

DISS. ETH NR. 11609

ENTWÄSSERUNG OZEANISCH ALTERIERTER
BASALTE IN SUBDUKTIONSZONEN
(ZONE VON ZERMATT-SAAS FEE)

ABHANDLUNG
zur Erlangung des Titels
DOKTOR der NATURWISSENSCHAFTEN
der
EIDGENÖSSISCHEN TECHNISCHEN HOCHSCHULE
ZÜRICH

vorgelegt von
Timo Walter Widmer
Dipl. Geologe Universität Zürich
geboren am 12. Januar 1966
von Kilchberg ZH und Hüttlingen TG

Angenommen auf Antrag von
Prof. Dr. A. B. Thompson, Referent
Prof. Dr. R. Oberhänsli, Korreferent
Dr. G. L. Früh-Green, Korreferentin

1996

7. Zusammenfassung

Ziel dieser Arbeit ist die Erforschung der Auswirkungen der ozeanischen Alteration auf die chemische Zusammensetzung von Basalten einerseits und die Entwässerung dieser teilweise metasomatisch überprägten Vulkanite in einer Subduktionszone andererseits. Dazu wurden die Basalte der Zone von Zermatt-Saas Fee (ZS-Zone) petrologisch und geochemisch untersucht.

Spuren ozeanischer Hydrothermalaktivität und damit verbundener Metasomatose der MOR-Basalte sind in der Ophiolithzone von Zermatt-Saas Fee weit verbreitet. Neben massiven Sulfiden (Stockwerk Mineralisation) und Mangan-reichen Sedimenten wurden in den Basalten verschiedene chemische Alterationstrends identifiziert. Die ursprüngliche Mineralogie wurde aufgrund der eklogitfaziellen, metamorphen Überprägung gänzlich eliminiert, sodass Information zur ozeanischen Metasomatose nur noch aus der Untersuchung der Gesamtgesteinschemie gewonnen werden kann. Im Vergleich mit Vulkaniten anderer Ophiolithe, mit ozeanischen Basalten und mit Daten aus Meerwasser-Basaltexperimenten konnten vier unterschiedliche Hochtemperaturalterationstrends ermittelt werden:

1. Chloritisierung: Reagiert Meerwasser bei erhöhten Temperaturen (100-300°C) mit Basalten, erfolgt eine Magnesiumanreicherung und Kalziumverarmung des Gesteins aufgrund der Ausfällung von Smektiten und Chloriten auf Kosten von Glas, magmatischem Plagioklas, Olivin und Pyroxen.
2. Spilitisierung: Spilitische Basalte sind durch Natriumanreicherung charakterisiert. Hochsalines, durch vorgängige Reaktionen alteriertes Meerwasser mit hohem Ca/Na-Verhältnis ist unter erhöhten Temperaturen in der Lage, bei der Reaktion mit Basalten Albit auszufällen. Die magmatischen Plagioklase werden dabei durch reinen Albit ersetzt. Es wird vermutet, dass die Spilitisierung beim diffusen Aufstieg des chemisch alterierten Meerwassers erfolgt.
3. Rodingitisierung: Bei der Serpentinisierung nimmt Meerwasser Kalzium auf, das bei der Reaktion mit benachbarten Basika zu deren Kalziumanreicherung führt.
4. Bildung von Epidositen: Durch vorhergehende Reaktionen mit Basalten führt an Kalzium angereichertes Meerwasser bei sehr hohen Temperaturen (> 300°C) und hohen Fluid-Gesteinsverhältnissen zur Ausfällung von Epidot auf Kosten der Anorthitkomponente der magmatischen Plagioklase.

5. Speziell zu erwähnen sind Magnesium-reiche, unregelmässige Granat-Chloritoid-Talk-Adern, die in Metabasalten der ZS-Zone auftreten. Sie werden mit Smektit- und Chloritadern in Basalten der Tiefseebohrung 504B verglichen und als ozeanische Hydrothermaladern interpretiert.

Die beobachteten Alterationstrends wurden am Computer mit dem Programm EQ3/6 (Wolery 1992) simuliert.

Prograde Dehydratationsreaktionen in den Basalten beim Übergang von der Blauschiefer zur Eklogitfazies führten zur Ausbildung von bis zu mehreren Meter grossen Disthen-Quarz-(Omphazit)-(Chloritoid)-Adern. Aus der Massenbilanzrechnung geht hervor, dass das Adermaterial aus der unmittelbaren Umgebung der Ader stammt. Es handelt sich deshalb und auch wegen der eingeschränkten Verbreitung der Adern nicht um eigentliche Entwässerungskanäle der Subduktionszone sondern lediglich um lokale Segregationsphänomene.

