

ZUR GENESE DER ANDESITE

von

H. G. Scharbert, Wien

Vortrag im Rahmen des Symposiums "100 Jahre Krakatau"
am 12. November 1983

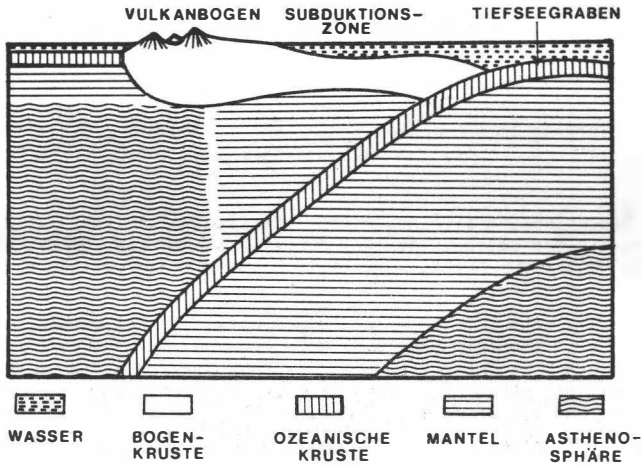
Nach neuen Erkenntnissen sind besonders intensive vulkanische Tätigkeiten im Zusammenhang mit den sogenannten "Inselbögen" zu bemerken. Eindrucksvolle Beispiele dafür bietet der Bereich des Pazifik. Inselbögen entstehen durch den Vorgang der "Plattentektonik".

Die Erdoberfläche kann in eine Anzahl von Platten zerlegt werden, die aus Bestandteilen der Lithosphäre bestehen, aus jenem oberen Erdbereich, der auf der Asthenosphäre quasi "schwimmt". Die Asthenosphäre ist die Zone der retardierten Geschwindigkeit der sekundären Erdbeschwellen (V_s) und ist daher als ein Bereich von Aufschmelzungen anzusehen.

Die Bewegungen der Platten, bzw. die Plattengrenzen sind divergent oder konvergent. Im ersteren Falle bewegen sich die Platten voneinander weg, wie es entlang der mittelozeanischen Rücken der Fall ist. Primärmagma in Form von tholeiitischen Basalten fließt dort in ungeheuren Mengen aus und überschwemmt den Ozeanboden. Der MORB (Middle Ocean Ridge Basalt) hat, weltweit gemittelt etwa folgende Zusammensetzung:

SiO ₂	49,34	K/Rb	1300	Cr	297 ppm
TiO ₂	1,49	Rb/Sr	0,076	Ni	97
Al ₂ O ₃	17,04	⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr	0,7032	Co	32
Fe ₂ O ₃	1,99			V	292
FeO	6,82			Sr	130
MnO	0,17			Cu	77
MgO	7,19			Ba	14
CaO	11,72			Rb	10
Na ₂ O	2,73			Y	43
K ₂ O	0,16			Zr	95
				La/Yb	16

Im zweiten Falle kollidieren die Platten. Bei diesem Vorgang kommt es zu einer Subduktion. Es können eine ozeanische und eine kontinentale, aber auch zwei ozeanische Platten zusammenstoßen. Im ersteren Falle wird die ozeanische Platte unter die kontinentale hinabgezogen. Dies wiederum bewirkt ein "Mitschleifen" von Gesteinspartien der leichteren kontinentalen Platte. Bei diesem Subduktionsvorgang kann es beim Mitschleifen der von der abtauchenden Platte ("slab") beeinflussten leichteren der Mantelbereich jener in die Hangendpartien kommen. Man spricht von einem Mantelkeil ("wedge"). Die Situation einer solchen Kollision zweier Platten wird in Abb. 1 mitgeteilt. Von links nach rechts unterscheidet man den Bogenhinterteil, der mehr/weniger zum Kontinent gehört, die vulkanische Front mit dem vulkanischen Inselbogen und den Vorderteil des Bogens und endlich den Tiefseeegraben, der die Subduktionszone an sich darstellt. Man sieht aus dieser Abbildung auch deutlich, daß die ozeanische Kruste, die abtaucht, das Liegende des Mantelkeils darstellt.



Die Form der großen Sundainseeln stellt einen Inselbogen dar, der durch die Kollision der Indischen Platte mit der Eurasischen Platte entsteht. Ganz charakteristische Vulkanite, die sich wesentlich von den oben erwähnten MORB unterscheiden, treten in den Inselbögen zu Tage. Es würde hier zu weit führen, um auf die Gliederungen der Vulkanite einzugehen; wir begnügen uns mit der Feststellung, daß es neben einer alkalischen Serie, eine tholeiitische und eine kalkalkalische gibt. In den Inselbögen hingegen gibt es sogenannte "Island arc tholeiite series", die von den Gesteinen der kalkalkalischen Serie durch einige wesentliche chemische Merkmale unterschieden sind: sie führen einen geringeren SiO_2 -Modus und besitzen höhere Fe-Anreicherungen; ferner sind sie K-ärmer und haben daher ein höheres $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ -Verhältnis. K/Rb liegt um 1000, Th/U zwischen 1 und 2. Die Verteilung der Seltenen Erden ist chondritisch, also ziemlich primitiv. Diese erwähnte Serie herrscht in vielen pazifischen und atlantischen Inselbögen vor. Ein weiteres charakteristisches Merkmal dieser Serie ist ihr viel höherer Anteil an intermediären und sauren Gliedern (Andesite, Rhyolithe).

