin, um welche Größenordnungen es sich handelt.

Haben auch die meisten bekannten Necks nur geringen Umfang, so gibt es doch davon Ausnahmen. In Predazzo (Süd-Tirol) ist ein Schlot¹⁾ bloßgelegt und 1100 m in der Vertikalen aufgeschlossen, der mit seinen 3:4 km Durchmesser gewiß wetteifern kann mit dem Kilauea. Auch seine Wandungen konvergieren. Der Betrag der Verengerung innerhalb der aufgeschlossenen Teile ist aber so gering, daß ein bedeutenderes Kleinerwerden nach der Tiefe nicht zu erwarten ist.

Predazzo und Kilauea sind durch das Moment ihrer Größe miteinander verknüpft. Da sich in Predazzo aus der Gesteinsbeschaffenheit und einer Reihe anderer Tatsachen ableiten ließ, daß die vulkanische Tätigkeit in diesem Schlot ähnlich gewesen sein dürfte wie im Kilauea, ist wohl anzunehmen, daß an beiden Stellen das Ausmaß der Schlotbildung wie auch der Ablauf aller Erscheinungen im Gefolge davon durch das quantitative Verhältnis von Überhitzung und Gasgehalt zur Magmamasse kontrolliert wurde.

An den Kilauea sind im Osten noch zwei kleine Kratere angegliedert: Kilauea iki und Keanakakoi. Grabenartige Senken verbinden sie mit dem weiten Becken; beide sind aber noch vollständig von ihm getrennt. Auch ihre Tätigkeit vollzog sich unabhängig von der des Kilauea.

¹⁾ W. Penck, Der geologische Bau des Gebirges von Predazzo. N. Jahrb. f. Min. Beilageband XXXII, 1911, S. 239.

Damit zeigen sie ein Charakteristikum für satellitische Eruptionsöffnungen¹⁾. Diese Unabhängigkeit trotz der Nachbarschaft spricht auch für die geringe Tiefe des Herdes. Im Einklang damit steht, daß das dünne Gewölbe über der Magmakammer eingebrochen ist, und zwar gerade dort, wo es zwischen den drei Krateren einen nur schmalen Bogen bildete. Den Bruchspalten in den Gehängen der Senke, die Kilauea mit Kilauea iki verbindet, sind auch Laven entquollen, so daß wir annehmen können, der Einbruch stehe in ursächlichem Konnex mit Vorgängen in der darunter liegenden Magmakammer.

Die Ströme flossen in Kaskaden in den Kilauea einerseits und in ein merkwürdiges, in die Schwelle gegen Kilauea iki eingesenktes Tal andererseits. Dieses ist stufenförmig gegliedert, und es läßt sich mit vollster Deutlichkeit erkennen, daß die Furche durch Verschmelzung eines (vielleicht sogar zweier) Kraterchen mit dem Kilauea iki entstanden ist. Auch hier scheinen Einbrüche eine Rolle zu spielen, wenigstens sind hoch oben den steilwandigen Gehängen des Tales und in deren Fortsetzung gegen Osten auch den Hängen des Kilauea iki Spaltenergüsse entquollen. Ihre Ausbruchspunkte, zur Hälfte umwallt von nischenartigen, vielfarbigen Fladenhaufen, liegen in einer Reihe, parallel der Längserstreckung des Tales. Die Ströme sind es aber nicht, die Kilauea iki füllten. Vollkommen glatt, von wenigen Aufblähungen unterbrochen, dehnt sich die schwarze Lavoerfläche: ein erstarrter See. 1868 brach der Boden auf, ein Lavasee erfüllte²⁾ das steilumrandete Loch und erstarrte³⁾. Dabei sank wie beim Gefrieren eines Wasserbeckens der erkaltende Spiegel gegen die Mitte ein, die Ränder lösten sich von der Kraterwandung und hinterließen eine Ufermarke, die etwa 2 m über dem aufgebogenen Lavarand horizontal an jener hinzieht. (Vgl. Abb. 5). Diese Ufermarke setzt über die eingeströmten Lavaergüsse⁴⁾ weg. Spärliche Vegetation hat sich in den Kontraktionsrissen angesiedelt. Im Keanakakoi ist davon noch nichts zu sehen. Die Ähnlichkeit des von steilen, 60 m hohen Wänden umgebenen Kraterbodens mit einem gefrorenen, in Schollen geborstenen See ist außerordentlich groß.

Solche Bilder können nur entstehen, wenn die Eruptionen vollständig ruhig, ohne jede Explosiverscheinung

¹⁾ Daly bezeichnet so jene Förderkanäle, die auf eine sekundär intrudierte Magmakammer bezogen werden müssen, nicht auf eine Primärintrusion in abyssische Spalten (l. c. S. 109).

²⁾ Also synchron mit der Loaeruption.

³⁾ Der damals entstandene Boden liegt fast 100 m tiefer als der des Kilauea!

⁴⁾ Mit einziger Ausnahme eines jüngeren Stromes, der aus dem Tale von Westen her kam.

gen abliefen. Eine einmalige Explosion schafft den Schlot¹⁾, der von unten her mit Magma gefüllt wird. Ohne vorherige Anzeichen brechen die Laven²⁾ wieder aus, der Spiegel des Sees steigt und erstarrt.

Was hier so deutlich zum Ausdruck kommt, bestätigt die Überlieferung auch für den Kilauea. In Kürze sei einiges aus seiner Eruptionsgeschichte mitgeteilt, um den Gegensatz zwischen der Explosion des Jahres 1789 und allen nachfolgenden Ereignissen hervortreten zu lassen.

Ellis besuchte 1823 den Krater und fand ihn 800 Fuß tief und in seinem ganzen Umfange mit einem Lavasee erfüllt. Eine Ufermarke fast 400 (?) Fuß³⁾ höher deutete auf einen höheren Stand des Magmaspiegels. 1824 maß Leutnant H. B. M. S. Blonde die Tiefe des Kraters zu 500 m. Das Niveau war also fast um 250 m gefallen. Etwa 60 insel-förmig aufragende Kegel waren tätig. Einer von ihnen ging in Trümmer, und an seiner Stelle entstand ein See.

A. Bishop berichtete 1825 von einem Steigen des Kraterbodens um 200 Fuß. 1831 wurde die obengenannte Ufermarke überflutet; im folgenden Jahr hören wir wieder von einem Sinken. 1838 wurde die Ufermarke (sie wird stets als „black ledge“ angeführt) fast wieder erreicht.

