

2. Geologie und Ozeanographie des Arbeitsgebietes

2.1 Der Plattentektonische Rahmen

Der vulkanische Inselbogen der Kleinen Antillen ist das Produkt der westwärts gerichteten Subduktion der Atlantischen Platte unter die Karibische Platte, mit den daraus resultierenden vulkanischen Aktivitäten (geologische Geschichte siehe Kap. 2.2). Der Bogen befindet sich am Ostrand der Karibischen Platte und erstreckt sich mit einer Länge von rund 800 km von der Insel Saba im Norden bis Grenada im Süden (Abb. 2.1). Nördlich der Insel Martinique teilt sich der Inselbogen in zwei unterschiedliche Teilbögen (Bouysse, 1979): Im Westen liegen die aktiven, vulkanischen Karibischen Inseln und im Osten die inaktiven "Limestone Caribees". Demnach wird der nördliche Teil als "double arc" bezeichnet (Fink, 1972). Durch die Subduktion der Atlantischen Platte bewegt sich die Karibische Platte – relativ zur Amerikanischen Platte – in Richtung Osten. Geotektonisch handelt es sich um eine äußerst komplexe Region; im südlichen Teil des Bogens besitzt die Subduktion einen linkslateralen Versatz (ein sinistrales strike-slip Element mit einer NE-SW-verlaufenden schiefen Konvergenz), während im zentralen Teil eine relativ rechtwinkelige Subduktion nachgewiesen wurde. Auch der nördliche Teil des Bogens weist eine schiefe Konvergenz, mit dextraler Richtung auf. Das Einfallen der Benioff-Zone wird im Süden mit 45 - 50° (bei 20° Streichen) und im Norden mit 50 - 60° (bei 330° Streichen) angegeben (Speed et al., 1993). Die Schiefe der relativen Plattenbewegungen zueinander, wie auch die relativen Bewegungsgeschwindigkeiten, wurden in den vergangenen Jahren mehrmals diskutiert (z.B. DeMets et al., 1990; Speed et al., 1993; Macdonald et al., 2000). Die Vorschläge zu den relativen Plattenbewegungen reichen von einer reinen Ost-West-Subduktion mit links-lateraler Blattverschiebung bis hin zu einer schiefen Nordost-Südwest-Subduktion. Macdonald and Holcomb, 1978 veranschlagten die Subduktionsrate für die letzten 2,4 Mio. Jahre zwischen 2 cm a^{-1} und 4 cm a^{-1} .

2.2 Petrographie und Vulkanismus

Durch seismische Sondierungen unterteilten Boynton et al. (1979) die den Bogen unterlagernde Kruste in drei Einheiten: die obere Einheit besteht aus Lavagesteinen (hauptsächlich Basalte und Andesite) und Sedimenten, in der mittleren Einheit sind ebenfalls Vulkanite und große Intrusionen intermediärer Zusammensetzung vertreten, die wiederum die untere Einheit, die mafische ozeanische Kruste überlagern. Die Gesamtmächtigkeit der Kruste wird mit etwa 30 km angegeben (Speed et al., 1993). Besonders im nördlichen Teil, im Bereich des Doppelbogens läßt sich die vulkanische Geschichte der Kleinen Antillen sehr gut untersuchen. Der westliche (innere) Bogen besteht aus einer Reihe junger vulkanischer Inseln, die seit dem Miozän vulkanisch aktiv sind wie la Soufrière auf Guadeloupe oder der Bereich von Montserrat. Briden et al. (1979) datierten vulkanische Gesteine des Soufrière Hills auf Montserrat, welcher den zentralen und jüngsten Teil der Insel repräsentiert, auf ein Maximalalter von ca. 1,6 Mio. Jahren. Gesteinsdatierungen aus dem Basement-Bereich der Insel sind leider nicht verfügbar.

