

2.2. Vulkanismus

2.2.1. Nützliche und gefährliche Erscheinungsformen

Nützliche Erscheinungsformen

- fruchtbarer Boden
- Thermalwasser
- Mineralwasser
- Heilwasser (Trinkkuren, Schlamm-bäder)
- Attraktionen
- Erdwärme
- Rohstoffe
- Konservierung

Gefährliche Erscheinungsformen

- Erdbeben
- Seebeben
- Tsunamis
- Hitze
- Feuer
- Giftgase
- Lavaströme
- Eruptionssäulen
- Aschenregen
- Glutwolken
- Pyroklastische Blockströme
- Glutlawinen
- Schlammströme (Lahars)
- Gewitterregen
- Druckwellen

Quelle: Siegenthaler, A. (o.J.): Geologie. Schülerskript am MNG, Zürich.



Abbildung: Vulkan-Landschaft in Island (Laugavegur).

Foto: Ch. Nussbaumer

2.2.2. Allgemeines zum Vulkanismus und Plutonismus

a) Einleitendes

Vulkanismus bildet nur die Spitze des Eisberges von allen magmatischen Erscheinungen. Vulkane sind definiert als Orte, an denen glutflüssiges Erdinneres an die Erdoberfläche oder an die Meeresböden austritt. Als subvulkanische Phänomene hingegen bezeichnet man alle magmatischen Erscheinungen, die nicht an der Erdoberfläche, aber nur unweit davon entfernt, stattfinden. Subvulkanismus zeigt sich häufig im Deckgebirge. Mit dem Begriff „Plutonismus“ schliesslich meint der Fachmann sämtliche in grösseren Tiefen der Erdkruste respektive Lithosphäre auftretenden magmatischen Erscheinungen.

b) Aggregatzustand des Erdinnern

Grundsätzlich ist das Erdinnere wegen des dort herrschenden hohen Drucks trotz Temperaturen von bis zu mehreren tausend Grad Celsius im festen Aggregatzustand. Eine Verflüssigung der Materie kann im Erdinnern nur in speziellen Fällen auftreten, vereinfacht ausgedrückt dann, wenn sich die Druck- und Temperaturkurven kreuzen. Dies ist in nur drei Fällen möglich:

- Im Magma findet eine Temperaturzunahme statt, z.B. durch den Zerfall radioaktiver Isotope.
- Im Magma findet eine Druckverminderung statt, z.B. durch das Aufsteigen desselben.
- Die Zusammensetzung des Magmas ändert sich, z.B. durch das Aufschmelzen erstarrter Krustenteile.

c) Magma

Die alten Griechen verwendeten den Begriff „Magma“ im Sinne von „Teig“ oder „gekneteten Massen“. Chemisch betrachtet handelt es sich vor allem um geschmolzene Silikate, in denen verschiedene gelöste Gase enthalten sind.

d) Lava

Der bei Vulkanen austretende Gesteinsschmelzfluss heisst Lava. Der Begriff ist aus dem Italienischen entlehnt. Zerfällt ein Lavastrom in grosse Gesteinsbrocken, die als Einzelteile die Vulkanflanken runterstürzen, so spricht man von pyroklastischen Blockströmen. Nicht zusammenhängende, erstarrte Lavaetzen verschiedenster Grössen fasst man unter dem Begriff „vulkanisches Lockermaterial“ zusammen.

e) Pluton

Die grossen, in die Erdkruste eingeschmolzenen magmatischen Massen hat man nach dem griechischen Gott der Unterwelt benannt. Plutone haben Durchmesser von bis zu mehreren hundert Kilometern und sie befinden sich in Tiefen von meist mehr als fünf Kilometern.

f) Magmakammer

Mit dem Ausdruck Magmakammer bezeichnet man einen mit Magma gefüllten Raum in der oberen Lithosphäre, aus der ein Vulkan seine Schmelzen und Gase bezieht. Sehr grosse und besonders heisse Magmakammern befinden sich in sogenannten Hot Spot-Zonen (Erklärungen später).

g) Lakkolith

Es handelt sich um in geringer Tiefe steckengebliebene Magmamassen, welche die Schichtfugen des Deckgebirges (mechanische Schwächezonen) auseinandertreiben. Das Wort entstammt ursprünglich dem Griechischen: Lakkos = Loch, Lithos = Stein.

