

# Schnelle Lavaströme

Kein anderes geologisches Ereignis fasziniert die Menschen so, wie der Ausbruch eines Vulkans. Meist verbindet man mit Vulkanen gewaltige Aschefontänen, die kilometerhoch in die Atmosphäre geschleudert werden. Oder man denkt an Lavaströme, die den Berghang herabfließen. Doch hängen diese beiden vulkanischen Erscheinungen selten zusammen: die Aschefontänen sind Kennzeichen eines explosiven Vulkanismus, wobei sich im Innern des Vulkans durch magmatische Gase oder eindringendes Wasser ein Überdruck aufgebaut hat, bei dessen Entladung Teile des Berges zu Asche fragmentiert werden. Bei einer derartigen Eruption muß, wie beim Ausbruch des Mount St. Helens im Jahr 1980, kein Magma ausfließen. Eher dünnflüssige Lava ist kennzeichnend für den sogenannten basischen Vulkanismus. Die Lava hat eine andere chemische Zusammensetzung und ist einige Hundert Grad heißer. Wegen der Dünnflüssigkeit der Lava können sich keine steilen Vulkankegel ausbilden, und das Ausfließen ist selten von einer Vulkanexplosion begleitet. Beispiele für diese Art von Vulkanismus finden sich auf Hawaii und in Island.

In der Erdvergangenheit fanden die uns heute vertrauten vulkanischen Ereignisse ebenfalls statt, häufig mit einer Intensität und Ausdehnung jenseits unseres Erfahrungshorizontes. Dies gilt insbesondere für die Flutbasalte, die auch Plateaubasalte genannt werden. Zahlreiche Lavaergüsse haben Basalt-Provinzen geschaffen, die mehrere Hunderttausend Quadratkilometer bedecken und rund 2 km mächtig sein können. Zu den bekanntesten Flutbasalt-Provinzen zählen der Karoo-Basalt in Südafrika, der Deccan-Trapp in Indien, der Paraná-Basalt in Südamerika und der Columbia River Basalt (CRB) in Nordamerika. Flutbasalte gibt es nicht nur auf der Erde, man beobachtete sie auch auf dem Mond, dem Mars und der Venus (ZIMBELMAN 1998). Einzelne Ströme lassen sich dort über mehrere Hundert Kilometer verfolgen.

Betrachtet man die Verteilung der Flutbasalte in der Erdgeschichte, so fällt auf, daß sie besonders im Mesozoikum und Tertiär vorkommen; hingegen sind Flutbasalte im Paläozoikum und Präkambrium untergeordnet anzutreffen. Noch läßt sich nicht sagen, ob diese Art von Vulkanismus Kennzeichen der jüngeren Erdgeschichte ist oder ob ältere Provinzen inzwischen größtenteils erodiert und deshalb kaum noch zu erkennen sind.

Unklar ist auch noch die Ursache des Flutbasalt-Vulkanismus. Für die meisten Flutbasalte besteht offenbar ein Zusammenhang mit den sog. Hot Spots, Zonen aufsteigenden Mantelmateriale, in denen sich durch Wärme und Druckentlastung

an der Grenze zur Lithosphäre Schmelzen bilden können. Jedenfalls mußten gewaltige Mengen an Mantelmateriale aufgeschmolzen und innerhalb geologisch kurzer Zeit an die Erdoberfläche gefördert werden. Größere Flutbasalt-Ströme haben mindestens ein Volumen von  $10 \text{ km}^3$  Lava gehabt, die größten Ströme haben ein Volumen von über  $1.000 \text{ km}^3$ . Sehr wahrscheinlich ist die Bereitstellung solcher Magmamengen im Erdmantel der limitierende Prozeß, der den Flutbasalt-Vulkanismus so selten macht (KESZTHELYI & SELF 1998).

Schon seit längerem hatte sich die Ansicht über die Dauer des Flutbasalt-Vulkanismus gewandelt. Früher war man der Ansicht, er habe sich über geologisch lange Zeiträume erstreckt. Für den Deccan-Vulkanismus wurde eine Dauer von 50 bis 100 Millionen Jahren angenommen (BAKSI 1987). Durch präzise radiometrische Datierungen wurde die Zeit drastisch eingeschränkt, heute hält man eine Dauer von weniger als 1 Million Jahren für möglich (RICHARDS et al. 1989). Sedimente zwischen den Basalten zeigen, daß der Vulkanismus episodisch war. Dem Deccan-Vulkanismus wurde in den letzten Jahren wegen der zeitlichen Koinzidenz mit dem Faunenschnitt an der Kreide/Tertiär-Wende starke Beachtung geschenkt (COURTILLOT et al. 1996).

