

6. Über die Erscheinungsform eines submarinen Ergusses.

Von Herrn A. BORN.

(Mit 2 Textfiguren.)

Frankfurt a. M., den 15. Oktober 1921.

Trotzdem sich der größte Teil des Oberflächenvulkanismus submarin abspielt, sind Erscheinungsformen des submarinen Vulkanismus wenig bekannt.

Die in der Gegenwart seltene Gelegenheit, Lavaergüsse am Meeresboden oder in das Meer hinein zu beobachten, erschwert das Studium der dabei eintretenden, für diesen speziellen Fall des Oberflächenvulkanismus charakteristischen Erscheinungen. Die submarinen Ergüsse kommen den Intrusionen an einer Unstetigkeitsfläche gleich, jedoch mit dem Unterschied, daß hier die Intrusion an der Grenze von fest zu flüssig liegt. In bezug auf das Gebiet „fest“ ist der Erguß, also eine Extrusion, gleich denen der Erdoberfläche, wenn schon infolge der darüber ruhenden flüssigen Phase die Bedingungen der Abkühlung abweichende sind. Keineswegs ist nun die durch die besondere Art der Wärmeleitung bedingte äußere Erscheinungsform der submarinen Laven eine derart typische, daß sie gegenüber subaerisch ergossenen Laven ohne weiteres gekennzeichnet wären. Im Gegenteil, oft sind Laven, deren submariner Charakter durch konkordante Einschaltung in fossilführende marine Sedimente über allen Zweifel erhoben wird, in ihren makroskopisch erkennbaren Oberflächen- und Texturformen von solchen subaerischer Entstehung unmöglich zu unterscheiden.

Es unterliegt zunächst der Erörterung, worin die Ursachen für den Mangel verschiedener Ausbildung zu suchen sind. A priori sollte man annehmen, daß die Abkühlung der Laven sich subaquatisch infolge des besseren Wärmeleitvermögens des Wassers gegenüber der Luft schneller vollziehen wird. Auf diesen Umstand möchte v. WOLFF¹⁾ die schnellere Bildung einer glasigen Erstarrungskruste zurückführen, die nun ihrerseits als schlechter Wärmeleiter gegenüber subaerischen Ergüssen das Abfließen der Wärme

¹⁾ Vulkanismus, Bd. 1, S. 257.

in das Wasser hemmt. Die anfangs ermöglichte schnellere Abkühlung hatte eine Oberflächenstruktur zur Folge, die ihrerseits bewirkte, daß im ganzen die Abkühlungsbedingungen nicht viel anders sein konnten, als bei subaerischen Ergüssen.

Die postulierte glasige Erstarrungskruste ist jedoch keineswegs immer ausgebildet und es scheinen für die Textur- und Oberflächenausbildung der submarinen Lavaergüsse andere Faktoren nicht ohne Einfluß zu sein.

Heiße submarin sich ergießende Laven müssen, soweit sich der Erguß in geringerer Wassertiefe vollzieht, und soweit die Außentemperatur des Ergusses 100°C oder mehr beträgt, in Kontakt mit dem Wasser zu einer Verdampfung des Wassers führen. Sie werden sich mit einer Dampfhaube als instabile exogene Kontakterscheinung umgeben. Dadurch werden die Bedingungen der Wärmeleitung geändert. Die Dampfschicht, ein schlechterer Wärmeleiter als Wasser hemmt das leichte Abfließen der Wärme in das flüssige Medium. Die Lava hat also die Möglichkeit, sich relativ langsam abzukühlen. Die Erscheinung, die so unter gewissen Voraussetzungen eintritt, übereinstimmt mit den Vorgängen beim LEYDENFROSTschen Phänomen. Doch besteht ein wesentlicher Unterschied: der Wasserdampf besitzt im Wasser einen größeren Auftrieb als in der Luft, weswegen vermutlich eine wiederholte Loslösung der Dampfhaube von der Lavadecke stattfindet. Das aber führt zu besonders starkem Wärmeverlust.

Als Voraussetzung des Eintretens der LEYDENFROSTschen Dampfhaube über dem Lavaerguß gilt: Die Oberflächentemperatur des Ergusses muß so groß sein, daß der Siedepunkt des Wassers erreicht wird. In Tiefen nahe der Wasseroberfläche genügen Temperaturen von wenig mehr als 100°C . In je größerer Tiefe sich der Erguß vollzieht, um so höher muß die Temperatur sein, um eine Dampfschicht erzeugen zu können, da mit zunehmender Tiefe der Druck und damit der Siedepunkt steigt (siehe Tabelle). Ist jedoch die kritische Temperatur des Wassers (365°C) erreicht, so mag sich der Erguß in noch so großen Tiefen, also unter noch so hohem Druck vollziehen, stets wird die Dampfbildung eintreten. Die folgende Tabelle gibt das Ansteigen des Siedepunkts mit zunehmender Meerestiefe an. Aus ihr läßt sich entnehmen, bis zu welchem Grad der Abkühlung nach Erstarren des Ergusses die Dampfschicht bestehen bleibt.

Tabelle der Siedepunkte des Wassers bei zunehmender Meerestiefe²⁾.