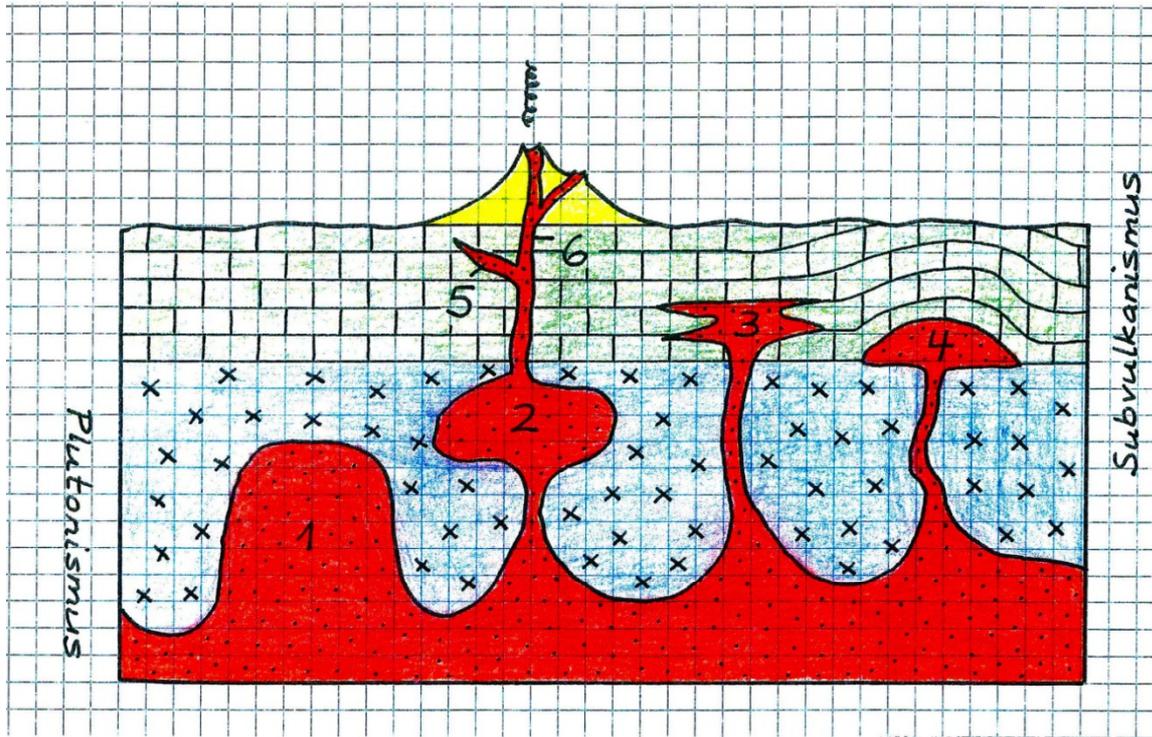
h) Quellkuppe

Eine Quellkuppe ist eine keulenartige magmatische Gesteinsmasse, welche durch die Aufstauung von zähflüssiger Schmelze im Deckgebirge entstanden ist.

i) Gänge und Schlotte

Gänge sind magmagefüllte Schwächezonen in der Erdkruste. Sie verlaufen im Deckgebirge häufig nahezu senkrecht zu den Schichtfugen. Als Schlotte bezeichnet man die Aufstiegskanäle magmatischer Produkte zur Erdoberfläche.

Quelle: Siegenthaler, A. (o.J.): Geologie. Schülerskript am MNG, Zürich.



Legende

- 1 Pluton
- 2 Magmakammer
- 3 Lakkolith
- 4 Quellkuppe
- 5 Gänge
- 6 Schlote

Quelle: Siegenthaler, A. (o.J.): Geologie. Schülerskript am MNG, Zürich.

2.2.3. Vulkantypen

2.2.3.1. Lavavulkane

Schildvulkane

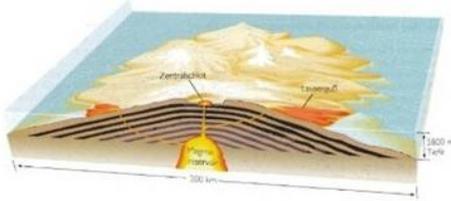


Abb.: Schildvulkan Skjaldbreiður in Island.

Aussehen

- Akkumulation von vielen tausend, basaltischen Lavaströmen
- flache Hangneigung / breite Basis / grosse Ausdehnung

Förderprodukte

- basaltische Lava (kieselsäurearm, dünnflüssig, hohe Temperaturen)
- kaum vulkanische Asche

Ausbruchart

- fliesst ruhig und weiträumig auseinander

Spezielles

- ca. 95 % aller Vulkane auf der Erde (aktiv oder inaktiv) sind Schildvulkane (Wiki → Vulkan)

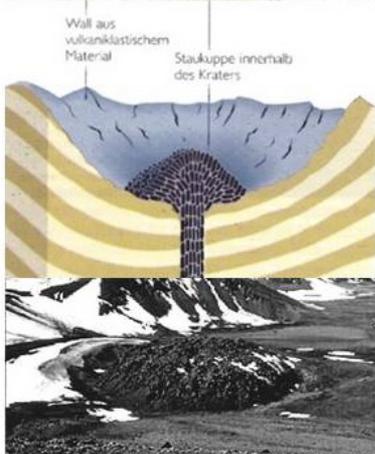
Beispiele

- Mauna Loa, Hawaii (mit 9700m höchster Berg der Erde)

Quelle: Press & Siever

Anmerkung: Sogenannte Deckenvulkane sind aus extrem basischer und daher dünnflüssiger Lava entstanden, und weisen einen extrem grossen Basisdurchmesser auf und haben praktisch keine Hangneigung. Häufig wird zwischen Schildvulkanen und Deckenvulkanen nicht unterschieden.