Die vulkanische Aktivität des östlichen (äußeren) Bogens hielt vom Eozän bis zum mittleren Oligozän an (Bouysse et al., 1990). Andesite des norwestlichen Teils dieses Bereichs haben Alter von 4.5 ± 0.5 Millionen Jahre (Bouysse et al., 1990). Gesteine des prä-pliozänen Untergrundes (> 5 Mio. J.) sind bisher nur nordöstlich von Dominica beprobt worden. Die vulkanische Aktivität des südlichen Teils des Inselbogens wird von Westerkamp et al. (1979) vom unteren Miozän bis rezent angegeben.

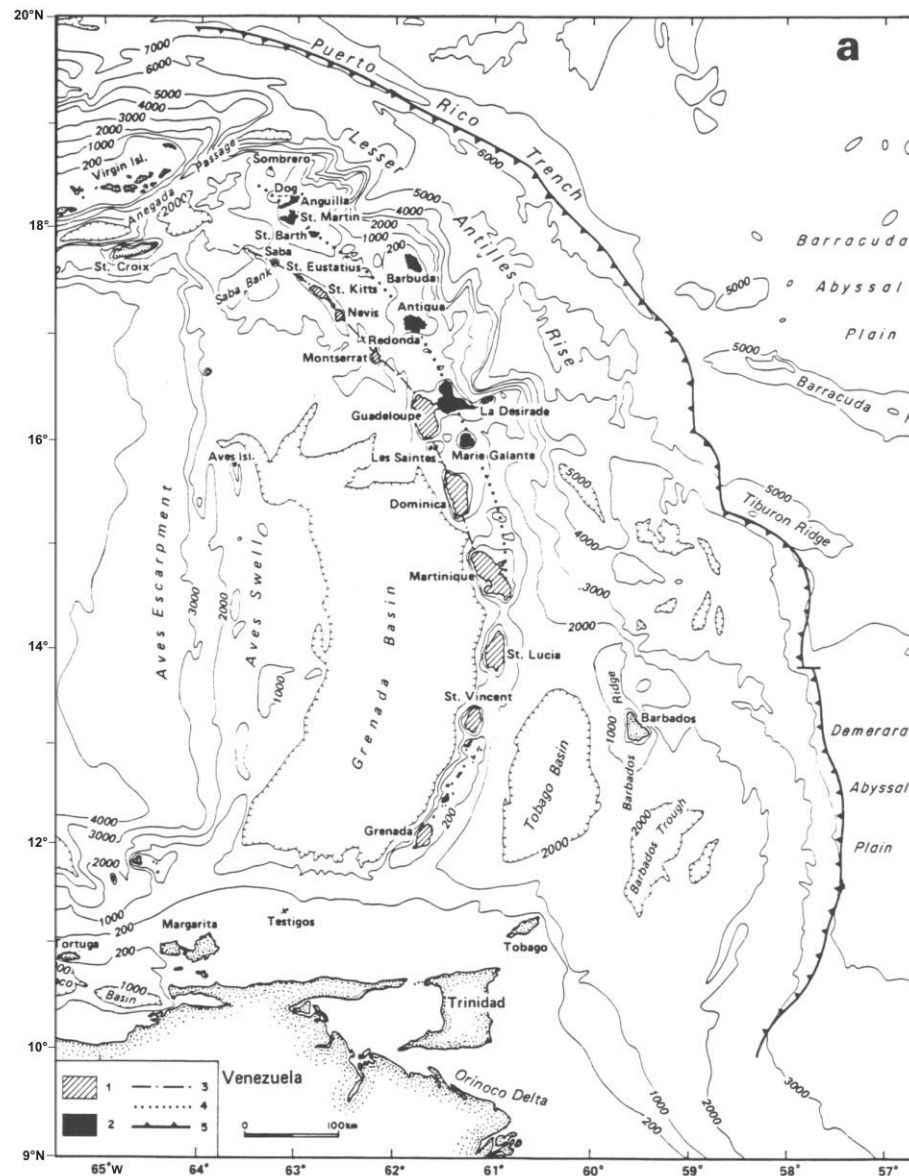


Abbildung 2.1: Bathymetrische Karte der östlichen Karibik mit den Kleinen Antillen und der Subduktionsfront im Osten. Signaturen: 1: vulkanische Kleine Antillen; 2: Kalkantillen; 3: junge vulkanische Front; 4: alte vulkanische Front; 5: Subduktionszone (Trench).