Druck in		Meeres- tiefe in m	Temp. C	Druck in		Meeres- tiefe in m	Temp. C
mm	Atm.			mm	Atm.		
760	1	0	100 ⁰	15 960	21	200	216 ⁰
1 520	2	10	121 ⁰	16 720	22	210	218 ⁰
2 280	3	20	134 ⁰	17 480	23	220	220 ⁰
3 040	4	30	144 ⁰	18 240	24	230	223 ⁰
3 800	5	40	152 ⁰	19 000	25	240	225 ⁰
4 560	6	50	159 ⁰	19 760	26	250	227 ⁰
5 320	7	60	165 ⁰	20 520	27	260	229 ⁰
6 080	8	70	171 ⁰				
6 840	9	80	176 ⁰	25 080	33	320	240 ⁰
7 600	10	90	180 ⁰	29 640	39	380	250 ⁰
8 360	11	100	184 ⁰	35 720	47	460	260 ⁰
				43 320	57	560	270 ⁰
9 120	12	110	188 ⁰	50 160	66	650	280 ⁰
9 880	13	120	192 ⁰	58 520	77	762	290 ⁰
10 640	14	130	196 ⁰	67 640	89	880	300 ⁰
11 400	15	140	199 ⁰	77 520	102	1010	310 ⁰
12 160	16	150	202 ⁰	88 160	116	1152	320 ⁰
12 920	17	160	205 ⁰	100 320	132	1310	330 ⁰
13 680	18	170	208 ⁰	114 000	150	1487	340 ⁰
14 440	19	180	210 ⁰	126 920	167	1660	350 ⁰
15 200	20	190	213 ⁰	142 120	187	1856	360 ⁰

Laven mit Außentemperaturen von mehr als 365° C entwickeln in jeder Meerestiefe das LEYDENFROSTSche Phänomen, d. h. das Wasser wird in einen überkritischen, fluiden Zustand übergeführt. Bei Salzlösungen von der Zusammensetzung des Meerwassers wird gegenüber reinem Wasser eine Verlagerung der kritischen Temperatur nach oben stattfinden. Da der Schmelzpunkt des Diabas weit höhere Temperaturen erfordert (nach BARUS ca. 1168° C³⁾), so ist die Minimaltemperatur von 365° C stets garantiert. Die Voraussetzungen zur Bildung des wärmeerhaltenden LEYDENFROSTSchen Phänomens sind also stets gegeben. Es scheint hierin eine wesentliche Ursache dafür zu liegen, daß submarine und subaerische

²⁾ Zusammengestellt, und umgerechnet nach LANDOLT-BÖRNSTEIN: Phys.-chem. Tabellen, S. 122. Nicht berücksichtigt wurde die Verschiebung des Siedepunkts des Meerwassers, infolge des Salzgehalts, auf 100,56° C, ferner die mit der Meerestiefe zunehmende Dichte des Meerwassers. Die Temperaturzahlen sind auf ganze Ziffern abgerundet, der Druck einer Atmosphäre einer Wassersäule von 10 m gleichgesetzt (nicht 9,95).

³⁾ C. BARUS, Philos. Magazin, vol. 35, ser. 5. S. 186, 1893.

Lavenergüsse in ihrer textuellen und strukturellen Ausbildung keine prinzipiellen Unterschiede zeigen.

Über eine Ausnahme von dieser Regel, über einen Fall submarinen Ergusses, soll hier berichtet werden, der bemerkenswerte Erscheinungsformen zeigt. Es handelt sich um die Ausbildung einer Diabasdecke des Oberdevons, die nach den Erläuterungen zu Bl. Oberscheld von E. KAYSER (S. 47) zum Deckdiabas gerechnet wird. (In der neuesten Auflage des Lehrb. d. Geologie 1921, Bd. 2, S. 32, wird der Vorgang als Zerspratzungserscheinung aufgefaßt.) Von Bedeutung ist, daß die Diabasdecke einer Sedimentserie mariner Natur angehört.

Das Tatsachenmaterial ist das folgende: Der Steinbruch am Eingang eines kleinen nordwestlichen Seitentals des Scheldetals nördlich Oberscheld, am Südhang des Öllsbergs, zeigt bei seinem Betreten von W aus auf der nördlichen Seite anstehend und in einer großen Zahl riesiger Blöcke im Steinbruchboden ein eigentümliches, auf den ersten Blick breccienartiges Gestein. Scharfkantige, eckige, dunkle Diabasstücke von 3—7—12 cm Durchmesser, von polygonalem Umriß sind durch eine weiße grobkristalline Masse von Kalkspat miteinander verkittet (Fig. 1).

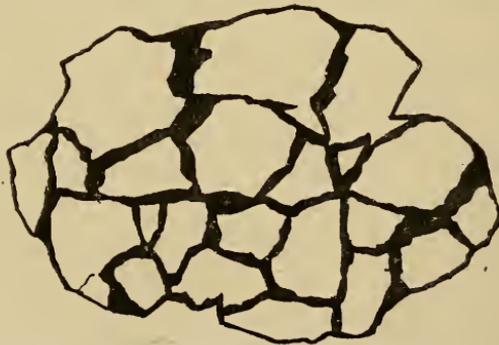


Fig. 1. Kontraktionsbreccie des Diabas.
weiß = Diabas; schwarz = Kalzitfüllmasse. $\frac{1}{2}$ nat. Größe.

Das Mengenverhältnis von Diabas und Kalkspat ist in den meisten dargebotenen Schnittflächen etwa 2:1. Die Erläuterung von Bl. Oberscheld faßt dieses Gestein als Resultat mechanischer Zerrüttung und Umformung durch Gebirgsdruck auf (S. 46—47). Es scheint, diese Deutung wird den Tatsachen nicht ganz gerecht. Zunächst fehlen die in diesem Gebiet sonst besonders charakteristisch aus-

gebildeten Begleiterscheinungen solcher Vorgänge: Gleitflächen, Harnische, Polituren. Alle Grenzflächen der Diabasstücke sind tektonisch völlig unberührt. Weiter ließ sich folgendes für die Genese wichtiges Ergebnis gewinnen: Die Begrenzungen je zweier gegenüberliegender Diabasstücke erscheinen meist parallel. Stärkere Vergrößerung erweist die Parallelität meist nur als eine angenäherte. Andererseits finden sich Schnitte durch das Gestein, die auch diese annähernde Übereinstimmung vermissen lassen. Eine Orientierung der großen zufällig im Steinbruch freiliegenden Flächen zur Stromoberfläche des Ergusses war nicht immer möglich. Dagegen gab eine Anzahl von Einzelblöcken Aufschluß über die Anordnung der Risse zur Abkühlungsfläche (Fig. 2).