T. Coan fand 1840 den Krater 900 Fuß⁴⁾ tief; der große See hatte sich in mehrere kleinere aufgelöst, die verschwanden, an anderen Stellen wieder auftraten. Dieses Kommen und Gehen geschah ohne heftige Begleiterscheinungen. Im Zusammenhang mit einem Ausbruch nahe der Küste⁵⁾ sank die Lavasäule im Kilauea. 1848 war der ganze Krater überkrustet, und als mächtiger Dom wölbte sich der Lavaboden selbst über die äußere Umwallung auf. Am Gipfel dieses Domes brach Lava durch — durch Aufschmelzen, wie Dana annimmt —, die Öffnung vergrößerte sich durch Abbrechen des Gewölbes (1849), und 1853 war es ganz eingesunken. Lavaseen entfalteten ihre charakteristische Tätigkeit. 1864 beschränkte sich diese auf Halemaumau und war gering. In der folgenden Zeit stieg die Lavasäule, Halemaumau wurde größer, neue Seen entstanden, bis 1868, im Erdbebenjahr, der Kraterboden einbrach und ein großer Lavasee sich ausbreitete. Sein Bestehen war von kurzer Dauer; der überkrustete

¹⁾ Die, regellos verstreute Anordnung der Schlöte, die Kurzlebigkeit der Eruptionen führt Daly weiter als charakteristisch für satellitische Vulkane an; beides trifft für die pit craters von Puna zu.

²⁾ J. Dana nimmt an, daß das Wiederausbrechen des Magmas durch Aufschmelzen erfolge.

³⁾ Es heißt schätzungsweise: in halber Höhe; 400 Fuß dürfte zu hoch gegriffen sein.

⁴⁾ Nach 1855 war die Tiefe 650 Fuß; 1865 wurde der heutige Stand mit etwa 300 Fuß (100 m) unter dem Kraterrand erreicht (Brigham).

⁵⁾ Der große Strom von 1840, der einzige, der dem oben beschriebenen Sporn entquoll!

Kilauea-See wurde 1872 neuerlich zu breitem Dom aufgebläht. Er verschwand, neben Halemaumau bildeten sich neue Seen (z. B. Kilauea lake), die unter Erschütterungen des Untergrundes tätig waren (Challenger Expedition). Mit Schwankungen (1880) dauerte diese Phase bis in die neunziger Jahre, in denen Halemaumau seinen Umfang beträchtlich vergrößerte. Abgebrochene, randliche Schollen wurden dort als schwimmende Inseln im Lavasee beobachtet. 1891 versiegte Halemaumau vollständig und hinterließ ein von chaotischen Trümmern erfülltes Loch. Bald kehrte die Lava wieder und floß 1892 über. Zu gleicher Zeit wurde der Kraterboden aufgewölbt, so daß das Magma, sein Niveau beibehaltend, zu fallen schien. Doch schon 1894 sank der Dom, stieg die Lavasäule bis zum Überfließen aus Halemaumau. Ein ständiges Oszillieren! (Versinken 1895 (?), Überfließen 1908, Versinken 1909, Überfließen 1910, Versinken im selben Jahr.) Aber alle diese Vorgänge sind nunmehr auf Halemaumau beschränkt. Das deutet, wie Daly (l. c. S. 113) ausgesprochen hat, auf ein entschiedenes Abnehmen vulkanischer Tätigkeit im Kilauea gegenüber seinen Anfangsstadien. Kaum 100 Jahre liegt die Phase größter Tätigkeit zurück (Ellis 1823); rasch geschieht also Wärmeabgabe und Entgasung. Auch der Umstand spricht für die Jugend des Kilauea.

Seine Geschichte könnte unter Zugrundelegung der Dalyschen Auffassung wie folgt dargestellt werden: vom Schlotte des Mauna Loa zweigt, wie etwa bei einer Flankeneruption, eine Magmamasse ab, ohne aber die Erdoberfläche zu erreichen. Der Intrusivkörper kam ihr doch nahe genug, um sich morphologisch als Aufblähung der Gehänge des Mauna Loa zu verraten. Die Gase sammeln sich an der Decke der neu entstandenen Magmakammer und, wo ihre Tension ausreichte, da bohrten sie einen Schlot durch die Basaltlager des Hangenden. An verschiedenen Punkten, zu verschiedenen Zeiten trat dieser Fall ein, so daß die Pit craters ungleiches Alter besitzen und keine Gesetzmäßigkeit der Anordnung verraten. Ihre Lage wird bestimmt durch die Konfiguration des Daches der Magmakammer.

Unter der Kulmination des Rückens, den die Intrusion aufwölbt, erreicht wahrscheinlich auch das Dach der Magmakammer seine größte Höhe. In besonderer Menge sammeln sich hier die Gase. Hier war darum auch eine gewaltigere Explosion zu erwarten als bei irgendeinem der Kratere von Puna. Ein ausnehmend breiter Schlot, der des Kilauea, mußte entstehen. Wahrscheinlich geschah dies im Jahre 1789. Wie viele der Pit craters, erfüllte auch den Kilauea darauf die dünnflüssige, weil überhitzte Basaltlava. Während aber an anderen Stellen die Füllmasse für immer erstarrte, blieb der Kilauea tätig. Die Ursache hierfür ist die, daß sich unter ihm nach

wie vor die größten Gasmengen sammeln, die als Träger der Wärme im Schloten aufsteigen, den Wärmeverlust gegen Luft nicht nur kompensieren, sondern noch übertreffen. Solange Entgasung aus dem überhitzten Magmareservoir anhält, wird der Schlot offen gehalten, werden Lavaseen bestehen bleiben. An der Erdoberfläche machen sich diese Vorgänge der Tiefe mit ihren Schwankungen in den beschriebenen Phänomenen geltend: das Oszillieren der Lavasäule, die auffällige Ruhe aller Erscheinungen, der charakteristische Mangel explosiver Ausbrüche trotz Überkrustung und oberflächlichen Versiegens der flüssigen Schlotfüllung u. s. f. Zu gleicher Zeit weitet sich die Krateröffnung, die übersteilen Schlotwände suchen durch Abbrechen und Niedersinken ganzer Schollenkomplexe stabile Böschungen zu erreichen. Es bilden sich die Züge heraus, die uns heute am Kilauea entgegentreten

Seenstudien in Nord-Kamerun.

Von Prof. Dr. Kurt Hassert in Köln.

(Schluß.)

8. Der Große Ndü-See¹⁾.

Die Landschaft Bafum ist reich an jungvulkanischen Gesteinsdecken und Kraterbergen und birgt auch einige vulkanische Seen, deren größter der 1905 von Glauning entdeckte und später von Heigelin besuchte Ndü im Gebiete Njos ist. Da ich ebenfalls mehrere Tage am See verweilte, so erbauten sich meine Leute, soweit sie nicht in einigen leerstehenden Feldhütten Unterkunft fanden, aus den biegsamen Zweigen der Raphiapalme eine Anzahl Buschhütten.

