

1. Einleitung und Problemstellung

1.1 Zielsetzung

Die vorliegende Dissertation entstand im Rahmen des Forschungsprojekts CARIBFLUX (ein BMBF Verbundprojekt vom 1.9.2002 bis 31.10.2002, mit der Forschungsfahrt SO 154) an der Freien Universität Berlin, Fachbereich Geowissenschaften. Ziel der Arbeiten war die Untersuchung hydrothermaler Aktivitäten im Bereich des vulkanischen Inselbogens der Kleinen Antillen und der damit zusammenhängenden Erzbildungsprozesse. Hierzu wurden Manganpräzipitate, Sedimente und vulkanische Gesteine beprobt und nach mineralogischen und geochemischen Gesichtspunkten untersucht. In der vorliegenden Arbeit werden die beprobten Präzipitate in Hinblick auf hydrothermale Einflüsse nach ihren besonderen Merkmalen charakterisiert und verglichen. Mit den Ergebnissen wird versucht, die rezente bis subrezente submarine hydrothermalen Aktivität zu erfassen um so einen Beitrag zur Erforschung des Hydrothermalismus im Arbeitsgebiet sowie in vergleichbaren geologischen Milieus zu liefern. In den Arbeitsgebieten wurden Manganpräzipitate und Nontronite beprobt. Mit den Ergebnissen soll die Art und Intensität des Hydrothermalismus der Region ermittelt, sowie das Alter der hydrothermalen Aktivität bestimmt werden. Des Weiteren sollen Aussagen über das Verhalten bestimmter Elemente und Elementgruppen unter hydrothermalen Bedingungen getroffen werden, um die geochemischen Prozesse bei der Bildung von Mangan- und Eisenkrusten im Zusammenhang mit jungen vulkanischen Inseln besser zu verstehen.

1.2 Stand der Wissenschaft

Seit der Entdeckung submariner Hydrothermalsysteme mit austretenden hochtemperierten Fluiden in den späten 1970er Jahren wurden diese meist in der Tiefsee vorkommenden aktiven Hydrothermalsysteme eingehend untersucht und es wurden zahlreiche hydrothermale Fluide auf ihre Beschaffenheit analysiert (z.B. Ishibashi et al., 1994; Von Damm, 1995; Lowell et al., 1995; Butterfield et al., 1990, 1995, 1997). Die chemische Zusammensetzung der Fluide liefert Informationen über Prozesse, die innerhalb des Meeresbodens ablaufen: Siedeprozesse und Phasenseparation, Fluid/Gesteins-Wechselwirkungen sowie die Präzipitation bestimmter Minerale unter variablen Druck-Temperatur-Bedingungen. In Hydrothermalfeldern existieren zwei Arten von Austritten hydrothermalen

Fluide: fokussierter Hydrothermalismus mit dem Austritt heißer Lösungen, deren Temperatur 200 bis 410°C beträgt und diffuser Hydrothermalismus mit dem Austritt niedrigthermaler Lösungen von bis zu 50°C. Während ersterer in Form von “Black” und “White Smokern” auftreten, ist letzterer meist an Klüften und Störungen gebunden und tritt sehr großflächig auf. Rona and Trivett (1992) und Elderfield et al. (1993) haben mit vergleichenden Forschungen in verschiedenen Hydrothermalfeldern nachgewiesen, dass diffus austretende niedrig-temperierte Fluide weitaus häufiger auftreten als fokussierte hochtemperierte Fluide. Edmond et al. (1979), Butterfield and Massot (1994), James and Elderfield (1996) und Butterfield et al. (1997) haben mit diversen Untersuchungen an diffus austretenden Fluiden gezeigt, dass niedrigthermale Fluide häufig verdünnte hochtemperatur-Fluide darstellen. Submariner diffuser Hydrothermalismus tritt in verschiedenen geologischen Milieus auf: im Umfeld der Mittelozeanischen Rücken (z.B. Mottl et al., 1998), an kleineren Spreizungsrücken (Edmond et al., 1979; Von Damm, 1995), an vulkanischen Inselbögen und in Back-Arc-Bereichen (Foquet et al., 1991) oder an Seamounts (Karl et al., 1988; Michard et al., 1993; Mottl et al., 1998).