Zur Bildung der massiven, mehrere Meter mächtigen Talkschieferzonen am Rand von Serpentinikörpern der ZS-Zone war advective Zufuhr von Silizium und Abfuhr von verschiedenen leicht löslichen Elemente nötig. Mittels strukturgeologischen und isotopengeochemischen Argumenten kann gefolgert werden, dass sich diese metasomatischen Zonen zur Hauptsache während der Subduktion der ZS-Zone bildeten. Silizium-reiche, wässrige Fluids, produziert durch prograde Entwässerungsreaktionen in den Basalten, führten zur Talk-Metasomatose der Serpentine im Kontakt zu den Metabasalten. Das Fluid entwich wahrscheinlich zur Hauptsache entlang der tektonischen Kontakte nach oben und führte zur Metasomatose und vollständigen Hydrierung benachbarter Ultramafite.

Die Entwässerung ozeanisch hydratisierter Basalte und Serpentine wird als wichtige Ursache für die Bildung von subduktionsbezogenem Vulkanismus angesehen. Fluid, welches in der subduzierenden ozeanischen Platte freigesetzt wird, kann im überliegenden Mantelkeil zur Bildung von Partialschmelzen führen. MOR-Basalte dehydrieren allerdings bereits in einer Tiefe von weniger als 60 Kilometern fast vollständig und können somit nicht direkt mit dem subduktionsbezogenem Vulkanismus in Zusammenhang gebracht werden. In dieser Arbeit wird gezeigt, dass metasomatisch alterierte Basalte Wasser, das

in den Mineralen Chloritoid und Talk gespeichert wird, bis in sehr grosse Tiefen (> 60 km) transportieren können.

Aus dem Fluidbudget der ZS-Zone geht aber hervor, dass das Wasserspeichungsvermögen der Basalte trotz metasomatischer Alteration im Vergleich zu den Serpentiniten gering ist, weil der volumetrische Anteil der Basalte verhältnismässig klein ist. In rezenten und fossilen Subduktionszonen dagegen, die über eine mächtige ozeanische Kruste (z.B. Pazifik) verfügen, dürften metasomatisch alterierte Basalte einen wesentlichen Beitrag zum Fluidhaushalt von Subduktionszonen liefern.

Bei dem relativ warmen Subduktionspfad der ZS-Zone ist Antigorit das wichtigste Mineral für die Wasserspeicherung in grosser Tiefe (> 80km). Bei einer fiktiven weiterführenden Subduktion würde die Zersetzung von Antigorit einer Tiefe von 100 km bis 130 km beträchtliche Wassermengen in freisetzen (Fig.7.1.1).

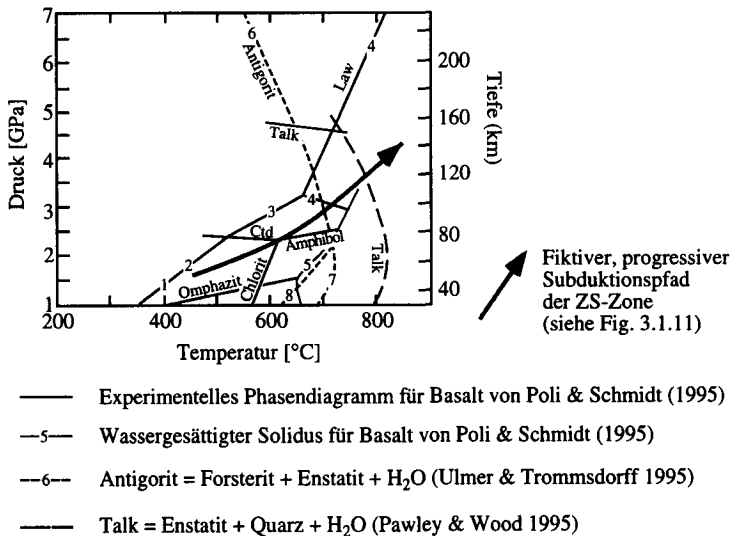


Fig.: 7.1.1: Wichtige, experimentell bestimmte Entwässerungsreaktionen für Basalte und Ultramafitite von Poli & Schmidt (1995), Ulmer & Trommsdorff (1995) und Pawley & Wood (1995). 1, 2: Zersetzungsreaktionen von Lawsonit in Anwesenheit von Glaukophan; 3, 4: Zersetzungsreaktionen von Lawsonit; 4: Zersetzungsreaktion von Zoisit/Klinozoisit; 7: Antigorit = Forsterit + Talk + H₂O (Ulmer & Trommsdorff 1995); 8: Talk = Forsterit + Enstatit + H₂O (Ulmer & Trommsdorff 1995).