**Der Columbia River Basalt.** Die Aktivität des CRB-Vulkanismus erstreckte sich gemäß den Datierungen von 17 bis 6 Millionen Jahre vor heute, über 96% der Basaltdecken bildeten sich allerdings in der vergleichsweise kurzen Zeitdauer zwischen 17 und 14,5 Millionen Jahren vor heute (REIDEL 1998). Daß zwischen den Eruptionen des CRB und denen anderer Flutbasalt-Provinzen manchmal einige Zeit verstrich, beweisen die Anzeichen für Sedimentation, Verwitterung und Erosion zwischen den einzelnen Strömen. Die jährlich ausgetretenen Magmamengen des CRB werden zwischen  $0,1$  und  $2 \text{ km}^3$  geschätzt, das entspricht Raten von 3 bis  $60 \text{ m}^3$  pro Sekunde. Hierbei handelt es sich allerdings um einen Durchschnittswert; der Vulkanismus verlief nicht kontinuierlich. Vielmehr wurden episodisch gewaltige Mengen an Lava gefördert.

Heute tritt weltweit eine Lavamenge von durchschnittlich  $4 \text{ km}^3$  pro Jahr aus. Dagegen betrug das Volumen einzelner Flutbasaltergüsse über  $1.000 \text{ km}^3$ . Liegen die damaligen Ausflußraten tatsächlich um Größenordnungen über den heute beobachtbaren? Verglichen mit den Basaltergüssen auf Hawaii kann man diese Frage bejahen: Den Raten von 5 bis  $100 \text{ m}^3/\text{s}$  auf Hawaii stehen geschätzte Raten von  $10^3$  bis  $10^4 \text{ m}^3/\text{s}$  beispielsweise für das Roza Flow Field des CRB gegenüber. Doch schon

der Blick auf die bekannteste historische Eruption, die der Lakispalte auf Island in den Jahren 1793-94, relativiert diese Zahlen. Die Eruptionsrate entsprach mit bis zu  $10^4 \text{ m}^3/\text{s}$  fast den Verhältnissen bei Flutbasalten.

Die Beobachtungen an aktiven Vulkanen wie dem Kilauea und Mauna Loa auf Hawaii oder dem Ätna auf Sizilien haben neue Erkenntnisse über die Bewegung der Lavamassen gebracht. Für keinen Vulkan läßt sich ein einheitliches Fließverhalten ableiten. Die Lava kann in offenen Kanälen strömen, sie kann unter einer isolierenden dünnen Kruste in Röhren fließen, sie kann sich schichtartig als dünner Strom ausbreiten oder dicke Fronten bilden. Das Verhalten ist vor allem vom Chemismus des Magmas, der Menge und der Geländeform abhängig.

Bei direktem Kontakt mit der Atmosphäre herrscht eine Temperaturdifferenz von über  $1.100^\circ \text{ C}$ . Nur wenn die Lava dünnflüssig ist, mit hoher Geschwindigkeit abfließen kann und der Nachschub aus der Spalte groß ist, können die Lavaströme weite Entfernungen zurücklegen. Aufgrund dieses Zusammenhangs tendierten viele Forscher dazu, gerade für lange Lavaströme hohe Austrittsraten anzunehmen. Schließlich muß auch die geringe Hangneigung, die bei den meisten Flutbasalten gerade einmal um  $0,5$  Grad beträgt, berücksichtigt werden. Nur bei turbulenter Strömung, so schien es, sind Lavamassen in der Lage, auf fast ebenem Gelände so weite Strecken zurückzulegen (KESZTHELYI & SELF 1998).

Gesteinsanalysen führten zum erstaunlichen Resultat, daß einzelne Ströme auf vielen Hundert Kilometern nur um  $10$  bis  $20^\circ \text{ C}$  abkühlten. Das entspricht Kühlraten von lediglich  $0,02$  bis  $0,04^\circ \text{ C}$  pro Kilometer. Für die riesigen Entfernungen, die die Ströme zurücklegten, ist das eine notwendige Voraussetzung, denn nach nur  $50^\circ \text{ C}$  Abkühlung wäre eine Lava erheblich zähflüssiger und würde deutlich langsamer strömen. Wie kommt es aber zu derart niedrigen Kühlraten? Der Schluß liegt nahe, daß die dünne Schicht erstarrter Lava an der Oberfläche des Stromes einen außerordentlich wirksamen Schutz gegen schnelle Abkühlung darstellt. Ist die Lava aber gut isoliert, ergeben sich ganz andere Möglichkeiten hinsichtlich Fließverhalten und Strömungsgeschwindigkeit.