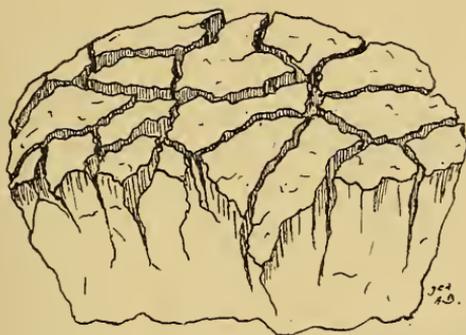


Fig. 2. Teil einer Stromoberfläche mit Kontraktionsrissen.
etwa $\frac{1}{2}$ natürl. Größe.

Hatte schon die Parallelität der Kluftflächen auf eine anfängliche Aneinanderlagerung der beiden Kluftflächen hingedeutet, so zeigte sich diese Vermutung weiterhin bestätigt. Erscheinungen, wie sie auf Fig. 2 wiedergegeben sind, können nur als Schrumpfung durch Abkühlung gedeutet werden. Die Oberfläche des Stücks allein betrachtet, würde eine Reihe isolierter Diabasstücke vermuten lassen, die sozusagen im Kalkspat schwimmen. Der Querschnitt zeigt, daß es sich um Klüfte handelt, die nach der Tiefe zu sich verzweigen und auskeilen. An den großen Blöcken im Steinbruch kann auch immer wieder festgestellt werden, daß die Diabasstücke oft irreguläre Prismen bilden, die konvergieren und sich zu größeren Komplexen vereinigen. Daneben finden sich auch völlig isolierte polygonale Stücke. In dieser Weise ist die ganze, mehrere

Meter mächtige Diabasdecke bei der Abkühlung durch Schrumpfung zerlegt worden, oder, wie ich sagen möchte, zerschrumpft. Sie bildet ein großes Trümmerhaufwerk.

Die Art der Zerschrumpfung ist eine völlig irreguläre. An der Stromoberfläche sind die Schrumpfrisse noch mehr oder weniger senkrecht zu dieser angeordnet, doch geht mit zunehmender Tiefe die Regelmäßigkeit mehr und mehr verloren. Die Isothermenflächen liegen in tieferen Teilen des Lavastromes der Stromoberfläche nicht mehr parallel, sondern werden durch Inhomogenität des Gesteins davon abgelenkt, was zum Teil die irreguläre Anordnung der Schrumpfrisse in den tieferen Stromteilen bedingt. Da die Steinbruchwände und die Begrenzungsflächen der großen Blöcke im Steinbruch keine orientierten Flächen sind, sondern die Isothermenflächen und somit die Flächen gleichzeitiger größter Schrumpfung diskordant schneiden, so sind die gegenüberliegenden Begrenzungen je zweier Diabasstücke meist nicht parallel. In diesen nicht orientierten Schnitten liegen sich Teile gegenüber, die niemals aneinander gelegen haben.

Anderseits läßt sich feststellen, daß völlige Parallelität auch an orientierten Schnitten nicht verlangt werden kann. Dieser Umstand ist durch die Art des Schrumpfungsvorgangs bedingt. Solange der Erguß in flüssiger Phase vorliegt, ist die Möglichkeit vorhanden, die durch Abkühlung bedingte Volumenminderung in horizontaler Richtung durch Verringerung der Höhe, d. h. der Mächtigkeit auszugleichen. Die räumliche Kontinuität des Ergusses bleibt so gewahrt. Die Zerschrumpfung jedoch muß als ein Vorgang angesehen werden, der bei Abkühlung eines Lavastroms einsetzt, wenn die Lavamasse eine derartige Konsistenz angenommen hat, daß sie durch einfaches Geringermächtigwerden den entstandenen Volumenverlust nicht mehr auszugleichen vermag. Die flüssige Phase, die hierzu noch befähigt ist überwunden. Mit dem Moment der Erstarrung hört diese Art des Ausgleichs auf. Die dann einsetzende Schrumpfung vollzieht sich zentripetal auf punkt- oder achsenartige Zentren, wie wir sie in den Zentren oder Achsen der sich ergebenden irregulären Gebilde erkennen. Die entstehenden Zerreiβungsflächen sind von großer Unregelmäßigkeit. Punkte dieser Zerreiβungsflächen, die einander benachbart lagen, werden infolge Schrumpfung nicht in einer geraden Linie voneinander entfernt, sondern machen

infolge räumlicher Schrumpfung jedes einen Weg gegen sein Schrumpfungszentrum. Infolgedessen finden Schrumpfungen und Verzerrungen der ursprünglich aneinander gelegenen Zerreißungsflächen statt, derart, daß im orientierten Schnitt nur noch annähernde Kongruenz der Flächen besteht.

Das Ausmaß der Schrumpfung ist bedingt durch den Volumverlust der Materie beim Übergang von der flüssigen zur festen Phase. Zwei Wege sind gangbar zur Feststellung des Betrags der Kontraktion: 1. der synthetische, d. h. das Experiment, die Messung an bei hoher Temperatur zum Schmelzen gebrachten Magmen. Direkte Beobachtung am Ergußort extrusiver Magmen dürfte selten in Frage kommen. 2. der analytische Weg, die direkte Messung des Schrumpfungsbetrags an erkalteten Laven.

Der Weg des Experimentes ist wiederholt begangen worden. C. BARUS⁴⁾ hat den Kontraktionsbetrag des Diabases beim Erstarren experimentell mit 3,9 % festgestellt. Die Dichte des erstarrten Diabases war um 8 % größer als die der Schmelze. H. E. BOEKKE⁵⁾ hat darauf aufmerksam gemacht, daß gegen die Methode und Interpretation von BARUS Einwände berechtigt sind. Neuere Untersuchungen über die Kontraktion von Diabas haben denn auch wesentlich andere Ergebnisse gezeitigt. DAY, SOSMANN und HOSTETTER⁶⁾ stellten fest, daß sich die Kristallisation von Diabas unter einem Verlust von 10,9 % des Volumens der Schmelze vollzieht. Dabei ist zu bedenken, daß bei derartigen Experimenten ein Material zum Ausgangsprodukt genommen wird, das seiner flüchtigen Bestandteile beraubt ist. Das Experiment ist nicht in der Lage, die natürliche Zusammensetzung des Diabasmagmas zu rekonstruieren. Die während der Erstarrung entweichenden Exhalationen sind ein Faktor, dessen Berücksichtigung bei diesem synthetischen Weg unmöglich ist.