Es wird angenommen, dass während der letzten 100 000 Jahre im gesamten Bereich der Kleinen Antillen 13 Vulkane (auf Inseln und submarin) aktiv waren. Ein Vulkanismus, der bis in das Pleistozän zurück reicht, tritt längs des Bogens auf einem schmalen Streifen (< 10 km breit) auf. Die größte Magmenproduktion findet sich im zentralen Teil des Bogens auf Dominica. Im südlichen und nördlichen Teil des Inselbogens nimmt die Magmenproduktion deutlich ab, was hier auf die schiefe Subduktion und damit auf die niedrigeren Subduktionsraten zurückzuführen ist (Wadge et al., 1984). Auf den Inseln handelt es sich generell um einen kalkalkalinen Magmatismus, mit überwiegend

basaltischen und andesitischen Magmen. Untergeordnet treten auch Dazite auf. Auf einigen Inseln sind auch Rhyolithe vertreten (Rea, 1982; Bouysse et al., 1990).

Ohne auf die Diskussion vorzugreifen, werden im Folgenden bereits einige der selbst erarbeiteten Analyseergebnisse vorgestellt, um die beprobten vulkanischen Gesteine des Arbeitsgebietes zu klassifizieren.

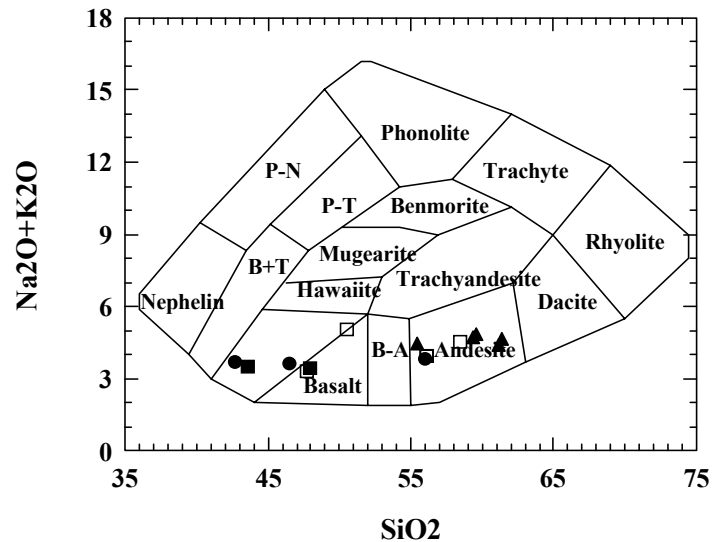


Abbildung 2.2: Klassifikation der auf der Forschungsfahrt beprobten Vulkanite aus dem Bereich der Kleinen Antillen. Feldeinteilung nach LeMaitre et al., 1989.

Legende: ●: Kahouanne Basin, ▲: Dominica, □: St. Lucia, ■: Grenada; Die Einheiten der Oxide SiO₂, Na₂O und K₂O in Gew. %.

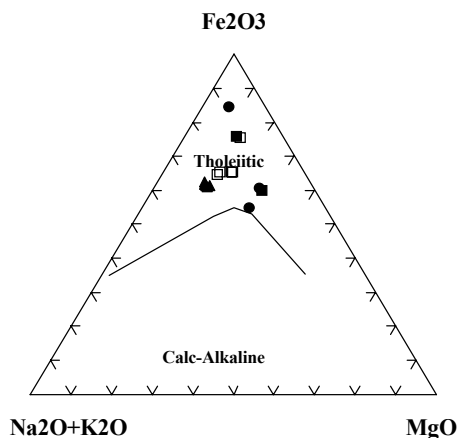


Abb.2.3: Ternärdiagramm Fe₂O₃ - Alkalien - MgO (nach Irvine and Baragar, 1971).
Legende siehe Abb. 2.2.