**Modelle für das Strömungsverhalten.** Modellrechnungen zeigen, daß unter isolierender Lava Kruste deutlich langsamere Fließgeschwindigkeiten von nur rund  $1 \text{ m/s}$  denkbar sind (KESZTHELYI & SELF 1998). Die Fließgeschwindigkeit in den Röhren hat nichts mit der Geschwindigkeit der Lavafront zu tun; diese ist viel breiter und bewegt sich entsprechend um Größenordnungen langsamer fort. So gehen THORDARSON & SELF (1998) davon aus, daß sich das Roza Flow Field mit einer Ausdehnung von  $40.000 \text{ km}^2$  und einem Volumen von

$1.300 \text{ km}^3$  in 5-15 Jahren gebildet hat und nicht, wie andere Autoren vermuten, in einigen Monaten (SWANSON et al. 1975). Zwischenzeitlich muß sich die Lavafront nicht weiterbewegen. Geschützt unter einer Schicht auskristallisierten Materials kann sich die Lava z. B. in einer Hohlform sammeln; der Wärmeverlust ist gering. Durch die Röhren fließt ständig weitere Lava zu, die Masse „pumpt“ sich auf („inflation“). Wenn sich genügend Lava gesammelt hat um beispielsweise eine Geländeunebenheit zu überwinden oder wenn ein weiterer Lavastrom auf die stockende Lavamasse trifft, kommt der Strom wieder in Gang.

Bestätigt wird diese Art der Reaktivierung von Lavaströmen auch durch Untersuchungen, die REIDEL (1998) an Basalten der Umatilla-Familie des CRB durchgeführt hat. Hier hat sich der Sillusi-Basalt mit dem Umatilla-Strom viele Kilometer von den jeweiligen Eruptionsspalten entfernt vereint. Die beiden Basaltergüsse stehen laut der stratigraphischen Tabelle zeitlich nacheinander. Nun zeigen geochemische und petrographische Studien aber, daß der Umatilla-Strom nur teilweise erkalte war, als sich der Sillusi-Strom in ihn ergoß, die Schmelzen sich durchmischten und als ein Strom weiterflossen. Zwischen den Ereignissen können nur wenige Tage gelegen haben, sie sind geologisch als zeitgleich zu sehen. So sieht es auch für die darauffolgenden Basalte der Asotin- und Wilbur Creek-Gruppe aus, zwischen denen örtlich sogar eine Erosionsdiskordanz beobachtet wird. Auch zwischen diesen Basaltergüssen sollen nur wenige Tage liegen (REIDEL 1998). Die Ströme selbst können langsamer gewesen sein, der gesamte Prozeß kann sich über Monate hingezogen haben. Doch schrumpft der einst unbestimmte Zeitraum zwischen den Ergüssen auf ein unbedeutendes Maß zusammen.

---

Der Flutbasalt-Vulkanismus stellt ein kurzfristiges und ungemein heftiges geologisches Ereignis dar.

---

Auch auf dem Meeresboden fließt Lava aus. Vom Ontong-Java-Plateau werden Ströme beschrieben, die eine Länge von rund  $100 \text{ km}$  erreichten. Verantwortlich für die im ersten Augenblick nicht einsichtige Erscheinung ist der hohe Druck in einigen Kilometern Wassertiefe. Er sorgt dafür, daß die Gase in der Schmelze gebunden bleiben und die Lava dadurch relativ dünnflüssig ist. Beim Austritt bildet sich durch den Kontakt mit dem kalten Meerwasser in Sekundenschnelle eine millimeterdicke Haut, die eine Lava gegen rasche Abkühlung isoliert. Ähnlich wie bei den Basaltströmen auf dem Festland spielt der Transport in

Röhren eine zentrale Rolle. Da der Meeresboden nur mit erheblichem technischen Aufwand erforscht werden kann und zudem vielerorts von einer Sedimentschicht bedeckt ist, lassen sich über die Häufigkeit und Ausdehnung untermeerischer Basaltergüsse nur Vermutungen anstellen. Es ist denkbar, daß sie erheblich zum Bau der Ozeankruste beitragen (GREGG & FORNARI 1998).

Das Fazit aus der jüngsten Diskussion über Flutbasalte läßt sich wie folgt angeben: Wird die Lava in isolierten Röhren transportiert, sind selbst ausgedehnte Lavaströme nicht wie noch vor kurzem angenommen in Wochen bis Monaten ausgeflossen, sondern der Prozeß kann Jahre bis Jahrzehnte gedauert haben. Auch der Zusammenhang zwischen Klimaveränderungen, Massensterben und Flutbasalten muß neu überdacht werden, denn der Vulkanismus wäre demnach doch nicht ganz so plötzlich und in seinen Folgen für Flora und Fauna katastrophal gewesen, wie es manche Modelle nahelegen (CASHMAN et al. 1998). Letztlich ist vieles über Flutbasalte und die Strömungsvorgänge nach wie vor unbekannt. Als gesichert darf dennoch gelten, daß Flutbasalt-Vulkanismus ein kurzfristiges und ungemein heftiges geologisches Ereignis darstellt.