Die Wasserfläche wird von den Eingeborenen als Ndü oder Ndi, d. h. Gott-See bezeichnet — Glauning schrieb ursprünglich Ilüi — und weicht durch ihre Gestalt auffallend von den übrigen Seen Nord-Kameruns ab. Während diese nämlich mehr oder minder rundliche Becken sind, erfüllt der Ndü eine langgestreckte Mulde, die etwa 170 m tief in eine typische Granithochfläche eingesenkt ist. Grobkörniger Granit setzt weithin die Seeumgebung zusammen, die ein abgehobeltes, stark welliges Rumpfschollenland darstellt. Die rundlichen Hügel und Rücken und die teils flacher, teils steiler geböschten Talgehänge überzieht ein hellgrüner Grasteppich, während schmale, dunkle Uferwaldstreifen die Wasserläufe umsäumen. Überall liegen zahllose abgerundete Felsblöcke herum, die zum Teil den Umfang eines kleinen Hauses erreichen und die für den Granit so bezeichnende wollsackartige Verwitterung zur Schau tragen. Auf beiden Längsseiten

¹⁾ Glauning, a. a. O. S. 238. — Glauning, Von Bamenda an die Westgrenze. Dtsch. Kol.-Bl. 19 (1908), S. 68. — Hassert, Bericht S. 190, 191. — Hassert, Forschungs-Expedition S. 24, 26.

der Seemulde gehen die felsigen Uferböschungen rasch in vollkommen senkrechte Wände über, die einen Schuß in laut hallendem Echo vielfach zurückwerfen. Die nördliche Schmalseite wird durch eine niedrige, zum See sehr steil, nach außen hin etwas sanfter abfallende Tuffmauer gebildet, die quer durch die Granitmulde hindurchzieht und den ursprünglich offenen Abfluß des Ndü abgesperrt hat. Die südliche Schmalseite setzt sich mit flachen Ufern in eine kleine, baumreiche und zum Teil versumpfte Schwemmlandsniederung fort, die, von höheren Bergzügen umrahmt, wohl das landfest gewordene See-Ende darstellt. Hier wurde, 175 Schritte vom Ufer entfernt, in 1075 m Meereshöhe das Lager aufgeschlagen. Glaunings Höhenangaben, die anfangs 1700 m, später 1200—1400 m verzeichneten, sind zu hoch. Doch verdankt man dem um die Erforschung seines Bezirkes unermüdlich tätigen Hauptmann die erste Übersichtsskizze, die — durch eine kleine Basismessung, durch zahlreiche Winkelmessungen und sonstige Angaben und einige photographische Aufnahmen erheblich verändert — auch für die vorliegende Karte als Unterlage diente. Glauning schätzte die Breite des Sees auf 2—2½ km und die Länge auf 3—4 km, während Heigelin 2½ und 6 km annahm. Ich ermittelte für den See, der übrigens das zweitgrößte Wasserbecken Nord-Kameruns ist, eine fast rechteckige Umrißgestalt mit 3 km Länge und 1,7 km größter Breite. Die Regelmäßigkeit der Umrißformen wird nur durch einige kleinere Vorsprünge in der Nordecke, durch einen größeren halbinselartigen Vorsprung im südlichen Drittel der Westseite und durch eine Reihe felsiger Inselchen unterbrochen. Die mit üppigem Gras und Buschwerk bedeckten Klippen, von denen zwei aus hartem Granit und zwei andere aus widerstandsfähigem, festverbackenem vulkanischem Tuff bestehen, sind dort, wo die großen Seetiefen beginnen, in etwa 30 m Abstand der östlichen Steilwand vorgelagert und ragen nicht sehr hoch über den Wasserspiegel empor. Von der Höhe gesehen, gewährt der See einen prächtigen Anblick. Plötzlich aus der Tiefe fast unmittelbar zu unseren Füßen aufblitzend, entlockte er selbst den stumpfsinnigen Trägern einen Ausruf des Erstaunens und veranlaßte sie zu eingehenderer Betrachtung: so nachhaltig wirkte das unvermutete Landschaftsbild auf sie ein.

Die Sonderstellung, die der Ndü durch seine Umrißformen einnimmt, weist auf eine von den übrigen Seen Nord-Kameruns abweichende Beschaffenheit und Entstehung hin. Tatsächlich ist er wohl das interessanteste Seebecken des Schutzgebietes, über dessen Bildungsgeschichte die Lotungen im Verein mit den tektonischen und geologischen Verhältnissen der Uferumgebung folgendes vermuten lassen: In einer langgestreckten, einst mit offenem Abflusse nach Norden versehenen und sich noch jetzt deutlich nach Norden öffnenden Mulde, die als ein echtes Erosionstal in das granitische

Rumpfgebirge eingegraben ist, wurde durch vulkanische Kräfte ein tiefes Maar ausgeblasen. Da die Mulde sonst keinerlei Störungen aufweist, so scheint das Maar in Übereinstimmung mit den von Branca aufgestellten Anschauungen unabhängig von Bruchlinien, z. B. dem nur wenige Kilometer entfernten und vielleicht einen Graben darstellenden Djuonga-Tal, entstanden zu sein. Die das Maar schaffenden Kräfte sprengten einen Teil der sanfteren Granitumwallung der Mulde fort und schütteten eine mächtige, deutlich in zahlreiche dünne Lagen gegliederte Tuffwand auf, die fast die ganze östliche Längsseite und die nördliche Schmalseite, also die ehemalige Abflußseite des Sees einnimmt. Die Tuffe bestehen aus grobkörnigen, schwarzgrauen bis dunkelbraunen oder schwarzen, fest verbackenen Aschen und Schlacken, die größere und kleinere Basaltstückchen, graue und rötliche Granitbröckchen, vulkanische Bomben und gelblichgrüne Olivinknollen in reicher Fülle einschließen. Die Tuffe lagern teils horizontal, teils sind sie unter einem Winkel von 10—20° leicht geneigt. Vom Nordende des Sees aus am Ostufer entlang fahrend, kann man verfolgen, wie die Tuffschichten sich ganz allmählich aufwärts wölben und einen hellfarbigen Granitkern sowie eine aus der Tiefe emporgequollene Masse von Basaltlava überlagern, um sich dann wiederum langsam zu senken. Stellenweise wird indes die oben wagerecht abschneidende Tuffwand, namentlich längs der höchsten, den Seespiegel um etwa 100 m überragenden Erhebung, von förmlichen Verwerfungs-klüften und Sprüngen durchsetzt, an denen die einzelnen Tufflagen unregelmäßig gegeneinander verschoben sind. An dieser höchsten Stelle der Tuffwand, die mit ihren malerischen Türmen und Abbrüchen fast an die Steilküste Helgolands erinnert, setzen auch unvermittelt die großen Seetiefen ein. Hier sind zwei aus dichtem Basalt und vulkanischem Tuff zusammengesetzte Inselchen dem Steilufer vorgelagert, und hier ist auch die schon von weitem als dunkelschwarzer Fleck erscheinende Basaltlava etwa 3 m hoch über die Wasserfläche emporgequollen. Endlich birgt die Tuffwand noch mehrere geräumige Höhlen, deren Grund etwas unter den Wasserspiegel hinabreicht. Diese Höhlen sind wohl nicht auf Brandungs- und Wellenwirkung zurückzuführen, sondern sie sind durch die Natur des Tuffes bedingt und werden durch die Minierarbeit des reichlich vorhandenen Sickerwassers immer mehr erweitert und vergrößert. Die Decken hängen zum Teil stark über, so daß nach ihrem Einbruche die Höhlen zu Nischen werden. Von Süd nach Nord hin scheint sich die Tuffwand allmählich unter das Seeniveau zu senken, aber überall in nicht allzugroßer Tiefe auf der Granitunterlage zu ruhen. Namentlich im Bereiche des tuffüberdeckten Granitkerns und seine unmittelbare Fortsetzung bildend, dringt der Granit unter Wasser noch ein Stück in den See vor. Im Sonnenschein hebt sich über der bloß 2 m tiefen Schwelle das seichte Wasser durch seine hellere