In niedrigthermalen Fluiden ($\leq 50^{\circ}\text{C}$) konnten hydrothermale Anzeichen, wie gelöste Gase (H_2S und CH_4), Silizium, Lithium und Mangan in beträchtlichen Konzentrationen nachgewiesen werden (Edmond et al., 1979; Lilley, 1993; Butterfield and Massot, 1994; Koschinsky et al., 2002). Die wichtigsten Prozesse, die die chemische Zusammensetzung von diffusen Fluiden beeinflussen und steuern sind: die Vermischung der hochtemperierten Fluide mit (aufgeheiztem) Meerwasser innerhalb des Meeresbodens, Reaktionen und Wechselwirkungen zwischen warmen Mischwässern innerhalb des Meeresbodens, die mikrobielle Aktivität sowie die konduktive Erwärmung des Meerwassers innerhalb des Meeresbodens (sog. “one path reactions”; Halbach et al., 2003).

Die Verdünnung heißer, saurer Fluide mit Meerwasser und die damit verbundene Abkühlung und der Erhöhung der pH- und Eh-Bedingungen führen zur Präzipitation von Mineralen. Die verschiedenen Endglied-Zusammensetzungen der Fluide (dampfreich und Sulfid-dominiert oder salzhaltig und Metall-dominiert) schaffen unterschiedliche Bedingungen für die Ausfällung verschiedener Mineralphasen und für die mikrobiellen Aktivitäten (Halbach et al., 2003).

Hydrothermale Eisen- und Manganpräzipitate sind in den vergangenen Jahrzehnten umfangreich erforscht worden (z.B.: Halbach et al., 1988; Murphy et al., 1990; Hein et al., 1990; Usui et al., 1992; Rogers et al., 1993; Hodkinson et al., 1994; Hein, 1997, etc.). Die

untersuchten Eisen-Mangankrusten sind meist um Präzipitate aus tieferen ozeanischen Bereichen (> 2000 m Wassertiefe) und Erze, die in unmittelbarer Nähe zu den großen ozeanischen Spreizungszonen gebildet wurden.

Es handelt sich um sogenannte gemischt hydrothermal-hydrogenetische Manganpräzipitate. Diese entstehen als Niederschlag aus einer hydrothermalen Wolke, welche an Emanationszonen hydrothermalen Fluiden (z.B. am Mittelatlantischen Rücken, am Nord-Fiji-Rücken oder im westlichen Südpazifik) gebildet wurden. Aufgrund der geringeren Dichte der heißen Fluiden im Gegensatz zum Meerwasser und ihrer Austrittsgeschwindigkeit steigen die hydrothermalen Fluiden in der Wassersäule auf, bis in einer bestimmten Tiefe die Dichte des umgebenden Meerwassers erreicht ist. Dort beginnt sich die hydrothermale Wolke horizontal im Meerwasser auszubreiten. Aufgrund der herrschenden Eh-pH-Bedingungen (Eh < 0 V, pH 2,5 – 5; Von Damm, 1995) sind die Elemente Mn und Fe in hydrothermalen Fluiden als reduzierte Spezies gelöst. Während der Verfrachtung der hydrothermalen Wolke im Meerwasser kommt es zu einer intensiven Mischung der hydrothermalen Fluiden mit dem Meerwasser was zu einem deutlichen Anstieg der Eh- und pH-Werte führt. Die Erhöhung der Eh-pH-Bedingungen bewirkt die Oxidation von Fe(II) zu Fe(III) unter Bildung von Fe-Oxyhydroxiden und bei höheren Eh-Werten zur Oxidation von Mn(II) zu Mn(IV) (Stumm and Morgan, 1981). Die Oxidationsreaktion von Mn(II) zu Mn(IV) unter Meerwasserbedingungen wird durch eine hohe Aktivierungsenergie gehemmt. Bei Temperaturen von 0 bis 10°C läuft die Mn(II)-Oxidation über die Zwischenphasen β -MnOOH bzw. δ -MnOOH ab. Erst nach der initialen Bildung von MnO₂-Kolloiden kann die weitere Mn(II)-Oxidation autokatalytisch beschleunigt werden, indem Mn(II) auf der Oberfläche von MnO₂ adsorbiert und dort aufoxidiert wird (Stumm and Morgan, 1981). Die gebildeten Mn-Oxide bilden negativ geladene Oberflächen, an denen innerhalb der hydrothermalen Wolke intensive chemische Adsorptions- und Austauschprozesse stattfinden. So werden an diese Partikel kationische Spezies der Elemente Co, Ni, Pb, Seltenerd-Elemente, etc. sukzessive aus dem Meerwasser adsorbiert (German et al., 1990; Rudnicki and Elderfield, 1993; Lilley et al., 1993). Ausfällungen aus hydrothermalen Wolken werden auch als indirekt-hydrothermale Präzipitate oder als “plume fall-out” bezeichnet.