Der zweite Weg der Messung des Schrumpfungsbetrags, der analytische durch Messung an günstig überliefertem magmatischen Material konnte

⁴⁾ Philos. Magazin, vol. 35, ser. 5, S. 188, 1893 und Ü. S. Geol. Surv. Bull., S. 103, 1895.

⁵⁾ H. E. BOEKKE: Grundlagen der phys.-chem. Petrographie, 1915, S. 47.

⁶⁾ Amer. Journ. of Sciences, vol. 37, ser. 1, 1914.

von mir eingeschlagen werden. Wie bei den erwähnten Versuchen handelt es sich auch hier um einen Diabas. Dabei sind zwei Messungen möglich:

Man mißt auf völlig beliebig orientierten Flächen der großen Blöcke im Steinbruch auf möglichst vielen geraden Strecken den Betrag der Beteiligung von Kalkspat und von Diabas. Auf diese Weise erhält man annähernde Durchschnittswerte des Anteils der beiden Komponenten. Der Durchschnitt ist etwa $\frac{2}{5}$ Anteile Kalkspat und $\frac{3}{5}$ Anteile Diabas (genaueres Durchschnittsergebnis von 10 Messungen 39,625% CaCO_3 , die Extreme waren 35,4 und 44,2 %), was einer Kontraktion von etwa 40 % bei der Erstarrung gleichkommt.

Den weniger sicheren Weg bietet die andere Methode: Auflösung der Kalkspatfüllmasse, z. B. mittelst verdünnter Essigsäure aus einem Gesteinsblock und Messung des Volumverlustes. Das Ergebnis ist, wenn nicht sehr große Blöcke genommen werden, was experimentell schwierig durchführbar, mit abnehmender Blockgröße infolge von Zufälligkeiten von steigender Ungenauigkeit. Bei drei Blöcken von etwa je 2000 cm^3 Inhalt wurden Kontraktionsbeträge zwischen 15 % und 20 % festgestellt.

Erwähnenswert ist die bei diesen Lösungsversuchen gemachte Feststellung, daß der Diabas oft zu einem Trümmerhaufen loser Stücke zerschumpft ist, die nicht mehr in Verbindung miteinander stehen. Oft sind jedoch schmale Brücken und Verbindungen zwischen den einzelnen Stücken vorhanden. So ergibt sich, daß eine allseitige Kontraktion stattgefunden haben muß, nicht nur eine solche parallel zur Auflagerungsfläche des Diabases, wie man es etwa nach Stücken, wie Fig. 2 anzunehmen versucht, sein könnte.

Die durch Auslösung gewonnenen Beträge an Kontraktion möchte ich immerhin trotz ihrer Ungenauigkeit höher einschätzen, als die durch direkte Messung an den Blockwänden erzielten. Wir würden den Betrag von 16 % zunächst als Durchschnittswert für die Kontraktion in diesem speziellen Fall annehmen. Der Wert ist um die Hälfte größer als der von DAY, SOSMANN und HOSTETTER gefundene, welche Tatsache im folgenden noch besonderer Erwähnung bedarf.

Ursachen der Kontraktion. Andere submarin ergossene Diabaslaven zeigen nun keineswegs die starke Zerschumpfung, lassen solche meist völlig vermissen. Man

ist versucht, dieses verschiedene physikalische Verhalten auf Verschiedenheiten des Materials zurückzuführen. Dem widersprechen die Tatsachen. Das mikroskopische Bild der zerschrumpften Diabasmassen zeigt keine wesentlichen Abweichungen in seinem Mineralbestand gegenüber den sonstigen devonischen Diabasen des Dill-Lahngbiets. Die Ursachen für die Zerschrumpfung des Diabasstroms müssen andere sein.

Gegenüber anderen Diabaslaven fällt zunächst die Armut oder der gänzliche Mangel an Blasenräumen auf. Blasenräume sind der Indikator für schnelle Abkühlung und dadurch veranlaßte Zurückbehaltung der innerhalb der flüssigen Phase bereits ausgeschiedenen gasförmigen Phase. Als Folgen veränderten Druckes und veränderten Wärmeausgleichs trifft man Blasen Hohlräume vorwiegend bei extrusiven Magmen. Fehlen sie wie im vorliegenden Fall, ausnahmsweise bei solchen, während sie bei den gleichen Laven der Nachbarschaft vorhanden sind, so ist man genötigt, besonders langsame Abkühlung anzunehmen. Wir sind also zunächst veranlaßt, einen Faktor ausfindig zu machen, der die in diesem Fall besonders langsame Abkühlung verständlich macht.

Die Lagerungsverhältnisse im Steinbruch zeigen, daß die Kontraktionsbreccie von einer Tuffmasse überlagert wird, die als Auswürfsprodukt im Anschluß an den Lavaerguß anzusehen ist. Der Mangel einer Zwischenschaltung von terrigen-sedimentärem Material zwingt zu dieser Auffassung. Diesem Tuff folgt eine Wiederholung von Lavaerguß mit ähnlichen Kontraktionserscheinungen und anschließenden Tuffauswürfen.

