

Abschlußbericht

**BMBF-Verbundvorhaben
Sonderprogramm Geotechnologien
TIPTEQ Teilprojekt 7 - Geothermie**

Förderkennzeichen 03G0594F

H. Villinger M. Heesemann

Februar 2008

Fachbereich Geowissenschaften
Universität Bremen

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	10
2	Expeditionsdurchführung	11
3	Wissenschaftliche Ergebnisse	14
3.1	Wärmestromdichtemessungen	14
3.2	Reflexionsseismische Profile	16
3.3	Parameter für Modellierung	26
3.3.1	Geometrie der Subduktionszone	26
3.3.2	Randbedingungen	26
3.3.3	Konvergenzrate	28
3.3.4	Wärmeleitfähigkeiten	29
3.3.5	Wärmeproduktion	30
3.4	Modellierung	31
4	Erfolgskontrollbericht	38
4.1	Beitrag zu den förderpolitischen Zielen	38
4.2	Wissenschaftliche Erfolge	38
4.3	Zeit- und Finanzierungsplan	39
	Literaturverzeichnis	40
A	Tabellen	43
B	Abbildungen	46
B.1	Reflexionsseismische Linien	46
B.2	Geschwindigkeitsmodelle	48
B.3	ODP Daten	53
C	Veröffentlichungen	55
C.1	Thermal constraints on the frictional conditions...	55
C.2	Alteration of the subducting oceanic lithosphere...	85

Abbildungsverzeichnis

2.1	Wärmestromdichtemessungen im TIPTEQ-Untersuchungsgebiet und Bathymetrie von <i>Smith and Sandwell</i> (1997). Das Gebiete wurde von Nord nach Süd in die Korridore 1-4 aufgeteilt, in denen ozeanische Kruste mit unterschiedlichem Alter subduziert wird. Die blauen Symbole repräsentieren die wenigen Wärmestromdichtedaten (<i>Grevemeyer et al.</i> , 2005, 2003; <i>Pribnow et al.</i> , 2000; <i>Cande et al.</i> , 1987), die vor dem TIPTEQ Projekt zur Verfügung standen. Rote Kreise bezeichnen insitu-Wärmestromdichtemessungen, die während der Ausfahrt SO181-1b durchgeführt wurden. Alle neuen Daten liegen auf in Abb. 2.2 markierten reflexionsseismischen Profilen (vgl. auch Tab. A.1, A.2 im Anhang).	12
2.2	Bathymetrie aus Fächerlotdaten und von <i>Smith and Sandwell</i> (1997) im Untersuchungsgebiet. Das gestrichelte Oval zeigt die Region mit Hebungen und Senkungen (<i>Plafker and Savage</i> , 1970), die vom Erdbeben 1960 verursacht wurden. Der rote Stern markiert die Lokation des Epizentrums. Weitere Erdbeben aus Katalogen mit einer Magnitude größer 5 sind als weiße Kreise (ANSS) and Herdflächenlösungen (Harvard) dargestellt. Die farbigen Quadrate zeigen das Alter (siehe Farbskala) der ozeanischen Kruste, das von <i>Tebbens and Cande</i> (1997) aus magnetischen Anomalien bestimmt wurde. Weiterhin sind reflexionsseismischen Linien, die während der Fahrt SO-181-1b aufgezeichnet wurden (SCS; rote Linien) und die in <i>Brown et al.</i> (1996) beschriebenen Linien (Con; blaue Linien) eingezeichnet.	13
3.1	Übersicht über alle Wärmestromdichtemessungen, die während der Ausfahrt SO181-1b durchgeführt wurden. Es wurden sowohl Daten seewärts der Deformationsfront (oben) als auch am Kontinentalhang (unten) gewonnen. Konduktive Abkühlungsmodelle (<i>Stein and Stein</i> , 1992), durch farbige Linien gekennzeichnet, überschätzen zumeist die gemessenen Werte, da advective Kühlung durch zirkulierendes Seewasser vernachlässigt wird.	15
3.2	Reflexionsseismische Daten Profil SCS0401 am Kontinentalhang landwärts der Deformationsfront. Die Lage des Profils ist der Abbildung 2.2 entnehmen.	18
3.3	Reflexionsseismische Daten SCS0401 und magnetische Anomalien seewärts der Deformationsfront. Die Lage des Profils ist der Abbildung 2.2 entnehmen.	19
3.4	Reflexionsseismische Daten SCS0402 am Kontinentalhang landwärts der Deformationsfront. Die Lage des Profils ist der Abbildung 2.2 entnehmen. . . .	20
3.5	Reflexionsseismische Daten SCS0402 und magnetische Anomalien seewärts der Deformationsfront. Die Lage des Profils ist der Abbildung 2.2 entnehmen.	21
3.6	Reflexionsseismische Daten SCS0403 am Kontinentalhang landwärts der Deformationsfront. Die Lage des Profils ist der Abbildung 2.2 entnehmen. . . .	22