In der Abbildung 2.2 werden die untersuchten Vulkanite der einzelnen Arbeitsgebiete nach ihren Hauptelementen klassifiziert. Die Gesteine stammen aus Wassertiefen zwischen 940 und 1250 m. Es ist zu erkennen, dass in allen vier Arbeitsgebieten ausschließlich Basalte und Andesite beprobt wurden.

Ein weiteres Merkmal der untersuchten vulkanischen Gesteine aus dem Off-Shore-Bereich in unmittelbarer Nähe der Inseln sind sehr hohe Fe-Gehalte bei relativ niedrigen

Alkali-Gehalten, was sie von den Inselvulkaniten unterscheidet. Beim Vergleich der Fe-Gehalte gegen die Alkalienelemente, bzw. MgO zeigt sich im Ternärdiagramm (Abb. 2.3), dass sämtliche Proben im niedrig-alkalischen, tholeiitischen Bereich liegen.

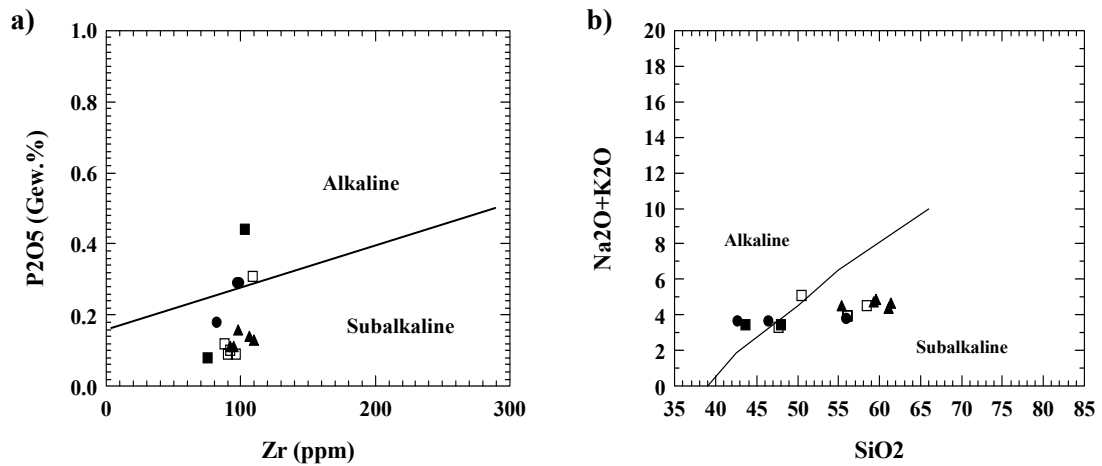


Abbildung 2.4: a) Diagramm P₂O₅ gegen Zr nach Winchester und Floyd (1976) für Vulkanite. b) SiO₂ gegen Alkalien nach Irvine and Baragar (1971).
Legende: ●: Kahouanne Basin, ▲: Dominica, □: St. Lucia, ■: Grenada; Die Einheiten der Oxide SiO₂, Na₂O und K₂O in Gew. %.

Unter Berücksichtigung von P₂O₅ und des immobilen Elements Zr (Abb. 2.4.a) fallen die Basalte von Grenada, sowie teilweise die Andesite des Kahouanne Basins in den alkalinen Bereich. Die Abreicherung von P₂O₅ in den anderen Proben könnte durch Alteration verursacht worden sein. Allerdings ist im Diagramm Alkalien gegen SiO₂ (Abb. 2.4.b) zu erkennen, dass die Proben keine großen Konzentrationsunterschiede der mobilen Elemente Na und K aufweisen, so dass man anhand dieser Hauptelemente keine Alteration nachweisen kann. Auch hier fällt ein Großteil der untersuchten Vulkanite in den subalkalinen Bereich.