Farbe deutlich ab, während zwei die Seefläche nur wenig überragende Granitklippen jener Schwelle aufgesetzt sind. Am Außenrande der äußeren Klippe endet die unterseeische Terrasse, indem hier sofort wieder die großen Tiefen einsetzen. Auch der vom Wasser überflutete Grund der eben genannten Höhlen läßt die schmale Leiste gut erkennen, die eine Strecke lang die Ostseite des Sees zu begleiten scheint.

An der nördlichen Schmalseite ist die Tuffwand so niedrig — die Höhe beträgt hier bloß wenige Meter —, daß sie nächst dem Südufer die flachste Stelle der Seeumwallung bildet. Dennoch hat die Tuffmauer, die einer natürlichen Talsperre vergleichbar quer durch die Mulde hindurch aufgeschüttet wurde, den oberirdischen Abfluß unterbunden und den das Tal entwässernden Fluß zum See aufgestaut.

Der westlichen Seeseite fehlt die Tuffüberlagerung vollständig. Sie besteht ausschließlich wie die gesamte nähere und fernere Seeumgebung aus sehr grobkörnigem, dunkelgrauem, mit Gras und Moos bewachsenem Biotitgranit, der jedoch längs des Ufers — etwa von dem Halbinselvorsprung an nordwärts — in senkrechten, unersteiglichen Wänden abstürzt. Sie müssen wohl auf die Sprengwirkung der vulkanischen Kräfte zurückgeführt werden. Erst das südliche Drittel der Westseite und ebenso das südliche Drittel der Ostseite trägt wiederum die normalen rundlichen Formen und die Eigenart der von Verwitterungsblöcken übersäten Granitlandschaft zur Schau, während die Südseite ein niedriges Schwemmlandufer ist.

Demgemäß besitzt der Ndü eine Doppelnatur. Er ist seiner Entstehung nach eine Kombination von Granitmulde und Maar und setzt sich aus zwei durchaus verschiedenen Teilen zusammen. Der unversehrt gebliebene Rest der ursprünglichen Talmulde umfaßt das südliche Seedrittel und weist nur verhältnismäßig geringe Tiefen — bis 38,5 m — auf. Sobald man jedoch in den größeren vulkanischen Teil des Wasserbeckens einfährt, der durch seine senkrechten Felswände und dadurch, daß er sich zu einer eiförmigen Gestalt erweitert, schon äußerlich erkennbar ist, beginnen ganz unvermittelt die großen Tiefen, die bis fast zum Nordende des Sees hin anhalten.

Was die Tiefenverhältnisse im einzelnen betrifft, die schon Glauning und Heigelin als sehr beträchtlich bezeichneten, so wurden 16 Lotungsreihen durch den See gelegt und 120 Lotungen in Abständen von 15, 25, 30, 50, 75 und 100 Ruderschlägen ausgeführt.

Reihe a—b: 8,3 13,7 14,7 14,9 18,5 5 1,5 m.

„ b—c: 27,6 25,4 26,5 38,5 37 20,5 14,6 3 m.

„ c—d—b: 29,5 97,6¹⁾ 97,6 97,6 90,8 26,1 9,5 m.

¹⁾ Die liegenden Zahlen bedeuten, daß bei jenen Tiefen wegen Nichtausreichens der Lotleine kein Grund gefunden wurde.

Reihe b—e:	19,9	18,1	19,2	14,9	6,1	m.
„ e—f:	14,5	13,9	8,6	3,6	2,3	m.
„ f—g:	$\frac{1}{3}$	4,3	4,3	4,3	m.	
„ g—h:	18,5	27	22,4	179,8	208	208 208 208 106,5 77,3 50,8
	46	14,7	10,5	3,6	m.	
„ i—k:	19,1	32,8	114,1	153,2	147,7	117,2 30,9 6,9 m.
„ k—l:	106,6	152,5	181,3	208	208 208 174	99,8 71,2 48 43,8
	25,8	9,8	m.			
„ m—n:	23,8	38,7	91	100,9	34,2	84,9 57,7 m.
„ n—h:	14,5	36,4	m.			
„ h—o:	46,4	29,4	21,1	m.		
„ g—c:	12,4	17,7	16,4	15,4	32,6	26,2 17,8 10,9 6,4 m.
„ p—q:	12,5	8,1	14,6	17,7	13,7	4,1 m.
„ q—r:	31	36,7	37,9	29,7	20,4	92,8 131,5 184 184,9 166 154,8
	170,5	147	128,4	120,6	40,9	m.
„ s—t:	21,6	14,2	19,5	12,5	6,6	m.

Infolge starken Verlustes an Drahtlitze und Faden war es leider nicht möglich, trotzdem die Lotleine noch über 200 m Länge hatte, im gesamten mittleren Kerngebiet des vulkanischen Seeanteils den Grund zu erreichen. Als wahrscheinlichste Maximaltiefe möchte ich, soweit Vermutungen überhaupt einen Rückschluß zulassen, aus der Konstruktion mehrerer Profile 250—300 m annehmen. Jedenfalls dürfte der Ndü das tiefste Wasserbecken ganz Kameruns sein und den Vierwaldstätter See an Tiefe noch übertreffen. Die bei 100—150 m einsetzende Tiefenregion überwiegt in solchem Maße, daß im vulkanischen Seeanteil eine Flachzone auf weite Strecken hin vollständig fehlt. Namentlich die Granitwand des westlichen Ufers stürzt in der Nachbarschaft einiger Wasserfälle so unvermittelt ab, daß 3 m vom Ufer entfernt schon 58 m Tiefe herrscht und daß ein Auseinanderhalten der hier dicht gedrängten Tiefenlinien auf der Karte nicht möglich war. Nachdem die große Tiefe des Ndü feststand, wurden hauptsächlich die weniger tiefen Strecken ausgelotet, um dadurch wenigstens die Gestalt und Begrenzung des eigentlichen Tiefenbeckens zu ermitteln. Am ausgedehntesten ist die Seichtzone in der Nachbarschaft des Südufers. Hier ist dem sumpfigen, humusreichen Strande einen schmale Nehrung aus Schlamm, Sand, Gras, Gebüsch und zusammengeschwemmtem Holzwerk vorgelagert, und an sie stößt, von Wasserpflanzen überwuchert, eine breite Untiefenfläche. Die hier ausmündenden Bäche schieben ihre kleinen Schuttkegel allmählich seewärts vor, wie sie auch schon das südlichste Ende des Sees im Laufe der Zeit zugeschüttet und verlandet haben. Innerhalb des Seichtwassergürtels besteht der Seegrund vorzugsweise aus Sand, der, weil er aus der Verwitterung des Granits hervorgegangen ist, ein Gemenge