3.7	Reflexionsseismische Daten SCS0403 und magnetische Anomalien seewärts der Deformationsfront. Die Lage des Profils ist der Abbildung 2.2 entnehmen.	23
3.8	Reflexionsseismische Daten SCS0404 am Kontinentalhang landwärts der Deformationsfront. Die Lage des Profils ist der Abbildung 2.2 entnehmen. . . .	24
3.9	Reflexionsseismische Daten SCS0404 und magnetische Anomalien seewärts der Deformationsfront. Die Lage des Profils ist der Abbildung 2.2 entnehmen.	25
3.10	(a) Lokationen der Wärmestromdichtemessungen der Station H0402 entlang des reflektionsseismischen Profils SCS0401. (b) In der lateralen Änderung der Wärmestromdichte (Punkte) sollte sich bei rein konduktivem Wärmetransport die Basement-Topographie (c) widerspiegeln (gestrichelte Linie). Dabei wird davon ausgegangen, dass der Wärmetransport in den impermeablen Sedimenten im wesentlichen konduktiv ist und dass die Grenzfläche zwischen Sediment und Basement durch zirkulierendes Wasser auf einer konstanten Temperatur gehalten wird. Die Wärmestromdichtemessungen zeigen jedoch, dass sich (d) die Temperatur im oberen Basement der Temperatur des Bodenwassers annähert, je dichter die Messungen an dem Basementhoch liegen, das (a) nordöstlich der Messungen ausbeißt (<i>Contreras-Reyes et al.</i> , 2007) (vgl. Anhang ab Seite 85).	28
3.11	Beispiel der Wärmeleitfähigkeitsverteilung eines Modells für Korridor 2. Die farbcodierte Wärmeleitfähigkeit in den Seds- und CnBs-Bereichen hängt linear von den seismischen Geschwindigkeiten (siehe Abb. B.3) ab.	30
3.12	Detaillierte Ergebnisse eines FE-Modells auf Korridor 2. Die ober Grenze des OcCr-Bereichs ist unter dem Seds- und CnBs-Bereich (gelb und grün) als gestrichelte Linie dargestellt, die ab einer Bruchzonentemperatur von 150°C (obere Achse) rot und durchgezogen ist. Die blauen Linien geben die berechneten Wärmestromdichtewerte (dunkelblau geglättet) wieder. Rote Kreise zeigen Wärmestromdichtemessungen und Abschätzungen aus BSRs sind als grüne Punkte gekennzeichnet.	32
3.13	Parameter (linke und middle Spalten) und Ergebnisse (rechte Spalte) verschiedener FE-Modelle auf Korridor 2. Alle Modelle basieren auf plausiblen Parameterkombinationen und stehen in Übereinstimmung mit den gemessenen Wärmestromdichtedaten.	33
3.14	Modellbeispiele von Korridor 1–4 (von oben nach unten). Zur besseren Vergleichbarkeit wurden für alle Modelle die Parameter in Tabelle 3.1 verwendet.	34
3.15	Temperaturen in Korridor 1–4 entlang der Bruchzone des 1960 Erdbebens in Abhängigkeit von der Entfernung zur Deformationsfront. Die Temperaturen sind linear zu größeren Entfernungen extrapoliert (gestrichelt). Der thermisch definierte Bereich der seismogenen Zone (100 bis 350° C; e.g. <i>Hyndman and Wang</i> (1993)) ist dunkelrot hinterlegt und der Temperaturbereich (100 bis 450°C), an dem es unter bestimmten Voraussetzungen zu bruchhaften Verhalten kommen kann ist hellrot gekennzeichnet.	36

3.16	Lokationen von 245 von <i>Lange et al.</i> (2007) lokalisierten Erdbeben (Kreise und Kreuze) auf Korridor 2. Die Positionen von Seismometerstationen sind durch schwarze Dreiecke (oben) gekennzeichnet. Die auf den Tiefenschnitt (unten) projizierten Hypozentren zeigen klar den Verlauf der Wadati-Benioff Zone (<i>Lange et al.</i> , 2007).	37
B.1	Conrad 734 (Korridor 3)	46
B.2	Conrad 743 (Korridor 4)	47
B.3	Corridor 2 Geschwindigkeitmodell (Martin Scherwarth pers. comm.) . . .	48
B.4	Corridor 3 Geschwindigkeitmodell (Martin Scherwarth pers. comm.) . . .	49
B.5	Corridor 4 Geschwindigkeitmodell (Martin Scherwarth pers. comm.) . . .	49
B.6	Nördliches SPOC Profil bei 36.2°S (<i>The SPOC Team and Krawczyk</i> , 2003) . .	50
B.7	Mittleres SPOC Profil bei 37.2°S (<i>The SPOC Team and Krawczyk</i> , 2003) . .	51
B.8	Südliches SPOC Profil bei 38.2°S (<i>The SPOC Team and Krawczyk</i> , 2003) . .	52
B.9	Wärmeleitfähigkeiten an ODP Sites von Leg 141 und 202	53
B.10	Insitu Temperaturmessungen an ODP Sites von Leg 141 und 202	54