Staukuppen (= Stosskuppen = Vulkanische Dome)



Aussehen

- rundliche, steilwandige Gebirgsmassen
- kegelstumpfförmig

Förderprodukte

- saure Schmelzen

Ausbruchart

- saure Schmelzen sind zähflüssig, können kaum seitlich wegfließen und bilden Staukuppen
- Lava wird wie Zahnpasta herausgedrückt und breitet sich nur wenig seitlich aus → Material plombiert häufig die Förderschote und schliesst auch die Gase mit ein → Druck der Gase steigt an, bis die Staukuppe durch eine Explosion zerstört wird

Spezielles

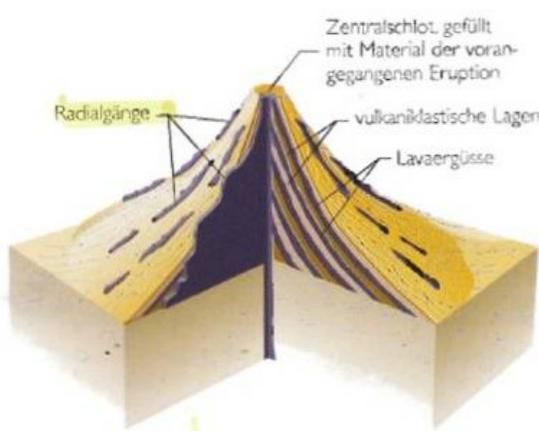
Beispiele

- Bsp.: dieser Vorgang spielte sich 1980 am Mt. St. Helens ab

Quelle: Press & Siever

2.2.3.2. Gemischte Vulkane

Schichtvulkane (= Stratovulkane = Kegelvulkane)



Aussehen

- besteht aus wechselnden Lagen von Lockermaterial und Lavaergüssen
- steiler Kegel

Förderprodukte

- kieselsäurereiche Magmen
- Pyroklasten

Ausbruchart

- grosses Explosionspotential → explosiv

Spezielles

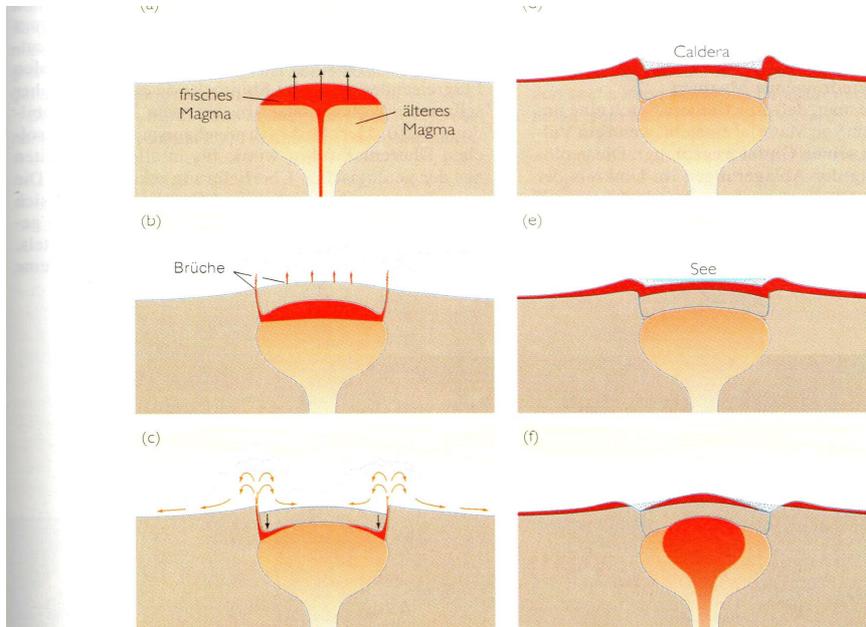
- häufigste Form der grossen Vulkane

Beispiele

- Vesuv / Äthna / Mt. St. Helens

Quelle: Press & Siever

Calderen



5.18 Entwicklungsstadien einer Caldera. Zunächst füllt frisches Magma in einigen Kilometern Tiefe unter der Erdoberfläche eine Magmakammer, wobei die Erdoberfläche aufgewölbt wird (a). Um die Aufwölbung bildet sich ein Ring aus senkrechten Spalten (b), und das gasgesättigte Magma am Dach der Magmakammer (hellrot) führt zu einem explosivem Ausbruch. Dabei werden Eruptionssäulen von weißglühendem Bims und Asche in die Atmosphäre hinausgeschleudert. Nachdem nun die Magmakammer leer ist, bricht ihr Dach an den Spalten ein, und es kommt zur Förderung von pyroklastischen Strömen (c). Die Caldera und ihre Umge-