Der Krakatau ist nun ein Vulkan in einer langen Kette der Vulkane der Sundainseeln. Analysen von geförderterten Produkten sind im folgenden wiedergegeben:

SiO_2	48,82	48,95	69,32
TiO_2	1,23	1,76	1,10
Al_2O_3	18,16	16,82	13,51
Fe_2O_3	5,04	4,41	3,24
FeO	4,45	6,14	1,58
MnO	0,11	0,04	0,11
MgO	4,72	5,48	1,02
CaO	12,75	9,52	2,52
Na_2O	2,91	2,46	4,57
K_2O	0,32	0,47	2,40
P_2O_5	0,22	0,22	0,38

Bei den ersten beiden Analysen handelt es sich um Inselbogentholeiite, bei der dritten um einen quarzreichen Andesit.

Daneben werden viel Schlacken und Aschen gefördert, jedoch sind Andesite ein Hauptteil der vulkanischen Förderungsprodukte Indonesiens. Die phreatische Erup-tion, die zur Katastrophe führte, hat ihre Ursache in einer enormen Dampfspannung im Magma, sozusagen in einem Überdruck der flüchtigen Gemengteile, wie H_2O , CO_2 etc. Bei Außendruckverminderung kommt es zur Explosion, die im Falle des Krakatau so verheerende Folgen hatte und vielleicht auch bei der Santorin-explosion (ca. 1400 v.Chr.) die Flutwelle verursachte, die die minoische Kul-tur auf Kreta vernichtete. Auch bei der Krakatauexplosion ging eine Flutwelle dreimal um die ganze Erde.

Darüberhinaus können noch einige Teilanalysen von Inselbogentholeiiten und kalkalkalischen Gesteinen der Sundainseln mitgeteilt werden:

Inselbogentholeiite:

SiO_2	48,4	48,6
K_2O	0,18	0,16
K/Rb	374	332
Sr	332	334
Rb/Sr	0,012	0,009
$^{87}Sr/^{86}Sr$	0,70437	0,70451

Andesite und Rhyolith:

SiO_2	52,1	54,4	56,2	67,8
K_2O	0,87	0,95	1,73	2,33
K/Rb	267	373	295	203
Rb/Sr	0,0785	0,0643	0,2068	0,3103
$^{87}Sr/^{86}Sr$	0,70448	0,70452	0,70462	0,70434

Bei den Tholeiiten wird deutlich das geringere K/Rb, das wesentlich höhere Sr, das geringere Rb/Sr gegenüber dem MORB (oben) erkannt. Auch ist $^{87}Sr/^{86}Sr$ höher als im primitiv gedachten MORB, was auf eine Kontamination mit Krustenmaterial hinweist.

Was sind Andesite? Sie sind Vulkanite mit Plagioklas (An bis 50 %) als weit-aus überwiegenden hellen Gemengteil. Quarzführung leitet zu Quarzandesiten über. Die dunklen Gemengteile bestehen im wesentlichen aus Biotit, Pyroxen (auch Orthopyroxen) und Amphibol. Zunahme der letzteren führt zur Entwick-lung von basaltischen Andesiten. Chemisch unterscheidet man basische und sau-re Andesite, die ihrerseits wieder nach dem Kaliumgehalt gegliedert werden.

basische Andesite:

	Tief-K	Mittel-K	Hoch-K
SiO ₂	55,4	55,1	54,6
TiO ₂	0,81	0,82	0,91
Al ₂ O ₃	17,6	17,8	17,7
Fe ₂ O ₃	3,4	3,3	3,6
FeO	6,1	4,9	4,2
MnO	0,21	0,16	0,18
MgO	4,3	4,3	3,9
CaO	9,1	8,1	7,6
Na ₂ O	2,7	3,1	3,3
K ₂ O	0,43	1,2	2,1
P ₂ O ₅	0,16	0,21	0,3
H ₂ O	0,78	0,93	1,2

saure Andesite:

	Tief-K	Mittel-K	Hoch-K
SiO ₂	59,6	59,7	59,4
TiO ₂	0,74	0,70	0,73
Al ₂ O ₃	16,7	17,1	16,9
Fe ₂ O ₃	3,2	2,8	2,9
FeO	4,7	3,8	3,3
MnO	0,15	0,11	0,12
MgO	3,1	3,2	3,1
CaO	7,0	6,6	6,0
Na ₂ O	3,2	3,3	3,3
K ₂ O	0,59	1,5	2,5
P ₂ O ₅	0,16	0,19	0,24
H ₂ O	0,79	1,0	1,3

Wie steht es nun mit der Entwicklung der andesitischen Magmen in der Benioff-Zone (abtauchender Krustenstapel). Die erste Möglichkeit besteht darin, daß der Kurstenstapel und der Mantelkeil schmelzen. Dies geschieht unter einer weiten Variabilität, die von einer Schmelzung eines trockenen Eklogits (Hochdruckgestein in dieser Zone) bei relativ hohen geothermischen Gradienten bis zur Schmelzung von H₂O-führenden Eklogiten, bei relativ niedrigem geothermischem Gradienten, reicht. Eine andere Möglichkeit ist die Mantelkeilschmelzung alleine, die jedoch aufgrund verschiedener geophysikalischer und geochemischer Überlegungen als unmöglich erscheint. Wenn die Thermogradienten niedrig genug sind, um die Krustenstapelschmelzung zu unterdrücken, kann es zur Schmelzung vom hangenden Mantelperidotit kommen, allerdings nur unterhalb der vulkanischen Front und auch dann nur, wenn die volatilen Phasen frei an CO₂ sind und wenn die Mantelkonvektionen im Keil hohe Gradienten bewirken. Schmilzt der Krustenstapel alleine, werden hohe Gradienten für die Schmelzung eines wasserhältigen, allerdings nicht notwendigerweise wassergesättigten Eklogits verlangt. Die hohen Temperaturen (1000-1100o C) zur Schmelzung basischer Andesite werden nicht von Kurstenstapelschmelzung allein erreicht, es muß auch der Mantelkeil mitschmelzen.