Die Element-Daten der Vulkanituntersuchungen werden im Anhang (Tabelle I.1) aufgeführt.

2.3 Ozeanographie

Der Inselbogen der Kleinen Antillen befindet sich zwischen dem zwölften und dem achtzehnten Breitengrad Nord und somit in der tropischen Klimazone und steht als östlichster Teilbereich der Karibik in enger Verbindung zu den klimatischen und hydrologischen Bedingungen des karibischen Meeres. Die vorherrschenden Meeresströmungen bewegen sich mit einer Geschwindigkeit von durchschnittlich 1 Knoten von Ost nach West. Die oberflächennahen Strömungen in der südöstlichen Karibik werden zum größten Teil vom Süd-Äquatorialstrom gespeist, welcher sich, vom Osten kommend, vor der südamerikanischen Ostküste im Bereich des Äquators in einen südwärts und einen nordwärts gerichteten Strom teilt. Der Nordatlantikstrom, der sich im Urzeigersinn rund um den nördlichen Atlantik bewegt, hat für den Bereich der Kleinen Antillen wenige Auswirkungen (Abb. 2.5).



Abbildung 2.5: Der Atlantik und seine Meeresströmungen. Die feinen schwarzen Pfeile markieren die Oberflächenströmungen und die gelben dicken Pfeile die Tiefenströmungen; NADW: "north atlantic deep water", ACC: "antarctic circumpolar current", SCW: "south component water". (Karte verändert nach Haxby, 1998). Der gestrichelte Kasten beinhaltet das Arbeitsgebiet (siehe Abb. 2.6).

Die im Bereich der Kleinen Antillen wirkenden Tiefenströmungen kommen aus südöstlicher Richtung. Es handelt sich hauptsächlich um Strömungen, die mit den zirkumantarktischen Tiefenwässern (AABW und AAIW: "Antarctic Bottom Water" und "Antarctic Intermediate Water", zusammengefasst als SCW "South Component Water" bezeichnet – vergl. Abb. 2.5) in Verbindung stehen oder deren Ausläufer darstellen. Diese Ausläufer der antarktischen Tiefenwässer strömen von der Antarktis nach Norden über die Äquatorialzone bis in den Bereich der Karibik. Das Nordatlantische Tiefenwasser (NADW) strömt im westlichen Atlantik von Nord nach Süd in Wassertiefen zwischen 2000 und 4000 Metern. Durch diese großen Strömungstiefen des NADW ist es für diese Wässer nur eingeschränkt möglich die Barrieren des Inselbogens der Kleinen Antillen zu überwinden. Lediglich in der Anegada-Schwelle (rund 1800 m Wassertiefe), im nordwestlichsten Teil der Kleinen Antillen und in der Windward-Passage (östlich von Kuba mit rund 2000 m Wassertiefe) strömen Wässer mit karbonatreicher Fracht des NADW in das Karibische Becken und transportieren Partikel aus dem nördlichen Atlantik. Das AAIW bewegt sich während dessen in geringerer Tiefe (etwa 1000 bis 2000 m) über dem NADW in entgegengesetzte (nördliche) Richtung, überwindet teilweise die geringeren Tiefen zwischen den Inseln und strömt mit einer Geschwindigkeit von 0,7 bis 1,1 Knoten nach Westen in das karibische Becken (Kang, 1984; Nesbitt and Young, 1997; Abb. 2.6). Somit ist der Transport von Partikeln (und auch von verschiedenen Ionen, gelösten Gasen und O₂, N₂, CO₂, etc.) in die Zone der Kleinen Antillen und weiter nach Westen ins karibische Becken vorwiegend aus dem Süden geprägt. Die Zufuhr von Partikeln aus dem südlichen Atlantik hat einen – nicht geringen – Einfluss auf die abgelagerten Sedimente. Dieser Einfluss spiegelt sich in den Eigenschaften (z.B. der Isotopenzusammensetzung) gewisser Elemente wider. In den Kapiteln 4.3 und 6.4 wird auf diese Aspekte noch genauer eingegangen.