bung sind schließlich mit einer Schicht von pyroklastischem Material bedeckt (d). Die Wände der Caldera werden allmählich erodiert, in der Vertiefung entsteht oftmals ein See (e). Einige hundert oder tausend Jahre später dringt abermals Magma in die Magmakammer ein, der Boden der Caldera beginnt sich erneut aufzuwölben (f). An den ringförmigen Spalten kann eine geringe vulkanische Aktivität noch über viele Millionen Jahre fortauern. (Nach P. Francis „Giant Volcanic Calderas“, *Scientific American*, Juni 1983, S. 60.)

2.2.3.3. Gasvulkane

Lockervulkane (Aschenkegel)



Abb.: Monte Nuovo.

Aussehen

- grosse Hangneigung
- mittelgrosser Basisdurchmesser

Förderprodukte

- zähflüssige Lava (sauer)

Ausbruchart

- explosiv

Spezielles

Beispiele

- Monte Nuovo bei Neapel

Quelle: Skript A. Siegenthaler

Maare



Abb.: Ukinrek Maar (Alaska, 1977)

Aussehen

- Seen mit einem geringen Basisdurchmesser (< 1 km)

Förderprodukte

- nur Gas- und Wasserdampf, keine Materialförderung

Ausbruchart

Spezielles

Beispiele

- Eifelmaare

Quelle: Skript A. Siegenthaler



Abb.: Eifelmaare 14

Durchschlagsröhren (=Pipes)



Abb.: Kimberley (Westaustralien).

Aussehen

- meist senkrechter, röhren- oder trichterförmiger Schlot
- meist rundlicher Durchmesser
- durch explosionsartigen Gasausbruch (z.T. auch mit Grundwasser oder Wasserdampf) entstanden

Förderprodukte

-

Ausbruchart

-

Spezielles

- z.T. sind die Schlote mit vulkanischem Festgestein gefüllt
- Schlote stehen mit dem Erdmantel in Verbindung

Beispiele

- Kimberley (Westaustralien)

Quelle: http://universal_lexikon

2.2.4. Vulkanismus aus plattentektonischer Sicht

Vulkanismus ist hauptsächlich an konvergierende und an divergierende Plattengrenzen gebunden. Seltener gibt es Vulkanismus im Innern der Platten, wobei man von Hot Spot- oder Intraplattenvulkanismus spricht.



Abbildung: Die weltweite Verteilung von Vulkanismus.

Quelle: unbekannt

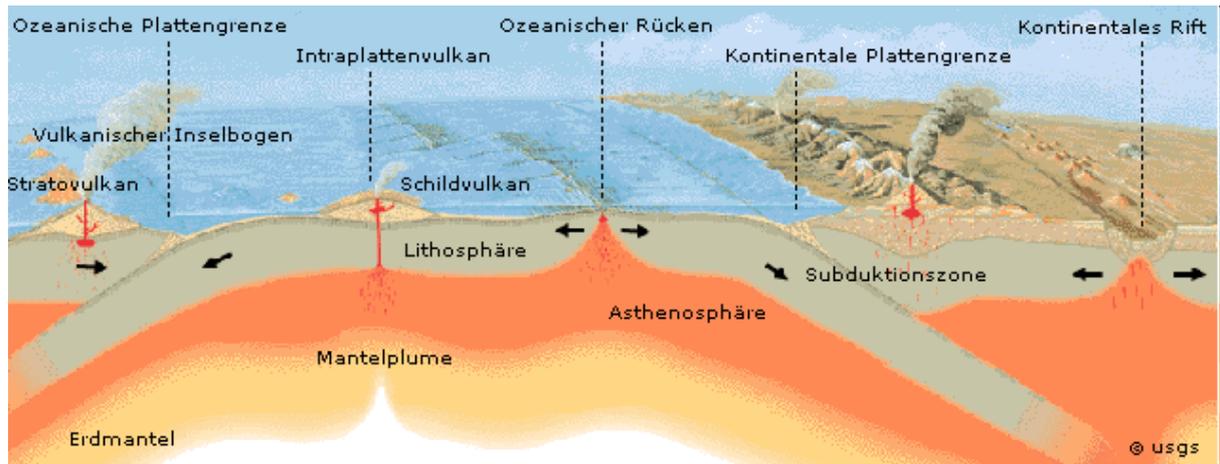


Abbildung: Bei divergierenden Plattengrenzen entsteht Vulkanismus durch das Austreten von Magma aus der entstehenden Spalte (a). Bei konvergierenden Plattengrenzen wird die eine Lithosphärenplatte unter die andere subduziert, und ab einer Tiefe von 100 km wird das Gestein bei Temperaturen von 1000 – 1300 Grad aufgeschmolzen. Dringt das Magma an die Erdoberfläche, kommt es zu Vulkanismus (b). Beim Hot Spot- bzw. Intraplattenvulkanismus wird die Lithosphäre lokal über einer thermischen Anomalie aufgeschmolzen (c).