Diese Tuffmassen scheinen wärmeerhaltend auf den Erguß eingewirkt zu haben. Die direkte Wirkung dieses Faktors braucht nur gering gewesen zu sein. Er brauchte die Entgasung der Lava nur wenig über das normale Maß hinaus zu steigern. Da mit dem Entweichen der Gase eine Wärmeentwicklung verbunden ist, so wirkte dieser thermische Effekt weiterhin günstig im Sinne einer Entgasung. BOEKE⁷⁾ wies darauf hin, daß bei Lavaergüssen an Tagen starker Gasentwicklung die Lavoberfläche um etwa 100° C heißer beobachtet wurde als an solchen mit geringer Exhalation. Die Abkühlung der Lava erfährt somit durch die Gasreaktion zunächst eine

⁷⁾ a. a. O., S. 229.

erhebliche Verzögerung, ebenso die Erstarrung. Der Kristallisationspunkt (im Experiment 1150°), der bei normaler Erstarrung des Diabases nach einer Zeit $a+n$ ein, wobei n die durch die besonderen geologischen Verhältnisse bedingte zeitliche Verzögerung bedeutet. So wird Zeit gewonnen für die fast völlige Entgasung der Lava, oder richtiger für die Abgabe der bereits ausgeschiedenen gasförmigen Phase der Lava. Ein kleiner Bestandteil bleibt auch in der festen Phase noch gelöst, wie wiederholt experimentell, am Diabas z. B. von BARUS (a. a. O.) festgestellt worden ist.

Diese fast völlige Befreiung von der gasförmigen Phase bedeutet für die Lava einen erheblichen Volumverlust. Wir kennen Diabaslaven, wie z. B. der mitteldevonische Diabasmandelstein vom Appersberg bei Nanzenbach (Blatt Dillenburg), in denen die Beteiligung der Blasenräume am Gesamtvolumen des Gesteins etwa 50 Prozent ausmacht. So wirkten zwei Faktoren volumvermindernd: 1. die Dichtevergrößerung bei der Kristallisation, die zu der experimentell festgestellten Volumverringernng von 10,9 Prozent führte, und 2. das Entweichen der Gasphase.

Solange nun die Temperatur des Ergusses über dem Schmelzpunkt des Gesteins liegt, ist ein Entweichen der gasförmigen Phase zwanglos in der Weise möglich, daß der Schmelzfluß an Mächtigkeit abnimmt, d. h. eine Kontraktion in der Horizontalen wird durch die Wirkung der Schwere auf die Schmelze ausgeglichen. Das räumliche Kontinuum des Ergusses bleibt gewahrt. Je kürzer vor der völligen Auskristallisation das Entweichen der Gase stattfindet, umso weniger besteht die Möglichkeit eines Ausgleichs und eines Fortbestehens des Zusammenhangs der Lava. Doch muß betont werden: Solange das Entweichen der Gase möglich war, solange muß auch der Schmelzfluß die Fähigkeit besessen haben, Volumverminderungen horizontal auf Kosten der Vertikalen auszugleichen.

Der in vorliegendem Fall zu besonders starker Volumverminderung führende Faktor, die verfangsante Abkühlung, war somit vor der Erstarrung wirksam und kann an sich die starke Kontraktionserscheinung nicht erklären, die entweder erst im Moment oder nach der Erstarrung einsetzte.

Man könnte daran denken, daß es sich hierbei um Vorgänge des Zerfalls handelt, wie sie von Hochofenschlacken bekannt sind, und die zum Teil mit der Bezeich-

nung Zerrieselung belegt werden. I. H. L. VOGT hat⁸⁾ derartige Erscheinungen beschrieben. Schlacken, die sich der Zusammensetzung Ca_2SiO_4 nähern, fließen aus dem Ofen, kristallisieren und zerfallen dann bei der Abkühlung zu Staub, dem sog. Hüttenmehl. A. L. DAY und E. S. SHEPHERD⁹⁾ haben die Erscheinung geklärt. Es handelt sich um Umwandlungen von α - zu β - zu γ - Ca_2SiO_4 , deren Dichten mit 3,27, 3,28 und 2,974 angegeben werden.

Die Ursache des Zerfalls ist also eine Volumveränderung der einzelnen Mineralkomponenten. Spannungen an den Grenzflächen der Komponenten führen dann zu dem staubartigen Zerfall des Erstarrungsproduktes. Derart sind aber die beobachteten Erscheinungen der Kontraktion nicht. Nicht um Zerlegung bis zur Korngröße der homogenen Komponenten, sondern um solche zu größeren heterogen zusammengesetzten Komplexe handelt es sich. Diese aber sind nicht gut auf Umwandlungen der Mineralkomponenten zurückzuführen.

Es sind jedoch aus der Verhüttungstechnik andere Zerfallserscheinungen bei Schlacken bekannt, die eher als Analoga zu den Kontraktionsformen des Diabases in Betracht kommen. Es ist vielfach zu beobachten, daß die Zerrieselung zu staubförmigem Hüttenmehl; die K. ENDELL¹⁰⁾ übrigens der Umwandlung instabiler, bei langsamer Abkühlung gebildeter Melilithmischkristalle zuschreibt, auf den Kern großer Schlackenblöcke beschränkt ist, der sich langsamer abkühlt als die äußere Kruste. (Bei künstlichen Orthosilikatschmelzen hat P. HERMANN¹¹⁾ festgestellt, daß die Zerrieselung erst unterhalb der Rotglut stattfindet.) Die Kruste dagegen enthält instabile Melilithe, die bei schneller Abkühlung gebildet, eine größere Beständigkeit zeigen. Die Kruste zerfällt meist innerhalb zwei Wochen zu großen Blöcken unregelmäßig prismatischer, oft basaltähnlicher Form. Gestützt auf ältere Versuche von P. HERMANN¹²⁾, der die zerrieselungshemmende Wirkung von Magnesia bei künstlichen (CaCO_3 , SiO_2 , und MgO) Schmelzen erkannte, stellte ENDELL experimentell fest, daß bei Kalziumorthosilikatschmelzen auch MnO und Fe_2O_3 eine zerrieselungsver-

⁸⁾ In: DOELTER, Handbuch der Mineralchemie, Bd. 1, S. 953.