feiner Quarzkörnchen, abgerollter Feldspätkchen und zersetzter Glimmerblättchen bildet. Sonst brachte das Lot als Bodenproben wiederholt schwarzen Schlamm mit herauf, der namentlich die größeren Tiefen zu verhüllen scheint.

Die Farbe des Wassers ist intensiv grün bis dunkelgrün und nimmt einen immer dunkleren, schließlich einen schwarzgrünen Ton an, je tiefer der See wird. Stellenweise erscheint das Wasser auch grünblau und im einfallenden Sonnenlichte tiefblau. Schon Heigelin hob diese tiefblaue Färbung hervor. In den Höhlen nimmt das Wasser einen bläulich schillernden Ton an. Dagegen erschien es bei einem heraufziehenden Tornado, der zugleich die Seeoberfläche in starke, von weißem Schaum gekrönte Wellen warf, unter dem Einflusse der dunklen Bewölkung fast schwarz. Die Sichttiefe ist nicht allzu beträchtlich¹⁾. Am wenigsten klar und durchsichtig ist das durch Schlamm und Sand stark verunreinigte Wasser des südlichen Seeteils. Die Oberflächentemperaturen des Wassers waren teilweise höher als die Lufttemperatur und übertrafen die nächtlichen Minima (18 und 16,2° C.) nicht unerheblich. Während des Tornados war das Seewasser viel wärmer als der kühle Regen²⁾.

1)

Tag (1908)	Stunde	Lotungs- reihe	Wasser- tiefe (m)	Sicht- tiefe (m)
23. V.	3.45 p	b—c	26,5	3,5
24. V.	9 a	g—h	106,5	4
„	12.10 p	i—k	117,2	4
„	5.30 p	h—o	29,4	3,5
25. V.	7.35 a	p—q	14,6	3,5
„	8.30 a	q—r	184	4

2)

Tag (1908)	Stunde	Lotungs- reihe	Wasser- tiefe (m)	Oberflächen- temperatur (° C.)	Luft- tempera tur (° C.)
23. V.	3.40 p	b—c	25,4	25	11.40 a 25,8 6 p 21,9 6 a 18,8
„	4.25 p	c—d—b	90,8	25	
„	5.40 p	f—g	4,3	24,9	
24. V.	8.25 a	g—h	208	25	6 p 19 6 a 17
„	11.55 a	i—k	153,2	24,9	
„	2.15 p	k—l	174	25,3	
„	5 p	h—o	46,4	25	6 a 17
25. V.	7.30 a	p—q	8,1	24,9	
„	8.20 a	q—r	131,5	25	
„	10 a	q—r	40,9	25,1	

Weil die Wasserscheide unmittelbar um den See herumläuft und im wesentlichen nur die ihn rings umgebenden Höhen einschließt, so ist das Zuflußgebiet des Ndü klein. Dennoch geht ihm eine Anzahl Bäche zu, die zur Trockenzeit teils versiegen, teils das ganze Jahr hindurch Wasser führen und sich durch lebhaftes Rauschen bemerkbar machen. Der größte von ihnen ist der Tschuo Tschub, der inmitten eines dichten Gehölzes als stark brausender, wasserreicher Bach in die Südwestecke des Sees mündet. Das südliche, von den vulkanischen Umwälzungen nicht betroffene Seedrittel nimmt fast alle Zuflüsse auf, die darum auch hier das meiste zur Verlandung des Sees, zur Verringerung seiner Tiefen und zur Herausbildung einer breiten Wasserpflanzenzone beigetragen haben. Der vulkanische Seeanteil wird hauptsächlich durch eine Reihe von Wasserfällen und durch reichliche Zufuhr von Sickerwasser gespeist. Die Wasserfälle gehören vor allem der westlichen Steilseite des Sees an, sie fehlen aber auch der senkrechten Tuffseite nicht. Über die Granitwände und Granitklippen rieselt auch sonst das Wasser in zahllosen feinen Streifen, so daß die feuchte Gesteinsoberfläche im Sonnenschein wie ein Spiegel glänzt. An den Tuffwänden fällt das Sickerwasser ebenfalls unaufhörlich in schweren Tropfen herab, so daß man ständig von ihnen bespritzt wird, wenn man unmittelbar am Ufer entlang fährt. Auch das Innere der Tuffschichten ist stark durchfeuchtet, und das ständig herabfallende Sickerwasser hat in den Höhlen kleine, aber deutlich erkennbare Ansätze stalaktitischer und stalagmitischer Gebilde geschaffen, die auch an der Außenseite der Tuffmauer wiederholt angetroffen werden. Es sind intensiv gelbbraune Säulchen, oder sie sehen wie kleine Kraterchen aus. Leider sind sie so bröckelig und so leicht vergänglich, daß Proben nicht mitgenommen werden konnten.

Nach Glauning ist in der Richtung der Längsachse des Sees ein oberirdischer Abfluß namens Kuli vorhanden. Ein solcher war jedoch nicht wahrzunehmen, und selbst bei Hochwasser scheint der See nicht über den niedrigen Tuffrand überzufließen¹⁾, so daß er als oberirdisch abflußlos bezeichnet werden muß. Wohl aber ist unter dem Tuffriegel, der als ein fremdartiges Gebilde die Granitmulde quer durchsetzt, ein kurzer unterirdischer Abfluß vorhanden, der dann in offenem Bett weiterführt und die unmittelbare Fortsetzung des oberen, zum See aufgestauten Flußstückes bildet. Der Kuli mündet in einen Nebenfluß des Katsena und gliedert den Ndü hydrographisch dem Stromgebiet des Benuë an.