Quelle für das Bild: <http://www.vulkane.net/vulkanismus/vulkanologie.html>

a) Riftvulkanismus an divergierenden Plattengrenzen (75% Anteil)

- effusiver Charakter
- nur schwächere Erdbeben (Flachherdbeben)
- bei zwei kontinentalen Platten: Vulkane entlang von Grabenbrüchen (Beispiele: Kaiserstuhl, Ruwenzori)
- bei zwei ozeanischen Platten: submariner Vulkanismus (Beispiel: Mittelozeanischer Rücken)

b) Subduktionsvulkanismus bei konvergierenden Plattengrenzen (12% Anteil)

- explosiver Charakter
- starke Erdbeben (Flachherdbeben bis Tiefenherdbeben)
- bei der Kollision von zwei ozeanischen Platten können Inselketten entstehen (Beispiel: Philippinen)
- bei der Kollision einer ozeanischen mit einer kontinentalen Platte entstehen Vulkane auf dem Festland, typischerweise ca. 100-200 km entfernt von der Küste (Beispiel: Vulkane in den Anden)

c) Hot Spot-Vulkanismus / Intraplattenvulkanismus im Innern von Platten (13% Anteil)

- effusiver Charakter
- nur schwächere Erdbeben (Flachherdbeben)
- bei ozeanischen Platten können Inselketten entstehen (Beispiel: Hawaii)
- bei kontinentalen Platten typischerweise Einzelvulkane (Beispiele: Tibesti, Hoggar)

2.2.5. Explosivität von Vulkanen

Um die Stärke verschiedener Vulkanausbrüche vergleichen zu können, wurde der Vulkanexplosivitäts-Index (VEI) eingeführt. Auf einer Skala zwischen 0 und 8 werden die verschiedenen Ausbruchsarten miteinander verglichen. In Bezug auf Explosivität und geförderter Lavamenge liegt zwischen jeder Stufe der Faktor 10. Nur zwischen den Stufen 0 und 1 liegt der Faktor 100. Es handelt sich also um eine logarithmische Skala.

Quelle: <http://www.vulkane.net/vulkanismus/vulkanausbruch-eruption-vulkanasche.html>