⁹⁾ Amer. Journ. of Sciences, vol. 22, 1906.

¹⁰⁾ K. ENDELL, über den Zerfall von Hochofenschlacken. Stahl und Eisen, 1920, Bd. 40, S. 213.

¹¹⁾ Diese Zeitschr., 1906, Bd. 58, S. 396.

¹²⁾ Ebenda, S. 402.

hindernde Wirkung haben, ebenso der steigende Gehalt an Tonerde. Daß in den großen Schlackenblöcken randlich keine Zerrieselung stattfindet, ist nach ENDELL die Folge der schnellen Diffusion von MnO und Fe_2O_3 zu den Abkühlungsflächen, so daß sich zerrieselungshindernde Bestandteile hier anreichern. (a. a. O., S. 260.) Hier bilden sich die infolge hohen MnO - und Fe_2O_3 -Gehalts stark licht- und doppelbrechenden Melilithe, die fast nie Zerfallerscheinungen zeigen (ENDELL, S. 216). So ist es das relative Vorwalten von CaO , das die Zerrieselung begünstigt.

Die Zerfallsgeschwindigkeit scheint umso größer, je mehr CaO in der Schmelze. Darin liegt eine Parallele zum Zerfall der Diabaslava, wo wir mit der Zerfallerscheinung die starke Kalziumkarbonatabscheidung verknüpft sehen. Dieser randliche Zerfall der großen Schlackenblöcke zu basaltähnlichen unregelmäßigen Prismen wird als Stückenschlacke bezeichnet. Auch H. PASSOW¹³⁾ gibt für die Stückenschlacke geringen Kalk- und Kieselsäuregehalt an.

Zum Vergleich mit den Erscheinungen der Kontraktionslava ist schließlich noch die granuliert Form basischer Hochofenschlacken von Interesse. Solche, feuerflüssig in Wasser geleitet, erstarren zu einem scharfkantigen Sand, d. h. die Schlacke wird granuliert. Ein Verfahren, das zur Gewinnung hydraulischer Schlacken für die Zementbereitung Verwendung findet. Das *tertium comparationis* ist hier das Zusammentreffen eines Schmelzflusses mit Wasser. Die relativ schnelle Abkühlung führt bei granulierten Schlacken zur Bildung von Silikaten, die labiler, als solche bei langsamer Erstarrung¹⁴⁾. Ein weiterer interessanter Vergleichspunkt ist der, daß bei diesem Vorgang Kalziumkarbonat im Wasser ausgeschieden wird¹⁵⁾. Ferner hat THEUSSNER¹⁶⁾ festgestellt, daß granuliert Schlacken leichter angreifbar sind als andere. Lösungsmittel wie Salzsäure, oder Ammonium- und Magnesiumchlorid lösten bis 14 Prozent Kalziumkarbonat, ohne daß SiO_2 in Lösung ging, weswegen THEUSSNER auf Anwesenheit von freiem Kalziumkarbonat in den Schlacken

¹³⁾ H. PASSOW, Die Hochofenschlacke in der Zementindustrie. Würzburg 1908, S. 15.

¹⁴⁾ G. LUNGE, Zeitschr. f. angew. Chemie, 1900, S. 409.

¹⁵⁾ R. SCHÖFFEL, Österr. Zeitschr. f. Berg- u. Hüttenwesen, Bd. 52, S. 452—454.

¹⁶⁾ THEUSSNER. Beiträge zur Erweiterung der bisherigen Kenntnis von der Konstitution der natürlichen und künstlichen Schlacken. Diss. Berlin 1908, S. 17.

und nicht auf Zerlegung CaO-haltiger Silikate schließt. Auch das ist ein Analogon zum Kontraktionsdiabas. Die chemische Zusammensetzung vieler basischer Hochofenschlacken kommt der des Diabases so nahe, daß man fast von homologen Verhältnissen reden kann.

Diese Vorgänge des Zerfalls bei Hochofenschlacken bieten eine Erklärungsmöglichkeit für den Zerfall des Diabases. Allerdings sind die Ursachen des Zerfalls keineswegs klargelegt. Der Komplex der in Frage kommenden Faktoren ist so groß, daß sich bei den wenigen vorhandenen Vergleichsgelegenheiten die Bedeutung der einzelnen Faktoren schwer abwägen läßt. In Frage kommen besondere chemische und besondere physikalische Verhältnisse. Bei ersteren ist vielleicht ein übernormaler Bestand von CaCO_3 von Einfluß. Bei letzteren, und diese dürften die entscheidenden sein, waren es die ganz besonderen thermischen Verhältnisse, die Art der Abkühlung an dieser Lokalität, die zur Kontraktion gerade hier führten. —

Die Bildung von Kalkspat in den Kontraktionsspalten findet in der gleichen Weise ihre Erklärung, wie die des Kalkspats in den Blasenräumen des Diabases. Letztere sind zumeist ausschließlich mit Kalkspat, selten mit Schwefelkies und Chlorit angefüllt. Quarz fehlt stets. Die Ausscheidung von Kalziumsilikat als CaSiO_3 und seine Zerlegung in Quarz und Kalziumkarbonat bei Anwesenheit von Kohlensäure kommt nicht in Frage, da in den Blasenräumen der Diabase Bildungen von Kieselsäure fehlen. R. BRAUNS hat schon immer diesen Kalkspat als primäre Bildung bei der Erstarrung aufgefaßt¹⁷⁾.