Trotzdem die Bäche, die Wasserfälle, das Sicker- und Rieselwasser dem See das ganze Jahr hindurch Nahrung zuführen, scheint er haupt-

¹⁾ Wäre das der Fall, so müßte das überfließende Wasser seine einschneidende und ausnagende Wirkung in Gestalt eines noch so schmalen Flußbettes ausgeübt haben.

sächlich durch die ihm unmittelbar zugehenden Niederschläge gespeist zu werden. Daher war während meines in die Übergangszeit fallenden Aufenthaltes vielerorts eine helle Ufermarke zu erkennen, die einen zur Regenzeit um etwa $\frac{3}{4}$ m höheren Wasserstand anzeigt. Auch an der niedrigen Tuffwand der Abflußseite trat diese Flutmarke deutlich in die Erscheinung. Bei Hochwasser dürfte das niedrige Uferland am Südende des Sees teilweise überschwemmt oder versumpft sein, und auch zur Trockenzeit ist es so feucht, daß ich zur Vorsicht an jedem Tage Chinin nahm. An einigen Stellen der Wasserfallstrecke und der Tuffseite war eine doppelte Wasserstandsmarke nachweisbar, indem über der unteren, $\frac{3}{4}$ m hohen Flutmarke noch eine etwa 10 cm mächtige hellgraue Marke verläuft, die entschieden einen älteren Eindruck macht und den wohl nur sehr selten erreichten Höchststand des Sees bezeichnet.

Der Ndü liegt inmitten des Nord-Kameruner Graslandes. Geschlossener Baumwuchs findet sich nur längs der Wasseradern in Form schmaler Uferwaldstreifen, unter deren Bäumen die vielseitig nützliche Raphiapalme die Hauptrolle spielt. Die geschützten feuchteren Vertiefungen bergen auch vereinzelte hochstämmige Öl- und Weinpalmen, schlanke Drazänen und Gruppen üppiger Baum- und Buschvegetation, die besonders in der Schwemmlandsmulde am Südende des Sees häufig sind. Oft sind in das übermannshohe Gras auch kleine Farmen nebst den zugehörigen Feldhütten eingestreut. Ein Heer zierlicher Farnkräuter und kleiner kletternder, schlingender und windender Pflänzchen, deren aromatisch duftende Blüten die Insekten anlocken, wuchert zusammen mit Gras und Moos in den feinen Ritzen und Schichtflächen der Tuffe oder überzieht die raue Oberfläche des Granits, während das Sicker- und Rieselwasser selbst an den steilen Wänden einer höheren Baum- und Buschvegetation die Fußfassung ermöglicht hat. Der Schlamm- und Sandgrund der Seichtwasserzone am Südende und teilweise auch am Nordostende des Sees trägt ein dichtes Kleid von Wasserpflanzen, unter denen hohes Schilfgras, Seerosen und eine Pflanze mit kleinen hellgelben Blüten besonders erwähnenswert sind. Auch hier gesellen sich zu ihnen zahlreiche abgestorbene Bäume, deren blattlose, weißgraue Zweige ein unangenehmes Fahrthindernis bilden. Weiter seewärts wurde beim Loten auch noch braungrünes Seegras mit emporgebracht.

Im See gibt es bloß kleine Fische, dazu viele Blutegel, deren Blutgier meine Leute einmal eilends aus dem Wasser herausspringen ließ. Zahlreiche Wasservögel, namentlich Enten, beleben den See, auf den Bäumen und in den Höhlen nisten wilde Tauben, und an die weit über den Wasserspiegel hängenden biegsamen Zweige der Ufergebüsche haben kleine geschäftige Webervögel ihre Nester angeheftet, die sich durch ihre helle strohgelbe

Farbe scharf vom dunklen Blattgrün abheben. Raubvögel verschiedener Art sind ebenfalls vorhanden. Die zahllosen Hohlräume und Schichtfugen der Tuffwände beherbergen Scharen großer hornissenartiger Stechfliegen, die ihre kleinen Nester mit Vorliebe an die senkrechten Felsmauern kleben und uns mit lautem Summen zudringlich umschwärmten. Über dem Wasser endlich treiben große, schillernde Libellen ihr Spiel.

In der Nachbarschaft des Sees, wenngleich nicht unmittelbar an seinen Ufern, gibt es mehrere Dörfer, denen die um das Wasserbecken herum angelegten Farmen gehören. Zahlreiche Pfade, die zu den Ortschaften oder zu den Feldern führen, treffen von verschiedenen Seiten her an den weniger steilen Ufern zusammen. Die Eingeborenen, denen durch die im Graslande üblichen Flötensignale meine Ankunft bald bekannt geworden war, brachten nach Überwindung der ersten Scheu reichliche Verpflegung. Meine ihnen unverständlichen Arbeiten konnten sie sich freilich nicht enträtseln, und weil der See als heilig gilt, so haben sie den wilden Tornado, der mich beim Loten überraschte, gewiß als Strafe des beunruhigten und erzürnten Wassergeistes gedeutet. Als sie das Faltboot mit den Wellen kämpfen sahen und als es gar ihren Blicken entschwand, weil wir vor den Windstößen und Regenböen in eine der gerade benachbarten Höhlen der sonst völlig schutzlosen Tuffmauer flüchten mußten, da flehten sie, wie ich später erfuhr, zu den Göttern, daß dem Fremden nichts Böses widerfahren möchte. Nahezu eine Stunde hielt der Gewittersturm an, und weil der starke Wellengang das Boot, nachdem wir es halb aufs Trockene gezogen hatten, in bedenklicher Weise an den scharfen Kanten der früher erwähnten Gesteinsleiste hin- und herrieb, so mußten wir es in unbequemer Stellung so lange festhalten, bis die Gewalt des Orkans gebrochen war.

9. Besuchte, aber nicht ausgelotete Seen.

Unmittelbar am Ostrande des rings von steilen Wänden umrahmten Beckens von Kuk liegt der Kleine Ndü-See¹⁾. Hat man das Dorfgehölz des stattlichen Ortes verlassen, so muß man mehrere breite, wasserreiche Flüsse überschreiten, die ihr Bett in eine mächtige, mit vielen Basaltstücken durchsetzte Lehmdecke eingegraben haben, während grobkörniger Biotitgneis- und Granit die unmittelbar benachbarten Höhen aufbaut und die Unterlage bildet. Je näher man dem vulkanischen See kommt, um so häufiger werden dichte Basalte, feinporöse und blasig-schlackige Feldspatbasalt-Laven, vulkanische Bomben und hellbraune Tuffe. Noch ein kurzer Aufstieg, erst steil zum Plateaurande empor, dann sanfter über die stark-

¹⁾ Glauning, Von Bamenda an die Westgrenze S. 68. — Hassert, Bericht S. 190. — Hassert, Forschungs-Expedition S. 24.

wellige Hochfläche, die sich in gleichartiger Beschaffenheit weit nach Norden hin fortsetzt. Da öffnet sich plötzlich ein tiefes Loch, das als ein echtes Maar mit steilen Wänden aus dem Plateau herausgesprengt ist. Die ausgeworfenen Aschen und Schlacken wurden zu einem mächtigen Tuffkranz aufgehäuft, dessen deutlich geschichtete dünne Lagen schräggestellt sind und in sanftem Neigungswinkel nach außen hin einfallen. Reichliche Mengen von Granit-, Glimmerschiefer- und Quarzbrocken sind in ihnen enthalten, die von den vulkanischen Kräften mit emporgerissen und teilweise an den Rändern kontaktmetamorphisch verändert wurden.