Bei diffus austretenden niedrigthermalen Lösungen ($< 50^\circ\text{C}$) kommt es in der Regel bereits innerhalb der obersten Bereiche des Meeresbodens in Störungen und Klüften zur Vermischung des hydrothermalen Fluids mit Meerwasser sowie (untergeordnet) zu einer Fluid/Sediment-Wechselwirkung, was zu einer Erhöhung der Eh- und pH-Werte führt und

in einer Präzipitation von Fe-Silikaten (z.B. Nontronit), Fe-Oxyhydroxiden und Mn-Oxiden direkt an der Austrittsstelle der hydrothermalen Fluide resultieren kann. Auf diese Weise gebildete Erze werden als direkt-hydrothermale Präzipitate bezeichnet.

Ein großer Teil der Gesteine ozeanischer Becken weist MORB-Zusammensetzungen auf, so dass viele der untersuchten Hydrothermalsysteme im Zusammenhang mit MOR-Basalten stehen. Dagegen treten an vulkanischen Inselbögen und in Back-Arc-Bereichen auch siliziumreichere Gesteine wie Andesite, Dazite und Rhyodazite auf. Besonders im westlichen Pazifik wurden Hydrothermalsysteme in diesen geologischen Milieus untersucht: Manus Basin (z.B. Kamenetzky et al., 2001), Lau Basin (z.B. Foquet et al., 1991), North Fiji Basin (z.B. Ishibashi et al., 1994; Koschinsky et al., 2002), Okinawa Through (z.B. Pracejus and Halbach, 1996).

Im Bereich des vulkanischen Inselbogens der Kleinen Antillen wurden in den letzten Jahrzehnten zahlreiche geologische, vulkanologische, petrologische und petrogenetische Studien vorgenommen (vergl. Kapitel 2.1 und 2.2). Im Hinblick auf auftretenden Hydrothermalismus konnten in den vergangenen Jahren vereinzelt Anzeichen von hydrothermalen Aktivitäten nachgewiesen werden. Dies wurde im Off-Shore-Bereich mit Hilfe von Wasserproben (Polyak et al., 1992), von Mangan-Präzipitaten (Keug Kang, 1990) und auf verschiedenen Inseln mit Sediment und Fluidproben (z.B. Johnson und Cronan, 1989; Coles et al., in press.) belegt.