Abstract

The aim of this study was to investigate the oceanic hydrothermal alteration of basalts and the dehydration of these metasomatically altered volcanics in subduction zones. The basalts from the ophiolite zone of Zermatt-Saas Fee (ZS-Zone) were chosen as an example.

Evidence of hydrothermal activity and metasomatism of MOR-basalts are widespread in the ZS-Zone. Aside from the occurrence of massive sulphides („stockwerk“ mineralisation) and manganiferous cherts several chemical alteration trends were observed in the basalts. Information about the oceanic alteration event can only be gained from the whole rock chemistry because the primary mineralogy was destroyed during the eclogite facies metamorphism. Four different high temperature alteration trends can be distinguished in the basalts of the ZS-Zone. These trends have been derived from comparison with oceanic basalts, from experiments on seawater basalt interaction and ophiolitic volcanics.

1. Chloritisation: The reaction of seawater with basalts at elevated temperatures (100-300°C) results in an enrichment in Mg and depletion in Ca of the rocks, due to precipitation of smectite and chlorite at the expense of glass, magmatic plagioclase, olivine and pyroxene.
2. Spilitisation: Spilitic basalts are characterised by sodium enrichment. Seawater with high Na/Ca-ratio which has been modified by previous interaction with basalts can alter magmatic plagioclase to pure albite during further reaction with fresh basalt. Spilitisation is thought to occur by disperse upwelling of chemically modified seawater.
3. Rodingitisation: During serpentinisation of ultramafics, seawater is enriched in calcium, which is released from pyroxene in the altering peridotite and is added to the adjacent basic rocks. Rodingites are invariably (?) associated with metaperidotite.
4. Formation of epidotes: Under very high temperatures (> 300°C) and high fluid-rock-ratios Ca-enriched seawater can precipitate epidote at the expense of magmatic anorthite component during reaction with unaltered basalt. Epidotes are not obviously associated with metaperidotite.
5. A further metasomatic type has been identified: Mg-rich, irregular garnet-chloritoid-talc-veins occurring in the eclogites of the ZS-Zone deserved special attention. They are interpreted as former oceanic hydrothermal veins and show similarities with smectite-chlorite veins of ODP log 504B.

The observed alteration trends were simulated using the EQ3/6 program of Wolery (1992).

Prograde dehydration reactions within the basalts at the blueschist-eclogite facies transition produce kyanite-quartz-(omphacite)-(chloritoid)-veins of up to several meters long and 20cm wide. Mass balance calculations convincingly demonstrate that the vein material must have been derived from the immediate surroundings. These veins are interpreted as local segregation phenomena and not as fluid dehydration channels of the subduction zone. This view is supported by the scarcity of these veins.

Fluid dehydration conduits are indeed preserved as massive zones of talcschists occurring along the border of serpentinite bodies of the Zermatt-Saas Zone. Their formation involves advective supply of Si and complete removal of alkalies and Ca. Both structural and stable isotope geochemical arguments are put forward to constrain the timing of their formation during the subduction of the ZS-Zone. Silica-rich, hydrous fluids are produced during prograde dehydration reactions in the basalts. These fluids trigger metasomatic formation of talc at the contact between metabasalts and serpentinites, and then subsequently migrate upwards along tectonic contacts.

The fluids released by metamorphic dehydration of hydrated basalts and serpentinites are of crucial importance for the formation of subduction-related volcanism, as they can trigger melting in the overlying mantle wedge. While most of the hydrous phases in MOR-basalts dehydrate at a depths of less than 60 km, chloritoid and talc remain stable and, hence, can store and transport water to at least 100 km depths. Both phases are formed from pre-existing smectite/chlorite-veins and chlorite-enriched ocean floor basalts. It is only the fluid released from talc/chloritoid breakdown that will directly initiate melting of the mantle wedge. In unusually cold subduction zones (e.g. Sifnos, Greece) however, lawsonite will be the most important hydrous phase whose breakdown is entirely temperature dependent.

A fluid budget has been calculated for the ZS-Zone. It is important to remember that in the ZS-Zone the volume-ratio between hydrated peridotite and altered MORB is large. Thus the water storage capacity of the metabasalts is smaller than that of the serpentinites. In other areas of fossil and recent subduction zones, however, larger amounts of hydrated basalts than those found in the ZS-Zone, may significantly contribute to the fluid budget. Antigorite is the most important mineral to store water at great depths (> 80 km) along the relatively warm subduction path of the ZS-Zone. The breakdown of Antigorite would produce large amounts of water at depths of 100-130 km (Fig. 7.1.1).