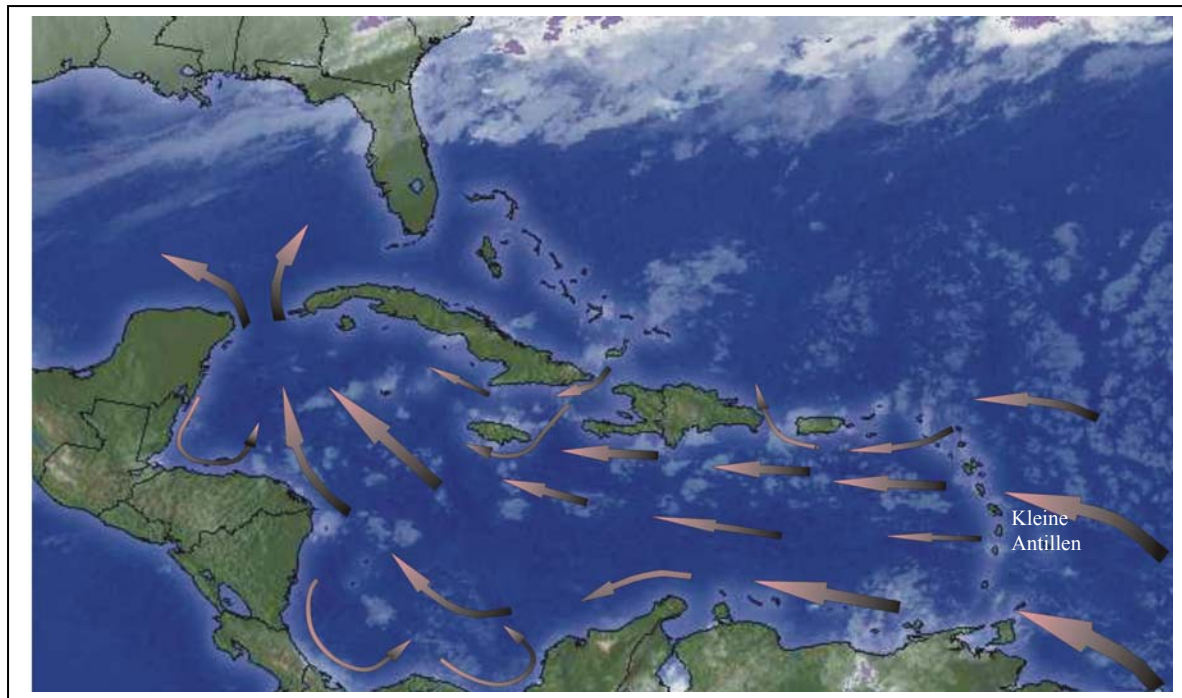


Abbildung 2.6: Richtungen und Stärken der Bodenströmungen im karibischen Meer. Je nach Pfeilstärke betragen die Strömungsgeschwindigkeiten zwischen 0,7 und 1,1 Knoten. Basiskarte (ohne Strömungspfeile): Satellitenkarte aus "The Weather Channel" Feb 2003.

2.3.1 Sauerstoffverhältnisse

Die Sauerstoffkonzentration der gesamten Wassersäule in den Untersuchungsgebieten bis in Tiefen von maximal 1200 m bewegt sich von einem durchschnittlichen O_2 -Sättigungsmaximum von ca. 95% in den Oberflächenwässern (etwa 7 ml/l O_2) bis zu einem Minimum von ca. 35% (zwischen 2,5 bis 3 ml/l O_2) in Tiefen bei 600 bis 700 m Wassertiefe. In Tiefen von etwa 1000 bis 1100 m steigt die O_2 -Konzentration im Meerwasser wieder auf etwa 50 % des Sättigungslimits an (Abb. 2.7). Es kann hier allerdings nicht von einer ausgeprägten Sauerstoffminimumzone gesprochen werden, wie sie in den Wässern der großen Ozeane, mit ihren tiefen ozeanischen Becken (>2000 m) ausgebildet ist, da in diesen Becken bei Wassertiefen von durchschnittlich 200 bis 1000 m die Sauerstoffkonzentrationen bis unter 1ml/l sinken. Unterhalb von etwa 800 m Wassertiefe beginnt eine sogenannte Regenerationszone, in der Tiefenströmungen sauerstoffreiche Wässer in den Bereich der Kleinen Antillen und weiter nach Westen transportieren (das SCW; siehe oben). Auch in den beprobten Erzen und Sedimenten konnten keine geochemischen Merkmale (z.B. P-Gehalte von über 1 Gew.%) nachgewiesen werden, die auf eine „echte“ Sauerstoffminimumzone hinweisen.

