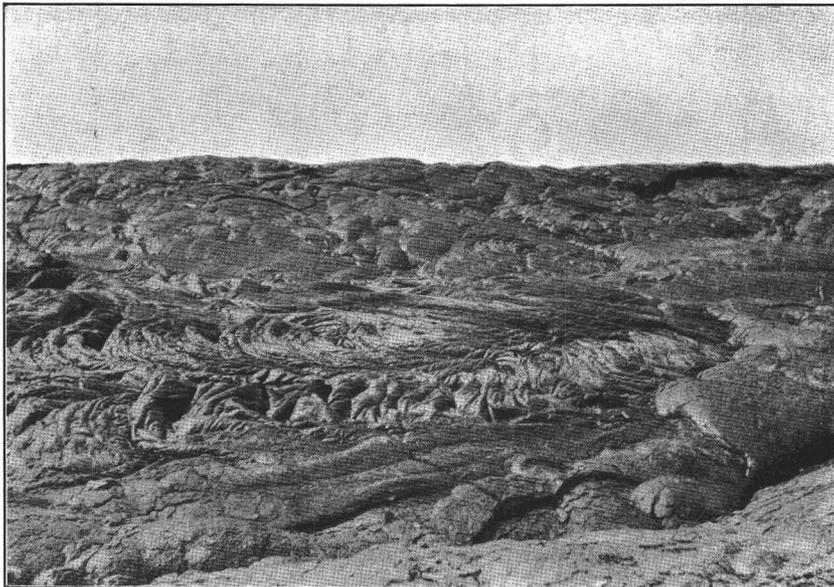


Abbild. 5. Kilauea iki, ein Maar mit erstarrtem Lavasee.  
(Man beachte die Uferlinie.)



Abbild. 6. Pahoehoefeld im Kilaueakrater.

## 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 Hawaii 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 Ausbruchstätigkeit des Kilauea ein recht vollständiges Bild vorliegt. In neuerer Zeit hat B r i g h a m <sup>1)</sup> 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 D a l y <sup>2)</sup> dies Problem wieder aufgegriffen und zu wahrscheinlicher Lösung gebracht. Seine „substratum-injektion-hypothese“ beansprucht allgemeinere Bedeutung und fußt auf der Frage der r e i h e n w e i s e n A n o r d n u n g der Vulkane, wie sie die Hawaiischen Inseln so ausgezeichnet besitzen.

Schon D a n a <sup>3)</sup> 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. S u e s s <sup>4)</sup> sah in den Hawaiischen Inseln einen letzten Bogen der Ozeaniden.

---

<sup>1)</sup> W. B r i g h a m, The volcanoes of Mouna Loa and Kilauea. Mem. of the Pauahi Bishop Mus. of Ethnol. and Nat. hist. Honolulu 1910.

<sup>2)</sup> R. A. D a l y, The Nature of volcanic action. Proc. of the Amer. Acad. of Arts and Sciences. Vol. XLVII, N 3, S. 48.

<sup>3)</sup> J. D a n a, On the volcanoes and volcanic phenomena of the Hawaiian Islands. Amer. Journ. of Science XXXIII—XXXVII, 1887—89.

<sup>4)</sup> E. S u e s s, 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 Punchbowl, 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 schuf<sup>1)</sup>. 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. Reck<sup>2)</sup> für ein isländisches Beispiel annahm, ist der Ausgangspunkt für die Dalysche 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 eindrang<sup>3)</sup> — sei es aufgepreßt durch sinkende Gebirgsschollen, sei es spontan infolge von Druckentlastung<sup>4)</sup> —, 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 Spalte<sup>5)</sup> an der Erdoberfläche nachweisen ließe.

---

<sup>1)</sup> Vgl. l. c. Profil S. 112.

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

<sup>3)</sup> 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.

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

<sup>5)</sup> 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 ungegliederten 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 Schleppen 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 Karte<sup>1)</sup> 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 gibt<sup>2)</sup>. Auf der anderen Seite leitet uns der Rücken

<sup>1)</sup> D a l y (l. c. S. 111) gibt einen Ausschnitt der Government map.

<sup>2)</sup> Der Nordzipfel der Insel wird gebildet durch den Vulkan Kōhala, 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. Daly<sup>1)</sup> führt diese Aufblähung auf die Intrusion aus dem Stammherd des Loa zurück, durch die jener selbständige Sekundärherd geschaffen<sup>2)</sup> 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 bemerkbar<sup>3)</sup>! 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