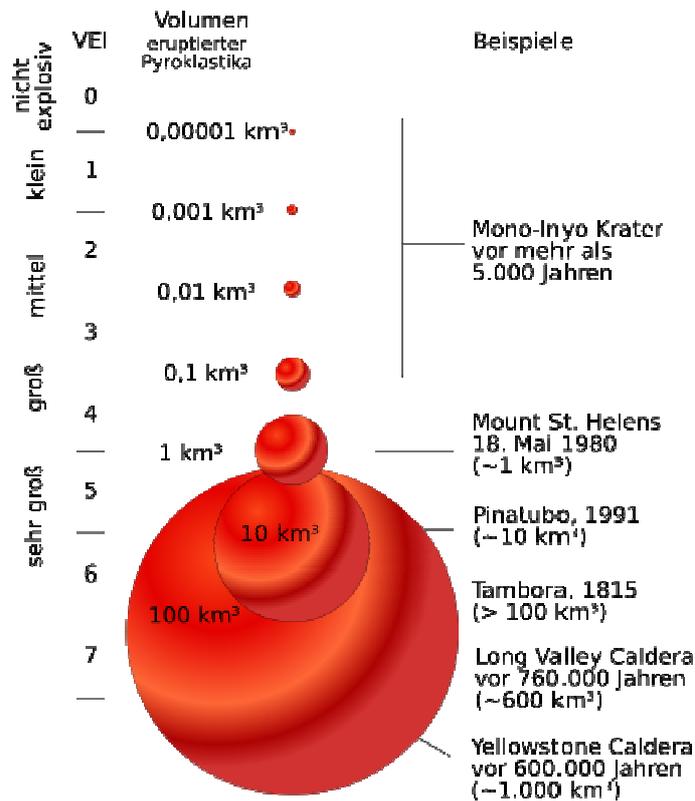
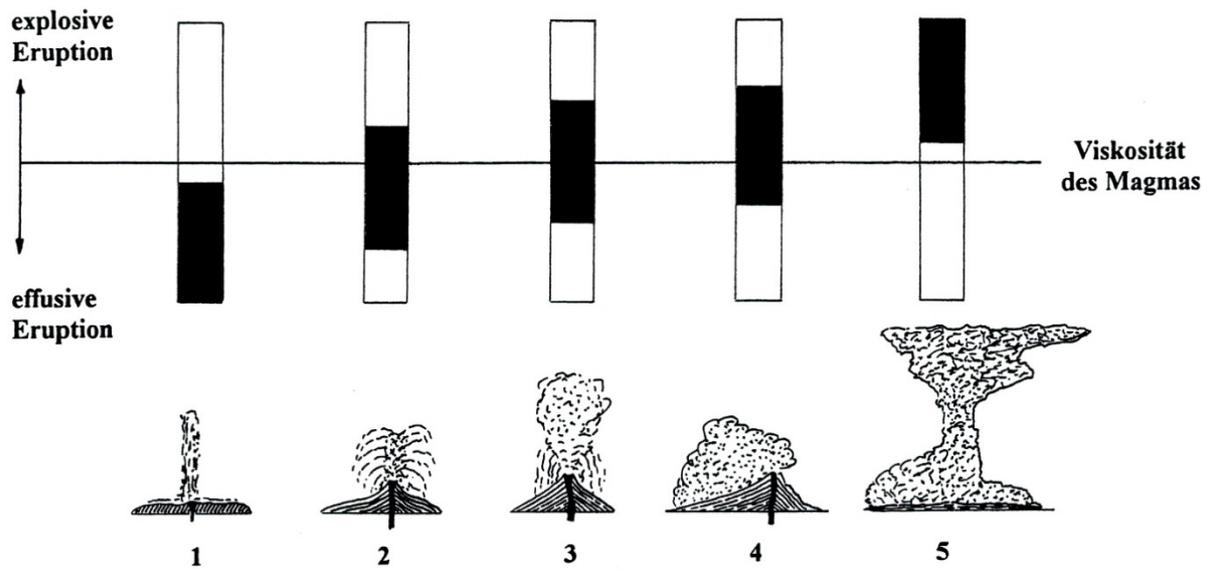


Abbildung: Vereinfachter Vergleich der Tephra-Mengen je VEI-Stärke.

Quelle: Wikipedia → Vulkanexplosivitätsindex

2.2.6. Eruptionstypen



1 = hawaiianisch 2 = strombolianisch 3 = vulkanisch 4 = peleanisch 5 = plinianisch

Faustregel: Je zähflüssiger (= viskoser) das Magma, desto:

<u>langsamer</u>	die Entgasung
<u>grösser</u>	der Quarzgehalt
<u>stärker</u>	die Eruption
<u>geringer</u>	die Förderprodukte
<u>steiler</u>	der Vulkan
<u>grösser</u>	die Gefahr
<u>grösser</u>	die Auswirkungen

Quelle: Siegenthaler, A. (o.J.): Geologie. Schülenskript am MNG, Zürich.

1. Hawaiianische Eruptionen (VEI: 0-1)

Typisch für die Vulkane von Hawaii. Das Magma enthält wenig Gas, hat eine Temperatur von mehr als 1000 Grad Celsius und ist dünnflüssig. Lavafontänen sind niedriger als zwei Kilometer. Dieser Vulkantyp bildet auch Lavaseen.

2. Strombolianische Eruptionen (VEI: 1-2)

Benannt nach dem daueraktiven Vulkan Stromboli vor der Nordküste Siziliens. Bei den recht kleinen, aber regelmäßig stattfindenden Explosionen können Lavafragmente bis zu zehn Kilometer hoch ausgeschleudert werden. Die durchschnittliche Höhe der Eruptionen beträgt aber nur wenige hundert Meter. Gleichzeitig kann es zum Ausfließen von Lavaströmen kommen.

3. Vulkanische Eruptionen (VEI: 3-4)

Benannt nach dem Vulkan Vulcano der zu den Liparische Inseln gehört. Hierbei kommt es zu stärkeren Explosionen. Partikel werden bis zu 20 km hoch ausgeschleudert.

4. Peleanische Eruptionen (VEI: ?)

Hierunter fasst man die Vulkanausbrüche zusammen, bei der sich, durch eine seitwärts gerichteten Explosion eines Lavadoms, pyroklastische Ströme, Glutwolken und Glutlawinen bilden. Ihren Namen erhielt diese Eruptionsform nach dem Vulkan Pelée auf Martinique in der Karibik. 1902 wurde die Stadt Saint-Pierre von einer Glutwolke aus diesem Vulkan zerstört; dabei starben 29.000 Menschen.