Die Seeumgebung ist echtes Grasland mit Mais-, Makabo- und Kürbisfarmen, die bis zum Kraterrande reichen und an den weniger steilen Böschungen bis auf den Grund des Kessels vordringen. Im Schutze desselben gedeihen auch einige kräftige Gehölzgruppen. Der idyllische, schwarz-dunkelgrün schillernde See selbst ist fischlos. Rings von einer niedrigen, senkrechten Ufermauer eingefasst, liegt er 1400 m über dem Meeresspiegel und etwa 70 m unter dem oberen Rande des Plateaus. Er hat nach Glauning eine kreisrunde Gestalt von 600 m Durchmesser, während ich einen eiförmigen Umriß mit 400 m Länge und 200 m Breite ermittelte. Nur an einer Stelle, und zwar nach der Stirnseite des Sees zu, erniedrigt sich die Tuffwand ganz beträchtlich. Ein oberirdischer Abfluß ist nicht vorhanden; doch entspringen am Außenrande des Maares und teilweise wohl von ihm gespeist zahlreiche Bäche. Der See selbst nimmt einige kleine Zuflüsse auf, deren Rauschen von der Höhe aus deutlich wahrnehmbar war. Doch ist das Zuflußgebiet nur unbedeutend, weshalb unterirdische Zufuhr die Hauptrolle spielen dürfte.

Da ich das Maar erst am Spätnachmittage erreichte und wegen Verpflegungsschwierigkeiten Kuk am nächsten Morgen wieder verlassen mußte, so konnte ich dem See nur einen einstündigen Aufenthalt widmen. Ganz von selbst gedachte ich dabei des Mannes, der um die Erforschung Kameruns und Deutsch-Ostafrikas sich hohe Verdienste erworben hat und zu dessen letzten Entdeckungen jener See gehörte: des kurz vor unserer Ankunft im Kampfe gegen die Muntschi gefallenen Hauptmanns Glauning. Um das Andenken des verdienten Forschers zu ehren und gleichzeitig Verwechselungen mit dem benachbarten großen Ndü-See in der Landschaft Njos vorzubeugen, habe ich mit Genehmigung des Reichs-Kolonialamtes dem kleinen Ndü den Beinamen Glauning-See gegeben. —

Südwestlich von Fumban, der Hauptstadt des Bamum-Reiches, steigt aus der eintönigen Hochfläche ein isolierter Gebirgsrücken auf, dessen ausdrucksvolle Umriss sich bei klarem Wetter scharf aus der Umgebung herausheben. Es ist das Bapit- oder Batpui-Gebirge, ein jungeruptives Massiv aus Trachyt und Basalt, das auf einer Unterlage von Graniten

und rötlich-grauen Quarzporphyren ruht. Hat man den Steilhang erklommen, mit dem das Gebirge zu der unmittelbar benachbarten Unterkunftsstation Baigam abfällt, so steigt man zwischen zwei tiefen, wasserreichen Schluchten erst langsam, dann immer steiler zu einem zackigen Kamm an. Je näher man ihm kommt, um so mehr gesellen sich zu dem bisher allein herrschenden Trachyt schwarze zellige Basaltlaven und grobkörnige vulkanische Tuffe, und hat man den grasigen Grat erklommen, so stürzt er schroff und unvermittelt zu einem einsamen kleinen See oder richtiger einem größeren Teiche ab. Das ist der von Glauning entdeckte Mfu¹⁾, der später auch von dem Missionar Göring, von Guillemain und mir besucht wurde. Die dunkel-schwarzgrüne bis fast schwarze, bewegungslose Wasseroberfläche ist so klar, daß die Umgebung sich deutlich in ihr spiegelt. Der ungefähr kreisrunde See, dessen Fläche Guillemain auf 500 qm schätzt, füllt den Grund eines 75—100 m tiefen Schlundes aus²⁾ und ist ein echter Kratersee, der rings von fast senkrechten Felswänden umsäumt wird. Einige kaminartige Einrisse durchschneiden sie und enden kurz oberhalb des Seespiegels in einer rings geschlossenen vertikalen Mauer, deren horizontal geschichtete dickbankige Gesteine unmittelbar über der Wasseroberfläche eine etwa 1 m hohe hellgraue Wasserstandsmarke zeigen. Die überaus jählen Gehängeneigungen, die sich in gleicher Weise unter Wasser fortzusetzen scheinen, lassen vermuten, daß beim Bapit-See ähnlich abnorme mittlere Böschungswerte wie beim kleinen Epoque-See zu verzeichnen sind³⁾. Mehrere einsame hochstämmige Weinpalmen oder die stehengebliebenen Stümpfe von ihnen beleben im Verein mit einigen kleinen Gehölzgruppen die grasigen Steilhänge, unter deren grüner Pflanzennarbe überall das weißgraue Felsgestein (wohl Trachyt) und der darüber lagernde rötlichbraune Tuffmantel zum Vorschein kommen. Die Tuffhülle, deren Trichtergestalt noch wohl erhalten ist, besteht aus einem wirren Gemisch vulkanischer Asche mit eingebackenen Rapilli, vulkanischen Bomben und zellig-schlackiger oder poröser Basaltlava. Grüne Grasbänder unterbrechen die deutlich geschichteten dünnen Lagen, deren grobes, nur locker verbundenes Material wie

¹⁾ Guillemain, a. a. O. S. 160—161, 366. — Hassert, Bericht S. 197: — Weil Mfu einfach Wasser bedeutet, so schlägt Guillemain vor, den See nach dem Nachbarorte Fopengam zu nennen. Die neutralere Bezeichnung Bapit-See dürfte vielleicht zweckmäßiger sein.

²⁾ Guillemain ermittelte als Höhe des Seespiegels 1395 m und ich als Höhe des oberen Kraterandes 1560 m. Das würde einen Unterschied von 165 m ergeben. Bei der Unsicherheit der barometrischen Höhenmessungen sind aber die oben genannten Schätzungen (75—100 m) vorzuziehen.