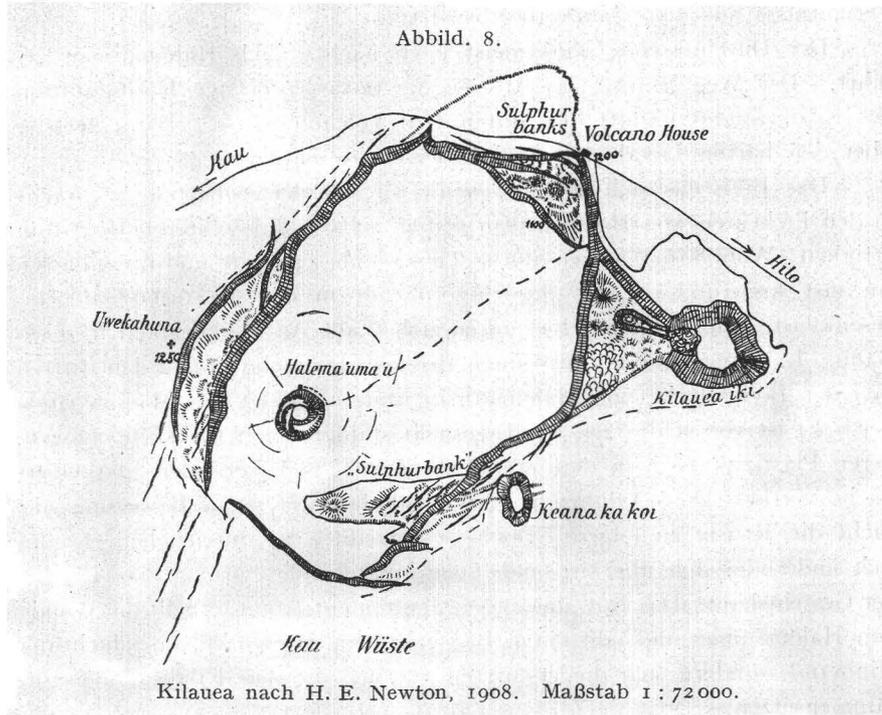
---

<sup>1)</sup> l. c. S. 112.

<sup>2)</sup> Siehe S. 182.

<sup>3)</sup> 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 *Z u s a m m e n s i n k e n* weißglühenden Gesteinsflusses eingeleitet wurden. So erhielt 1859<sup>1)</sup> 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.



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

<sup>1)</sup> Bericht von Professor R. C. Haskell in Brigham l. c. Auch 1843 (Coan) war der Loa tätig, Lavafontänen 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 Kawüste, 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 Kraterandes 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 m<sup>1)</sup> setzen dunkle Lavawände zur Tiefe und umschließen ein fast kreisrundes Loch, das unvermittelt in den Kraterboden<sup>2)</sup> 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)<sup>3)</sup> 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

---

<sup>1)</sup> Im Juli 1909 von J. M. Lydgate bestimmt zu 235 Fuß.

<sup>2)</sup> Hier folge ich meinen Beobachtungen vom Februar-März 1909.

<sup>3)</sup> Siehe bei Daly I. 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 Magmawelle 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. Brigham<sup>1)</sup> führt sie auf wässrigen Ursprung zurück. Auch W. Libbey<sup>2)</sup> 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!), verharret die übrige Seeoberfläche völlig ruhig; nur das langsame Fließen ist wahrnehmbar.

Die Erscheinung, die durch Spannung und Aufwölbung der Schlackenhaut vorbereitet wird, erinnert an das Aufsteigen und Zerplatzen großer Gasblasen, eine Deutung, die Dana zum erstenmal gegeben hat. Daly<sup>3)</sup> 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 Magmaherd führt. Halemaumau wird also zu einem flachen Seebecken 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.

---

<sup>1)</sup> 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.

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

<sup>3)</sup> 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<sup>1)</sup>).

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  $\text{SO}_2$ . 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  $\text{SO}_2$  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

---

<sup>1)</sup> „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 worden<sup>1)</sup>; 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 bestätigen<sup>2)</sup>. 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 umziehenden<sup>3)</sup>, qualmten außerordentlich stark, so daß dann die Zerrissenheit des Kraterbodens vorzüglich überblickt werden konnte. Die den Spalten des Kilauea-Randes entsteigenden Dampfwolken, 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 fehlen<sup>4)</sup>, so dürfen daraus doch nicht Schlüsse allgemeinerer Bedeutung oder Analogien abgeleitet werden.

---

<sup>1)</sup> Zum Beispiel im Jahre 1824, 1865 u. s. f.

<sup>2)</sup> A. Brun (Recherches sur l'exhalaison volcanique. Genf 1911) findet an Gasen im Basalt: HCl, SO<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, CO, H<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, Cl<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>. 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 H<sub>2</sub>O in Frage gestellt.

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

<sup>4)</sup> 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:  $3\text{FeO} + \text{H}_2\text{O} = \text{Fe}_3\text{O}_4 + \text{H}_2$ . Das von A. Brun gefundene H<sub>2</sub> 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 buntester 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 zuzuordnen<sup>1)</sup>. 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 verschiedenen 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-

---

<sup>1)</sup> 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 Regengrillen angesammelt<sup>1)</sup>.