1.3 Forschungsfahrt und Probenlokalitäten

Im Rahmen des Forschungsprojekts CARIBFLUX wurde vom 15. Januar bis zum 8. Februar 2001 mit dem Forschungsschiff „FS Sonne“ die Forschungsfahrt SO 154 in den Bereich des vulkanischen Inselbogen der Kleinen Antillen durchgeführt. In vier Arbeitsgebieten wurden Meerwasserproben, Sediment-, Erz- und Festgesteinsproben genommen, sowie in situ hydrographische Parameter wie Temperatur, Leitfähigkeit und Druck, sowie vereinzelt die Aktivitäten von CO₂, O₂ und H₂S im Meerwasser gemessen. In Wassertiefen von 600 bis 1200 m wurden in vier Arealen (Abb. 1.1) Proben genommen: Kahouanne Basin und Montserrat Ridge (KB und MR, Areal 1), westlich von Dominica (Dom, Areal 2), westlich von St. Lucia (St.L, Areal 3) und zum Kick'em Jenny nördlich von Grenada (KJ, Areal 4).

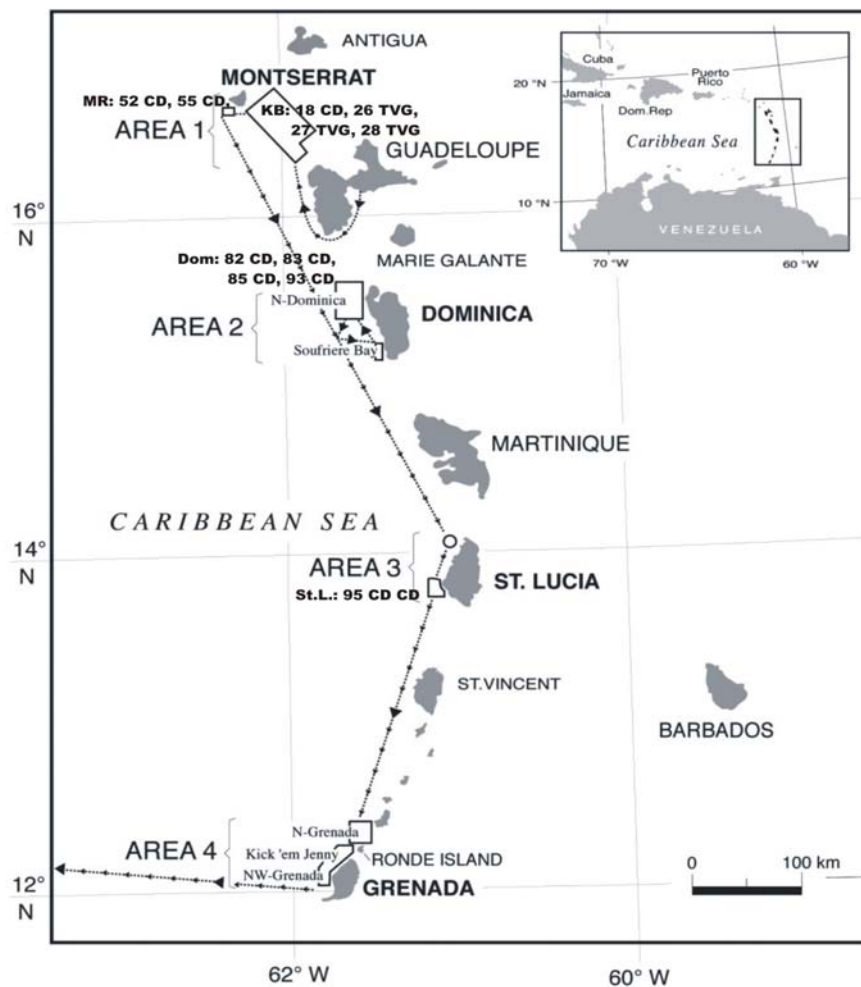


Abbildung 1.1: Südlicher und zentraler Teil der Kleinen Antillen mit eingetragener Fahrtroute, den Arbeitsgebieten und den Probenmelokalitäten mit Probennummern der untersuchten Proben.

Als wichtigste Probenlokalitäten gelten die Arbeitsbereiche I Kahouanne Basin und Montserrat Ridge im nördlichen Teil des Arbeitsgebietes. Anhand der Karten werden diese beiden Teilbereiche im Folgenden dargestellt und beschrieben.