Im vorliegenden Fall, wo die Möglichkeit des Entweichens der flüchtigen Bestandteile gegeben war, kam daher der Kalkspat nicht in den Hohlräumen, sondern in den Kontraktionsspalten zur Abscheidung. Betrachten wir den Mineralbestand der Kontraktionsspalten, so finden wir vorherrschend Kalkspat in sehr grobkristalliner Form. Daneben in Durchwachsung mit Kalkspat, aber stets in seinen ältesten Teilen, selten sehr kleine Aggregate von kleinen Quarzkristallen, deren Massenverhältnis zum Kalkspat derart ist, daß man letzteren unmöglich als Zerfallsprodukt ursprünglich vorhandenen Kalziumsilikats ansehen kann. Weiter treten Nadeln von Chlorit in sphärischer Anordnung auf, zusammen mit Aggre-

¹⁷⁾ Neues Jahrb. f. Min. 1909, B.-Bd. 27, S. 289.

gaten von gut ausgebildeten Eisenglanzkristallen. Sie sitzen meist den Klufflächen direkt auf, gehören somit zu den ältesten Kluffbildungen. Innerhalb der Kalkspatmassen treten amorphe Roteisenflöckchen auf¹⁸⁾, die von den Kalkspatkristallen umschlossen werden. Als wichtigster Bestandteil der Füllmasse fand sich eingesprengt in den Kalkspat ein rosa gefärbtes Mineral, das sich makroskopisch als Feldspat (wahrscheinlich Orthoklas) bestimmen ließ. Das mikroskopische Bild zeigte ein Stadium weitgehender Zersetzung zu einem feinkristallinen glimmerreichen Gefüge, das nur gelegentlich die Spaltrisse des Orthoklas erkennen ließ. Eine chemische Untersuchung mußte unterbleiben, wollte man nicht das gesamte Material opfern. Wir haben hier also einen der nicht gerade häufigen Fälle einer natürlichen hydrothermalen Feldspat(Orthoklas?)-Bildung vor uns.

Diese Feststellung ist für die Genese des die Diabasbreccie verkittenden Kalzitzementes neben der Bildung der anderen Mineralien von Bedeutung. Das Gefüge und die Art der Einsprengung des Feldspats beweisen die gleichzeitige Bildung mit dem Kalzit. Wir sind über die Bildungstemperatur des Orthoklas wenigstens im großen ganzen orientiert. FOUQUÉ und MICHEL LÉVY ist die hydrothermale Synthese von Orthoklas durch Einwirkung von überhitztem Wasser auf Glas gelungen (H. E. BOEKE, Grundlagen der physikalisch-chem. Petrographie, 1915, S. 155). Neben Quarz, Albit und Analcim ist Orthoklas das hydrothermal leichtest darstellbare silikatische Mineral¹⁹⁾. Als Bildungstemperatur geben NIGGLI und MOREY das Intervall zwischen 300° und 550° C²⁰⁾ an. In dieses Intervall fällt somit

¹⁸⁾ Die im Kalkspatgefüge unregelmäßig verteilten Roteisenflocken sind gelegentlich zonar angeordnet, gelegentlich auch den Kristallflächen angehäuft aufgelagert und bei weiterem Wachstum eingeschlossen. Die gar nicht geringen Mengen von Roteisen scheinen für die Bildung der stets an Diabase bzw. Schalsteine geknüpften Roteisenerzlager von Bedeutung. Zunächst bestätigt sich hier die Auffassung ihrer syngenetischen Entstehung. Weiter wird ihre primäre Ausfällung als Roteisen in Gelform hierdurch bestätigt (vgl. hierüber F. MICHELS, Die Bildung des Roteisensteins von Nanzenbach. Senckenbergiana Bd. III, 1921).

¹⁹⁾ Vgl. hierüber P. NIGGLI und G. W. MOREY, Zeitschr. f. anorgan. Chemie, Bd. 83; G. W. MOREY, ebenda, 1914, Bd. 86, S. 305.

²⁰⁾ Vgl. auch P. NIGGLI, Die leichtflüchtigen Bestandteile im Magma. Leipzig 1920, S. 210.

auch die Bildung der Kalkspatfüllmasse, die so in den Bereich hydrothermalen Bildung zu rechnen ist.

Der Vorgang der Bildung der Füllmasse dürfte annähernd folgenden Verlauf genommen haben: Die Exhalationen der Diabaslava, in erster Linie CaCO_3 , wurden von dem überhitzten, in fluidem Zustand befindlichen Wasser aufgenommen und in Lösung übergeführt, wahrscheinlich bei sehr hohen, dem Schmelzpunkt des Diabases nicht allzufern liegenden Temperaturen. Aus dieser Lösung schieden sich im Temperaturintervall $550^\circ\text{—}300^\circ\text{C}$ zuerst Chlorite, Quarz, Eisenglanz, dann Kalkspat und Eisenglanz, ferner noch mit Kalkspat gemeinsam der Feldspat (Orthoklas?) aus. Die Bildung der Mineralien vollzog sich nicht als Sublimation, sondern auf dem Umweg über die hydrothermale Lösung.

Die innige Verknüpfung mit Mineralien exhalationärer Entstehung deutet für das Roteisen auf gleiche Herkunft als Exhalationsprodukt der Diabasläven. Das Fehlen terrigen-sedimentären Materials ist eine weitere Stütze. —

Chlorit, Eisenglanz und Quarz als derartige indirekte Exhalationsprodukte aufzufassen, sind wir auf Grund anderweitiger Erfahrungen gewohnt. Kalziumkarbonatdämpfe gehören dagegen zu den weniger häufigen Bestandteilen magmatischer Exhalationen, und dieselben als eine Zerfallskomponente von Kalziummetasilikat aufzufassen, hatten wir vorher von der Hand weisen müssen. Es wurde nun von R. BRAUNS²¹⁾ darauf aufmerksam gemacht, daß diesen Diabasen ein sehr hoher Gehalt an Kalziumkarbonat eignet. Die Auffassung von R. BRAUNS geht dahin, daß dieser Anteil an Kalziumkarbonat nicht ein primärer Bestandteil des Diabasmagmas ist, sondern von diesem beim Durchbrechen oder Überfließen von Kalklagern übernommen wurde.