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 Lavawänden<sup>2)</sup> 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 Kilauealake. 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 Lavaströmen Reste des ehemaligen Seeufers hervortreten.

Die Nähe von Halemaumau verrät sich durch die seinem Rande

---

<sup>1)</sup> 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.

<sup>2)</sup> 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 Loeruptionen 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 Jahren<sup>1)</sup> (1893), als das Magma aus Halemaumau überfloß. Libbey beobachtete, wie die Schlacken auf dem Lavasee durch ständige Strömungen<sup>2)</sup> 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

---

<sup>1)</sup> 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!

<sup>2)</sup> 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 Bewegungsbedingungen<sup>1)</sup> 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. Daly<sup>2)</sup> 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 Regenrillen 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 ihm Jahre 1789. Ob das grobe Material über ihnen einer späteren Phase dieser Explosion entspricht, bleibe dahingestellt. Jedenfalls sind sie nirgends von Laven überdeckt<sup>3)</sup>. Der

---

<sup>1)</sup> Stromgeschwindigkeit ist natürlich immer proportional dem Gefälle.

<sup>2)</sup> l. c. S. 116; die grobkristalline Masse liegt unter Uwekahuna.

<sup>3)</sup> 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 sich<sup>1)</sup>.

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.

<sup>1)</sup> 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 Krater- rand 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 Schlackenkegelchen<sup>1)</sup> 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 Pahoehoe erreichen. Auch hier im Süden finden sich also die als erstes Randphänomen beschriebenen Terrassen, wie wir sie am

---

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

Volcano house kennen gelernt haben. Da diese absitzenden Staffeln ihre ursprüngliche Neigung gegen Südwest bewahrt<sup>1)</sup> 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 zusammen<sup>2)</sup>. Ein Vergleich mit den Profilen in der Kau-Wüste läßt die Sulphur bank sogleich als eine abgesunkene Scholle, als ein eintauchendes Stück des Kraterandes 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 Kraterand anlehnt, sind ihre fast senkrechten Abbrüche wohl 10—15 m hoch; sie werden nach Westen zu immer niedriger, die Sulphur bank verschwindet, auf sie schieben sich schwarze Lavamassen mit wulstigem Stirnrand.

Es kann keinem Zweifel unterliegen, daß die Sulphur bank ehemals auch eine „Staffel“ war und von dem einstigen Kraterand, den wir hier zu suchen haben, in derselben Weise absank, wie dies in der Nähe des Keanakakoi<sup>3)</sup> oder an der Südeinfassung des Kilauea heute zu beobachten ist. Das Zurückweichen der Kraterwände tritt eklatant in die Erscheinung. Die Sulphur bank 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 geblieben<sup>4)</sup>.

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 Terrassen<sup>5)</sup> mit wenig über 15—20 m Sprunghöhe heraushebt, so werden wir dem Phänomen allgemeine Verbreitung zuschreiben und das Absinken der Kraterwände des Ki-

---

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

<sup>2)</sup> An der Sulphur bank finden sich die besten Tuffprofile.

<sup>3)</sup> Ostrand des Kilauea.

<sup>4)</sup> In der Tat ist die Sulphur bank 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.

<sup>5)</sup> 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 Druck<sup>1)</sup> 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 Magma<sup>2)</sup> 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

---

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

<sup>2)</sup> 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 Staffelzone etwa 700 m, an der „Sulphur-Bank“ 800 m; nehmen wir für den angestrebten Böschungswinkel etwa  $45^\circ$  (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  $60^\circ$  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 Schlot<sup>1)</sup> 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 Verengung 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 Keana koi. 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.

---

<sup>1)</sup> W. Pencik, Der geologische Bau des Gebirges von Predazzo. N. Jahrb. f. Min. Beilageband XXXII, 1911, S. 239.

Damit zeigen sie ein Charakteristikum für satellitische Eruptionsöffnungen<sup>1)</sup>. 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 Lavoberfläche: ein erstarrter See. 1868 brach der Boden auf, ein Lavasee erfüllte<sup>2)</sup> das steilumrandete Loch und erstarrte<sup>3)</sup>. 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 aufgebotenen Lavarand horizontal an jener hinzieht. (Vgl. Abb. 5). Diese Ufermarke setzt über die eingeströmten Lavaergüsse<sup>4)</sup> 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 Explosiverscheinun-

---

<sup>1)</sup> 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).

<sup>2)</sup> Also synchron mit der Loeruption.

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

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

gen abließen. Eine einmalige Explosion schafft den Schlot<sup>1)</sup>, der von unten her mit Magma gefüllt wird. Ohne vorherige Anzeichen brechen die Laven<sup>2)</sup> 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 (?) Fuß<sup>3)</sup> 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 Fuß<sup>4)</sup> 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 Küste<sup>5)</sup> 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

<sup>1)</sup> 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.

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

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

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

<sup>5)</sup> 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 behaltend, 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 Schlothe 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 aufwölbte, 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

---