Tabellenverzeichnis

3.1	Vereinheitlichte Modellparameter für die Modelle in Abbildung 3.14.	35
A.1	Reflektionsseismische Linien auf denen von uns Wärmestromdichtemessungen durchgeführt wurden	43
A.2	SO-181-1b Wärmestromdichtemessungen	43
A.3	Rezente und paläo Plattenkonvergenzraten im Untersuchungsgebiet. Berechnungen basieren auf Eulerpolen von <i>Kendrick et al. (2003)</i>	45
A.4	Übersicht über ODP-Sites, die Randbedingungen für die thermischen Modelle lieferten.	45

1 Einleitung

Das Teilprojekt Geothermie ist eingebunden in das Verbundvorhaben TIPTEQ des BMBF, das im Rahmen des Sonderprogramms Geotechnologien die Untersuchung der Subduktionszone im Bereich des aktiven Kontinentalrandes vor Südchile zum Ziel hatte.

Subduktionszonen sind Schlüsselregionen der Plattentektonik. In ihnen findet der energetisch größte Teil der seismischen Aktivität der Erde statt, verbunden mit verheerenden Erdbeben, die sich dabei in relativ geringen Tiefen von weniger als 35-40 km in der Scherzone zwischen der subduzierten Kruste und dem überfahrenden Block ereignen. Dieser Abschnitt einer Subduktionszone wird als Seismogene Zone bezeichnet. In diesen geringen Tiefen werden Erdbeben durch Spannungen und Bruchprozesse im spröden Gestein gesteuert. Mit zunehmender Tiefe wird das Gestein erwärmt und verformt sich plastisch ($T > 350-450^{\circ}\text{C}$). In geringen Tiefen wird die Scherzone zwischen den Platten durch Tonminerale geschmiert, so dass ein nahezu reibungsfreies Gleiten erfolgt ($T < 100-150^{\circ}\text{C}$). Tektonische Erdbeben ereignen sich deshalb nur in einem begrenzten „Fenster“, dessen Lage primär durch die Temperatur in der Scherzone gesteuert wird (Hyndman et al., 1995; Oleskevich et al., 1999). Mit den geplanten Untersuchungen soll geklärt werden, inwieweit sich die unterschiedlichen Krustenalter der vor Südchile abtauchenden (subduzierten) ozeanischen Platte auf thermische Strukturen und Prozesse innerhalb der Subduktionszone auswirken.

Ziel der wissenschaftlichen Arbeiten im Teilprojekt Geothermie ist die Untersuchung der Einflussnahme der thermischen Struktur der in die Subduktionszone einfahrenden ozeanischen Lithosphäre auf die Geometrie und Struktur der Subduktionszone und der Lage der seismogenen Zone des chilenischen Kontinentalrandes. Um dieses Ziel zu erreichen sind geothermische Messungen sowohl auf der ozeanischen Platte seewärts des Tiefseegrabens als auch im Fore-Arc Bereich geplant. Der Schwerpunkt der Arbeiten liegt in drei unterschiedlichen Arbeitsgebieten. Die Korridore liegen bei 38°S auf ca. 30 Mio. Jahre alter Kruste (Korridor 1), bei 43°S auf ca. 15 Mio. Jahre alter Kruste (Korridor 2) und nördlich des Tripelpunktes bei 45°S auf ca. 7 Mio. Jahre alter Kruste (Korridor 3). Bedingt durch die großen Altersunterschiede der subduzierten Kruste und die thermischen Steuerungsgrößen der seismogenen Zone sollte sich die Lage der seismogenen Kontaktzone von Süden nach Norden landwärts verlagern. Zusätzliche Messungen südlich der Chile Triple Junction (CJT) sollen den Einfluss der erfolgten Subduktion des Chile Rückens auf das thermische Regime des Kontinentalrandes erkunden.

Alle thermischen Messungen werden analysiert, interpretiert und zusammengestellt und dann dazu verwendet, Randbedingungen für die Berechnung der thermische Modelle in der subduzierten Lithosphäre zu liefern. Die für die Berechnung der thermischen Tiefenstruktur notwendigen strukturellen Informationen werden den seismischen und seismologischen Datensätzen entnommen. Gemeinschaftlich können die kombinierten Datensätze dazu genutzt werden, um die Bedeutung thermischer und struktureller Steuerungsgrößen zu evaluieren.