5. Plinianische Eruptionen (VEI: 5-8)

Diese Ausbruchsform hat ihren Namen von Plinius dem Jüngeren. Aufstieg der schirmförmigen Eruptionswolke in bis zu 60 Kilometer Höhe. Dies sind die kraftvollsten Ausbrüche der gefährlichen Vulkane mit sauren, zähflüssigen und gasreichen Magmen. Eine besondere Gefahr geht bei plinianischen Ausbrüchen von pyroklastischen Strömen aus, die entstehen, wenn es zu einem Kollaps der Eruptionssäule kommt. VEI 5-8

Quelle: <http://www.vulkane.net/vulkanismus/vulkanausbruch-eruption-vulkanasche.html>

2.2.7. Vulkanische Förderprodukte

2.2.7.1. Vulkanische Gase

- die wichtigsten Gase sind:
 - Wasserdampf (H₂O)
 - Schwefelwasserstoff (H₂S) / Schwefeldioxid (SO₂)
 - Kohlenmonoxid (CO) / Kohlendioxid (CO₂)
 - Methan (CH₄)
 - Stickstoff (N₂) / Wasserstoff (H₂)
 - Argon (Ar)

2.2.7.2. Lava

- grundsätzlich unterscheidet man drei Hauptgruppen von Laven (auf Grund des abnehmenden Kieselsäuregehalts und der zunehmenden Menge an Magnesium und Eisen):
 - basische Laven → dünnflüssig → typisches Gestein z.B. Basalt
 - intermediäre Laven → typisches Gestein z.B. Andesit
 - saure Laven (also viel SiO₂) → zähflüssig → typisches Gestein z.B. Rhyolith
- weiter wird unterschieden zwischen:

Aa-Lava



- harte und spitzige Beschaffenheit
- Lava ist zähflüssig und bewegt sich langsamer als Pahoehoe-Lava

Pahoehoe-Lava



- Name kommt aus dem Polynesischen und bedeutet strick oder seilartig (strickförmige Fließwülste)
- dünnflüssige, basische Schmelzen

Abb.: Stricklava auf Island.
Foto: Ch. Nussbaumer

Pillow-Lava



- kissenartige Gebilde mit bis zu 1m Durchmesser
- entstehen nur submarin, wenn dünnflüssige Laven durch den Kontakt mit Meerwasser aussen schnell abkühlen

Basaltsäulen



- beim Abkühlen basaltischer Schmelzen kann durch Kontraktion eine verhältnismässig symmetrische, säulenartige Klüftung entstehen

Abb.: Basaltsäulen beim Svartfoss-Wasserfall im Skafafell-Nationalpark in Island.
Foto: Ch. Nussbaumer

2.2.7.3. Pyroklasten



„**Pyroklasten** = zusammenfassender Begriff für vulkanisches Lockermaterial

Tephra = Sedimentgestein, welches zu mehr als 75% aus Pyroklasten (unterschiedliche vulkanische Gesteinesbruchstücke) besteht

2.2.7.4. Lahars

- Schlamm- und Schuttströme aus wassergesättigtem, vulkanischen Material
- Geschwindigkeit bis 100 km/h und können bis 100 km weit fließen
- bildet sich, wenn z.B.
 - Lava auf einen Gletscher gelangt
 - ein pyroklastischer Strom ein Schneefeld trifft
 - ein Kratersee ausbricht
 - heftige Regenfälle auf frische Ascheablagerungen fällt
- *Bsp.: Kolumbien 1985 → Nevado del Ruiz brach aus → Abschmelzen von Gletschereis in der Nähe des Gipfels → begrub Armero (50 km entfernt) → 25'000 Tote*



Abbildung: Lahar am Mt. St. Helens.

Quelle: unbekannt

2.2.7.5. Pyroklastische Ströme

- sehr heisse Glutwolken aus Gas, Asche und Gesteinspartikeln
- sind 300° - 800°C heiss und bewegen sich mit bis zu 400 km/h Hang abwärts



Abbildung: Glutlawine am Mavon (Philippinen)

Quelle: Wikipedia → Pyroklastischer Strom

2.2.8. Postvulkanische Erscheinungen

2.2.8.1. Fumarolen

- eine Fumarole ist eine Exhalation in vulkanisch aktiven Gebieten
- die meisten Fumarolen scheiden reinen Wasserdampf aus
- Fumarolen entstehen, wenn sich in der Tiefe nur wenig Wasser befindet und sich das Wasser vor dem Austritt vollständig in Wasserdampf umwandelt
- die Temperaturen können zwischen 200° und 800° liegen
- Unterklassen von Fumarolen sind:

Mofetten (Unterart der Fumarolen)



CO₂-haltige Quellen, so genannte Mofetten, wie hier bei Bubbik, sind typisch für die Region Vogtland/Nordwest-Böhmen