Seit den Versuchen H. E. BOEKES wissen wir, daß eine derartige Aufschmelzung von Kalk unter entsprechenden Druck- und Temperaturverhältnissen möglich ist. Es gelang BOEKE²²⁾, den Schmelzdruck (Kohlensäuredruck) des Kalziumkarbonats mit etwa 110 Atm., den Schmelzpunkt mit 1289° festzustellen. Schon bei $1275^\circ\text{—}1280^\circ$ tritt teilweise Dissoziation zu CaO und CO_2 ein. Da der Schmelzpunkt des Diabases bei etwa 1168° liegt, dürfen wir für den Moment des Aufsteigens oder direkt beim Erguß Tem-

²¹⁾ Neues Jahrb. f. Min. 1907, B.-Bd. 27, S. 289.

²²⁾ Neues Jahrb. f. Min. 1911, I, S. 102.

peraturen von über 1300° annehmen. Die Druckverhältnisse sind schwer zu beurteilen. Die für den Druck von 100 Atm. notwendige Meerestiefe von etwa 1000 m hat zweifellos nicht bestanden. Andererseits dürften besonders beim Durchbruch eines Magmas äußerst hohe Gasspannungen entstehen.

Es ist anzunehmen, daß bei höherer Temperatur (als 1300°) der Schmelzpunkt des Kalziumkarbonats bei weit geringerem Druck erreicht wird. Im übrigen sind die Experimente mit reiner Substanz angestellt worden. Verunreinigungen wirken im allgemeinen Schmelzpunkt erniedrigend. Bei sehr niederem Druck, wie er infolge geringerer Meerestiefe wahrscheinlich am damaligen Meeresboden geherrscht hat (etwa 20 Atm. = 200 m), war jedoch bei Temperaturen etwas über dem Schmelzpunkt des Diabases (etwa 1168° C) der des Kalziumkarbonats noch nicht erreicht, wie unter anderem das Vorkommen von Kalkschollen in Diabaslaven des Oberdevons an der Westerwaldbahn Herborn-Driedorf zeigt (E. REUNING, N. J. f. Min. B. Bd. 24, 1907, S. 416).

Das Kalziumkarbonat wurde in Gasform vom Magma als Lösung aufgenommen. Das entstandene Phasengemisch ist als Erscheinung einer endogenen instabilen Kontaktmetamorphose anzusehen. Mit einsetzender Abkühlung war dieses Phasengemisch nicht mehr stabil, und es erfolgte die Ausscheidung in Form von Kalziumkarbonatdämpfen, die bei sehr schneller Abkühlung des Ergusses in Blasenräumen erhalten blieben, bei relativ langsamer Abkühlung, wie im vorliegenden Fall, entweichen konnten. Das Kalziumkarbonat machte also unter Vermittlung der gasförmigen Phase eine Wanderung vom Liegenden zum Hangenden des Ergusses. Es passierte die Lava. Stabile Erscheinungen endogener Kontaktmetamorphose, d. h. bleibende Veränderungen des Mineralbestandes der Lava würden bei dieser Durchwanderung der Lava von Kalziumkarbonatdämpfen nicht herbeigeführt.

Der Kalkspat der Kontraktionsklüfte ist also ein Exhalationsprodukt des Magmas, von diesem sekundär aufgenommen. Die Entmischung der Lava mußte bei Temperaturen unterhalb der Aufschmelztemperatur des Kalks durch den Diabas statthaben, die Ausscheidung der CaCO_3 -Dämpfe nach oben bei noch niedrigerer Temperatur, da sonst keine Veranlassung zur Störung des stabilen Zustands vorhanden war. Der CaCO_3 -Dampf bildete wahrscheinlich mit dem

über der Lava befindlichen Wasserdampf ein Gemisch unter Beteiligung anderer Exhalationsprodukte (Chlorite, Eisenglanz, SiO_2). Die Abkühlung ging alsdann herab bis zum Siedepunkt der betreffenden Meerestiefe. Machen wir die vage, aber doch nicht außerhalb der Möglichkeit liegende Annahme, daß die Tiefe des Oberdevonmeers in der betreffenden Gegend etwa 200 m betrug, so gehört dazu ein Druck von etwa 21 Atm. und ein Siedepunkt von 216° , d. h. bei dieser Temperatur geht die gasförmige Phase des Wassers in die flüssige über²³).

Da die Ausscheidung von Feldspat (Orthoklas?) sich im Intervall 300° — 550° C vollzog und die der anderen Mineralien schon früher (Eisenglanz, Chlorite, Quarz und Kalzit zum Teil), so würden sich bei der oben gemachten Annahme einer Meerestiefe von 200 m die Mineralien aus dem gasförmigen, wahrscheinlich aus dem fluiden, überkritischen Zustand des Wassers ausgeschieden haben. Doch gehören diese Überlegungen bereits in das Gebiet der Spekulation.

Mit Sicherheit ist lediglich festzustellen, daß die Diabasbreccie ein Schrumpfungserzeugnis der Erstarrung, und daß die Füllmasse als hydrothermale Bildung anzusehen ist.

7. Über das Interglacial von Neuenburg a. d. Weichsel.

Von Herrn P. SONNTAG.

(Mit 1 Textfigur.)

Danzig, den 9. Oktober 1921.

Bei der großen Wichtigkeit, welche die interglaciale Eemfauna von Neuenburg (Westpreußen) für die Beurteilung der ganzen Interglacialfrage hat, mögen hier einige Beobachtungen mitgeteilt werden, die ich bei mehrtägigem Aufenthalt vor kurzem in Neuenburg am Steilufer der Weichsel, speziell am Steilhange der zur Weichsel ausmündenden „HÜBSCHMANNschen Parowe“ machen konnte. Es

²³) Wir sehen hier von der Beeinflussung des Siedepunktes durch die anderen Komponenten des Gasgemisches ab.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft](#)

Jahr/Year: 1922

Band/Volume: [74](#)

Autor(en)/Author(s): Born Axel

Artikel/Article: [6. Über die Erscheinungsform eines submarinen Ergusses. 101-117](#)