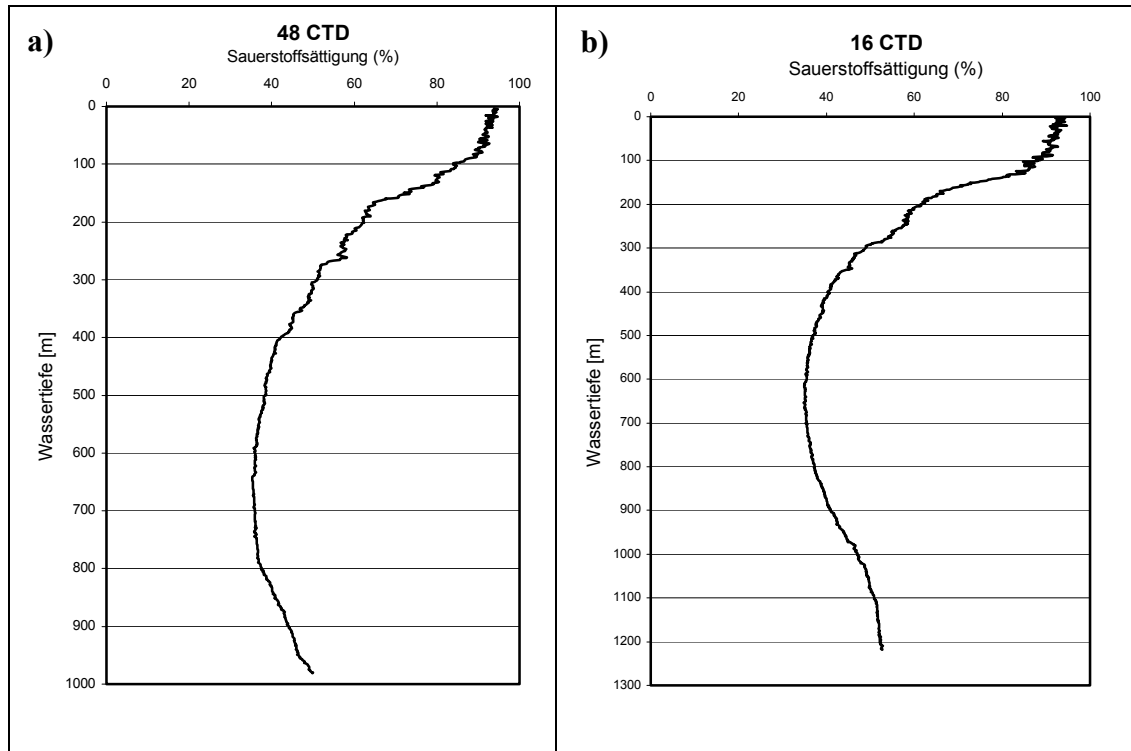


Abbildung 1.8 a): Profil der Sauerstoffsättigung im Bereich vom Montserrat Ridge (*48 CTD* bei $16^{\circ}39,52'N$ / $62^{\circ}20,00'W$ und 970 m Wassertiefe).

Abb. 1.8 b): Profil der Sauerstoffsättigung im Kahouanne Becken (*16 CTD* bei $16^{\circ}27,00'N$ / $61^{\circ}56,99'W$ und 1220 m Wassertiefe).