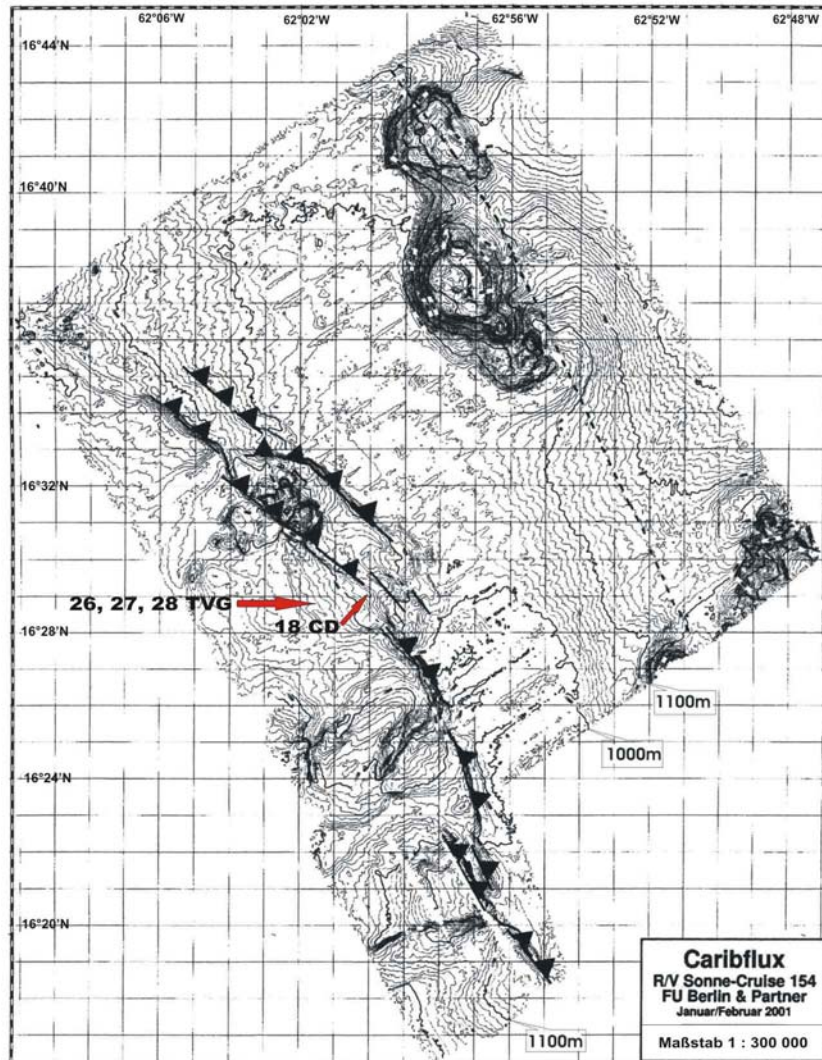


Abbildung 1.2: Bathymetrische Karte des Kahouanne-Beckens mit den Störungszonen und den Probenlokalitäten. Die Daten zur Erstellung der Karte wurden auf der Forschungsfahrt SO 154 mit Hilfe des PARASOUND-Sedimentecholot-Systems aufgezeichnet.

Das Kahouanne Becken (Abb. 1.2) befindet sich südöstlich der Insel Montserrat und bildet den südlichen Zweig des nördlich von Montserrat verlaufenden Kalinango Beckens. Es stellt ein Intra-Arc-Becken dar und streicht etwa 150 km westlich der Subduktionsfront. Die größten Tiefen des Beckens sind im südlichen Teil zu finden und liegen bei maximal 1220 m, etwa bei den Koordinaten 16°27'N/62°54'W. Eine aktive Störungszone, die so genannte "Shoe Rock Spur" (Bouysse et al., 1988), stellt die westliche Begrenzung des

Beckens dar und setzt sich nach Nordwesten hin fort. Die Störungszone kann durch das gesamte Gebiet verfolgt werden. Charakteristisch für diese westliche Begrenzung des Beckens ist eine steile Abschiebung mit einem Versatz von bis zu 200 m. Dieses Lineament streicht NNW-SSO und entspricht somit etwa der Achse der vulkanischen Front.