*Thomas Fritzsche*

## Literatur

- BAKSI AJ (1987) Critical evaluation of the age of the Deccan Traps, India: Implications for flood-basalt volcanism and faunal extinctions. *Geology* 15, 147-150.
- CASHMAN K, PINKERTON H & STEPHENSON J (1998) Introduction to special section: Long lava flows. *J. Geophys. Res.* 103, 27281-27289.
- COURTILLOT VE, JAEGER JJ, YANG Z, FERAUD G & HOFMANN C (1996) The influence of continental flood basalts on mass extinctions: Where do we stand? In: *The Cretaceous-Tertiary event and other catastrophes in earth history*. RYDER et al. (eds) Geological Society of America Special paper 307, 513-525.
- GREGG TKP & FORNARI DJ (1998) Long submarine lava flows: Observations and results from numerical modeling. *J. Geophys. Res.* 103, 27517-27531.
- KESZTHELYI L & SELF S (1998) Some physical requirements for the emplacement of long basaltic lava flows. *J. Geophys. Res.* 103, 27447-27464.
- REIDEL SP (1998) Emplacement of Columbia River flood basalt. *J. Geophys. Res.* 103, 27393-27410.
- RICHARDS MA, DUNCAN RA & COURTILLOT VE (1989) Flood basalts and hot-spot tracks: Plume heads and tails. *Science* 246, 103-107.
- SWANSON DA, WRIGHT TL & HELZ RT (1975) Linear vent systems and estimated rates of magma production and eruption for the Yakima Basalt on the Columbia Plateau. *Am. J. Sci.* 275, 877-905.
- THORDARSON T & SELF S (1998) The Roza Member, Columbia River Basalt Group: A gigantic pahoehoe lava flow field formed by endogeneous processes? *J. Geophys. Res.* 103, 27411-27445.
- ZIMBELMAN JR (1998) Emplacement of long lava flows on planetary surfaces. *J. Geophys. Res.* 103, 27503-27516.

## Entstehung des Lebens – es muß anders gewesen sein!

Robert SHAPIRO, der sich bereits seit vielen Jahren mit der Chemie von Nukleinsäuren beschäftigt, hat sich schon des öfteren mit kritischen Bemerkungen zum Themenbereich „Chemie der Lebensentstehung“ zu Wort gemeldet (SHAPIRO 1987).

Bereits vor über zehn Jahren hatte er (SHAPIRO 1988) die bis dahin vorliegenden theoretischen Vorschläge und experimentellen Daten zu präbiotischen Synthesen von Ribose kritisch kommentiert. (Dieser Zucker bildet, über Phosphorsäurediester verbrückt, das Rückgrat von Ribonukleinsäure (RNA) und ist im bekannten Stoffwechsel eine Vorstufe für die Desoxyribose, einem Bestandteil der DNA). Diese Arbeit löste – obwohl nicht die erste kritische Darstellung (s. Literaturangaben in SHAPIRO 1988) zur präbiotischen Ribose-Synthese – eine intensive Diskussion über die möglichen präbiotischen Quellen dieses Zuckers aus. In der Folge wurde eine weitreichende Übereinstimmung darüber erzielt, daß der Ribose eine leichter zu-

gängliche, stabilere und weniger komplexe Vorläuferverbindung vorangegangen sein muß. Unter anderen wurde z. B. Glycerin vorgeschlagen (bei dieser Verbindung entfielen auch das Problem der Chiralität, bzw. dieses müßte erst in einem späteren Stadium, beim Übergang – wie immer dieser auch ausgesehen haben mag – zum Ribose-System gelöst werden). MILLER (1997) gibt einem Modell mit einem Rückgrat aus Peptidbindungen, den sogenannten Peptidnukleinsäuren (PNA) den Vorzug, wohl wissend, daß auch diese Probleme beinhalten.

Nach weiteren kritischen Bestandsaufnahmen über die Verfügbarkeit der Stickstoffbasen von Nukleinsäuren (SHAPIRO 1984, 1995) für die Chemie der Lebensentstehung, hat SHAPIRO jüngst umfangreiche Betrachtungen über die Chancen angestellt, daß eine der Nukleinsäurebasen, das Cytosin, in der frühen Phase der Lebensentstehung in den benötigten Mengen vorhanden ist.

Aufgrund der detaillierten Diskussion von