- Der Name „Mofette“ kommt vom lateinischen Begriff *mefetis* oder *mephetis* und bedeutet „schädliche Ausdünstung“.
 - Eine Mofette ist der Austrittspunkt von CO₂ mit Temperaturen unter 100°C.
 - Neben CO₂ kann das austretende Gas auch Methan und Schwefelwasserstoff enthalten, in Spuren auch Helium und verschiedene Edelgase.
- (Quelle: Wikipedia)

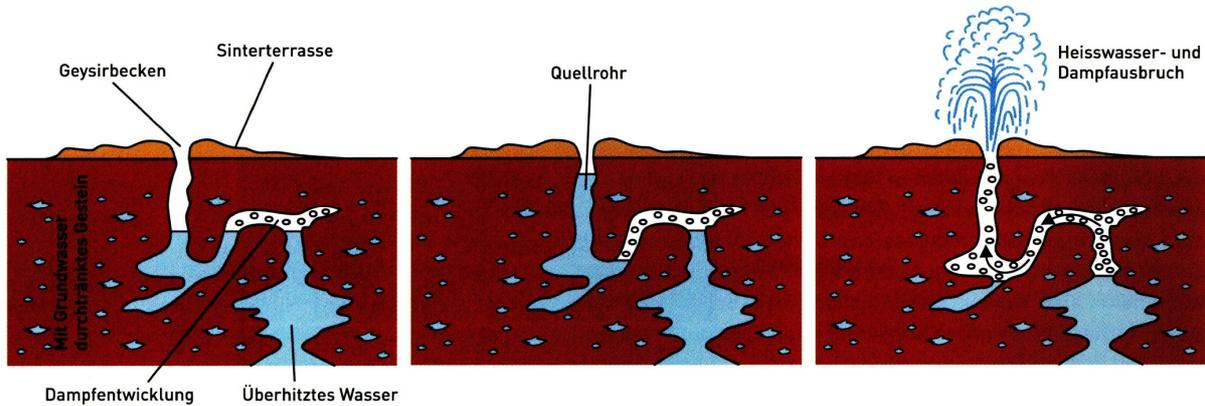
Solfatare (Unterart der Fumarolen)



- Austrittsstelle von schwefelhaltigem Wasserdampf mit Temp. von 100 bis 200°C
- Schwefelablagerungen wirtschaftlich nutzbar

2.2.8.2. Geysire

- Quelle, die in regelmässigen Zeitabständen Wasser und Dampf unter hohem Druck sprunghaft ausstösst
- Bedingungen:
 - genügend Bodenwärme
 - genügend Grundwasser
 - siphonförmiges Quellenrohr
- Funktionsweise: siehe Grafik unten



Von Niederschlägen oder nahen Gewässern stammendes Grundwasser sammelt sich im siphonförmigen Quellrohr. Magmakammern können noch viele Jahrhunderte nach einer Vulkaneruption das Wasser über 100 °C erhitzen.

Im siphonförmigen Quellrohr sammelt sich am höchsten Punkt zunehmend Wasserdampf, der die im Quellrohr liegende Wassersäule hinaufstösst. Die Wassersäule übt einen hydrostatischen Druck auf das Wasser weiter unten aus und bewirkt, dass die Siedetemperatur nicht wie normalerweise 100 °C beträgt, sondern je nach Tiefe bei über 120 °C liegt.

Übersteigt der Druck des Wasserdampfes den hydrostatischen Druck der Wassersäule darüber, so wird die Wassersäule als erste kleine Eruption in die Luft gespritzt. Durch den verminderten Wasserdruck sinkt nun auch der Siedepunkt im Quellrohr, und das tiefer liegende Wasser wird schlagartig in Dampf verwandelt. Diese Vorgänge greifen immer in tiefere Wasserschichten vor, sodass in einer Kettenreaktion von oben nach unten fortschreitend der Geysirschaft geleert wird.

Abbildung: Funktionsweise eines Geysirs.
Quelle: Geografie – Wissen und verstehen.



Abbildung: Ein Geysir in Island (Golden Circle)

Foto: Ch. Nussbaumer

2.2.8.3. Quellen

Thermalquellen

- als Thermalquellen bezeichnet man alle Quellen, die Wasser mit einer Mindesttemperatur von 24°C ausstossen
- in Vulkanischen Gebieten ist der geothermische Gradient grösser (auf der Schwäbischen Alp (erloschener Vulkan) z.B. 90°/km, im globalen Mittel ca. 30°/km)



Abbildung: Eine heisse Thermalquelle fliesst in einen Fluss mit kaltem Wasser im Yellowstone-Nationalpark.

Foto: Ch. Nussbaumer

Mineralquellen

- Quellen, deren Wasser mind. 1000mg gelöster Stoffe oder mind. 250mg Kohlendioxid pro kg Wasser enthält (v.a. Natrium, Kalzium, Eisen, Magnesium, Aluminium)