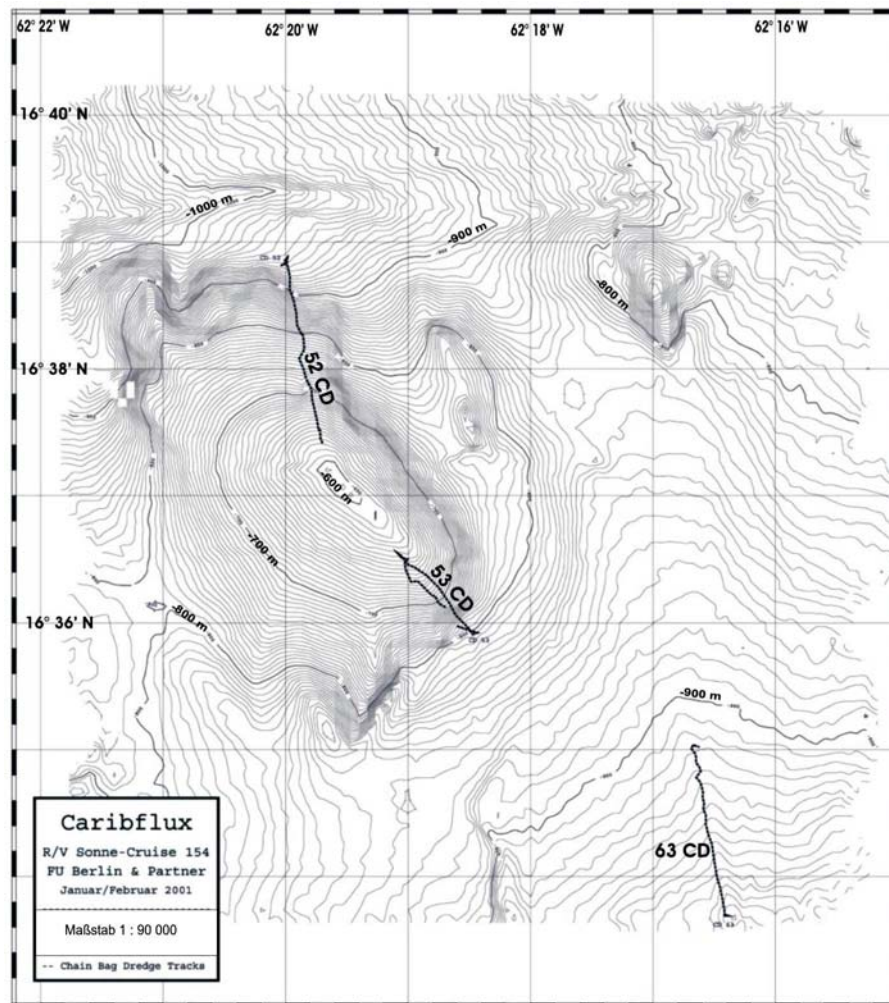


Abbildung 1.3: Bathymetrische Karte des Montserrat Ridge mit eingetragenen Dredgenspuren. Nordöstlich des Kartenbereichs schließt sich die Insel Montserrat an. Daten zur Erstellung der Karte stammen (wie in Abb. 1.2) von der Forschungsfahrt SO 154.

Im Gebiet des Montserrat Ridge (Abb. 1.3) wurde ein Seamount kartiert und beprobt, der sich auf etwa 600 m Wassertiefe erhebt. Dieser Seamount liegt auf einem aktiven Störungssystem, die als nördliche Fortsetzung der Shoe Rock Spur gedeutet wird.