³⁾ Ich hatte das Faltboot bei mir. Wegen der Kleinheit des Sees und wegen der übergroßen Schwierigkeiten, die sich dem Transport des Bootes über die steilen Felswände entgegengestellt hätten, sah ich jedoch von der Auslotung ab,

Sand unter den Füßen knirscht. Nach dem breiten Jangua-Tale, über dessen Gras- und Buschfluren Farmen und einige Hütten zerstreut sind, wird der sonst rings geschlossene Kraterrand wesentlich niedriger, so daß man vom Tale aus über ihn hinweg den jenseitigen Oberteil des Kraterschlundes mit dem Farbengegensatz seiner Gesteinsbänke und Tuffe erkennen kann. Der wie ein klaffendes Loch in die Unterlage eingebaute Krater entbehrt des Zu- und Abflusses ganz; doch entspringen in der Nähe mehrere Bäche. Unweit des Mfu erhebt sich auch ein weithin sichtbarer höherer Gipfel, in dessen grasigen Scheitel ein deutlich ausgeprägter Kraterkessel mit seitlicher Neigung eingesenkt ist. —

Knapp 1 km östlich der letzten Häusergruppen der über einen weiten Plan zerstreuten Edib (d. h. See) -Dörfer und noch nicht 200 m von dem gewaltigen Steilrande entfernt, mit dem das Grashochland Inner-Kameruns fast überall jäh und unvermittelt zum Urwaldstiefland abstürzt, liegt zwischen waldigen Höhen versteckt der Edimesab (Edimesa), ein eiförmiges Wasserbecken von 250—300 m Breite und 450—500 m Länge¹⁾. Wie die Umgebung durch und durch vulkanisch ist²⁾, so ist auch das von Conrau entdeckte und nach uns wieder von Berké besuchte Meerauge ein echter Kratersee. Für seinen vulkanischen Charakter und für die Möglichkeit, daß er vielleicht erst in geschichtlicher Zeit entstanden ist, spricht eine von Conrau erwähnte Sage der Eingeborenen. Nach ihr soll einst ein böses Weib Wasser in ein Feuer gegossen haben, worauf das Wasser unaufhaltsam zu fließen begann und das an der Stelle des jetzigen Sees stehende Dorf überflutete. Am Grunde des Bergsees soll aber der Ort mitsamt seinen Menschen und Herden noch vorhanden sein und zuweilen von Vorübergehenden erblickt werden. Das merkwürdigste an dieser Erzählung ist, daß dem Wasser wirklich Feuer vorausging, da das Seebecken vulkanischen Ursprungs ist. Auf drei Seiten umgrenzen die Wasserfläche schroffe Basaltwände, und der Ostrand, an dem der Weg entlangführt, fällt ebenfalls sehr steil ab³⁾.

¹⁾ G. Conrau, Einige Beiträge über die Völker zwischen Mpundu und Bali. Mtlgn. v. Forsch. 11 (1898), S. 200—201. — Hassert, Bericht S. 157. — Hassert, Forschungs-Expedition S. 12.

²⁾ Sie besteht aus einer vielfach zerschnittenen Basalt- und Trachytdecke nebst den zugehörigen, zum Teil schon stark verwitterten Tuffen, die — nach mit emporgerissenen fremden Einschlüssen zu urteilen — auf einer Granit- und Urgesteinsunterlage ruhen.

³⁾ Der Seespiegel liegt 15—30 m tiefer als der Ostrand, während im Bereiche der höheren Erhebungen die Unterschiede beträchtlicher sind. Conrau verzeichnet z. B. für seinen Standpunkt 1490 m, was einen Höhenunterschied von 230 m bedeuten würde. Doch scheinen seine Höhenmessungen zu hoch zu sein, zumal er selbst als relative Höhe der den See im Südwesten begrenzenden Steilwand 100 m angibt.

Was den Edimesab vor allem interessant macht, ist die Tatsache, daß er eines der wenigen Beispiele für die Vermoorung eines tropischen Sees ist, wenngleich er durch seine Meereshöhe (1260 m) dem Einflusse des eigentlichen Tropenklimas bereits entrückt ist. Rings um das Wasserbecken schreitet die Verlandung so rasch fort, daß bloß noch der innere Kern als ein schwarzbraunes bis dunkelschwarzes, glanzloses Auge erscheint, dessen offene Ränder violette Seerosen umsäumen¹⁾. Den weitaus größten Teil des Sees dagegen überzieht eine trügerische Vegetationshülle aus Sumpfgäsern, Moosen, Schilf und anderen Wasserpflanzen, die als ein breites Band immer weiter nach der Seemitte vordringt, so daß der Edimesab sichtlich dem Erlöschen entgegengeht. Nach dem Ufer zu ist die schwankende Pflanzenhülle bereits so dick, daß sie Menschen zu tragen vermag. Allerdings verursacht jeder Schritt kleine Erschütterungen, und bleibt man nur kurze Zeit an derselben Stelle stehen, so sinkt der Fuß tief in den unsicheren Boden ein, während das so entstandene Loch sich mit schlammigem Wasser füllt. Die fortgeschrittene Vermoorung, die dem einsamen Bergsee einen unheimlichen Zug verleiht, erklärt die Rolle, die er im Aberglauben der Umwohner spielt. Wer in dem See badet, muß sterben. Freilich würde er, ehe er die offene Wasserfläche erreicht, unfehlbar in der immer lockerer werdenden Grasdecke verschwinden. Der Verlandungsprozeß ist wohl darauf zurückzuführen, daß der See nicht allzutief ist — genaueres hierüber konnte nicht in Erfahrung gebracht werden — und daß der unmittelbar benachbarte gebirgige Steilabsturz des Hochlandes die vom Meere kommenden Luftströmungen auffängt und sie zur Herausgabe ihrer Feuchtigkeit zwingt, die ihrerseits wieder die Vermoorung des Sees und den Waldwuchs seiner Umgebung begünstigt. Stattlicher Hochwald, der nichts Tropisches an sich hat und nur an besonders steilen Wänden den dunklen Basalt hindurchschimmern läßt, bekleidet die den See umgebenden Erhebungen. Doch schieben sich stellenweise auch breite Streifen mächtigen Elefantengrases in den dunkelgrünen Wald ein, und das anstoßende Hochland ist eine wellige, von Häusern, Farmen, kleinen Baumgruppen, Ölpalmen und schmalen Uferwaldstreifen unterbrochene Grasflur.

Die Niederschläge dürften auch die hauptsächlichsten Lieferanten der Wasserzufuhr sein. Denn das hydrographische Gebiet des Edimesab ist nur klein, und die wenigen ihm zugehenden Bäche machten einen dürftigen Eindruck. Da wir den See mitten in der Trockenzeit besuchten, so war auch sein Abfluß äußerst spärlich. Eine dichte Decke hellgrüner, unserer Wasserpest ähnelnder Wasserpflanzen überzog die stagnierende, völlig versumpfte

¹⁾ Fische leben nach Aussage der Eingeborenen nicht in dem See. Von Wasservögeln war nur eine gewandt schwimmende und tauchende Entenart zu bemerken.