

Kapitel 1

Einleitung

Der Wärmetransport im Innern der Erde ist von grundlegender Bedeutung für das Leben, wie wir es kennen. Besonders die Beschaffenheit der Erdoberfläche wird durch Prozesse im Erdinneren beeinflusst. Ausgelöst und gesteuert werden diese Prozesse durch den Transport von Wärme vom heißen Erdkern zur kühlen Erdkruste. Aber nicht nur die heutige Erde wird von Wärmetransportprozessen im Innern geprägt, auch in der Geburtsstunde der Erde spielte der Wechsel von warm zu kalt und der Transport von Wärme eine grundlegende Rolle. In der Urerde herrschten Temperaturen, die zum Aufschmelzen des Materials führten. Es kam zu einem Differentiationsprozeß: schwere Elemente, wie Nickel und Eisen, sanken ins Zentrum und bildeten den Erdkern. Die leichteren Elemente bildeten die starre Erdkruste und den viskosen Erdmantel (z.B. Press and Siever, 1995). Heute wird Wärme vor allem im Erdkern durch die Kristallisation von Eisen und Nickel produziert. Hier herrschen Temperaturen von ca. 5000 Kelvin (Boehler, 1993, 1992). Zwischen dem heißen Erdkern und der kühlen Erdkruste besteht ein Temperaturgefälle, das Wärmeausgleichsprozesse auslöst. Die zugrundeliegenden Mechanismen sind im wesentlichen die Konvektion von viskosen Material im Erdmantel und die Konduktion. Bei den hohen Temperaturen im Erdinneren spielt auch der Wärmetransport durch Strahlung eine große Rolle (Clark, 1957).

Eine wichtige Gruppe gesteinsbildender Minerale in der Erdkruste sind die Karbonate. In vielen geologischen Zeitaltern, wie z.B. Trias oder Devon, kam es zur Entstehung großer Gesteinskomplexe aus Karbonaten, in der Hauptsache Calcit und Dolomit. Ganze Gebirgszüge, wie die Dolomiten in den Alpen, setzen sich aus Karbonaten zusammen (z.B. Stanley, 1994). Innerhalb der Gruppe der Karbonate nimmt der Calcit eine Sonderstellung ein. Die Häufigkeit dieses Mineralen in der Erdkruste liegt bei 1,5 Massen-%. Damit ist Calcit nach den Silikaten und Eisenoxiden das häufigste Mineral (Rösler, 1990).

Zur Modellierung des Temperaturfeldes der Erde oder der Abkühlungsgeschichte lokaler

Temperaturfelder, wie z.B. Kontaktaureolen, müssen die thermischen Eigenschaften der wichtigsten gesteinsbildenden Minerale der Erdkruste und des Erdmantels (in Abhängigkeit von der Temperatur und Orientierung) bekannt sein (z.B. Čermák and Rybach, 1982, Robertson, 1988, Buntebarth and Gliko, 1994). Eine wichtige Rolle spielt die Modellierung der Temperaturschicht großer Sedimentbecken, wie das Norddeutsche Becken (Srivastava and Singh, 1998). Die Entstehung von Lagerstätten fossiler Brennstoffe ist an Sedimentbecken gebunden (Nagihara et al., 2002). Auch der Aufstieg von Manteldiapiren oder Salzstöcken in der Erdkruste ist durch Wärmetransporteigenschaften der Erdkruste gesteuert. Obwohl die Karbonate einen großen Teil der Erdkruste bilden, sind die thermischen Eigenschaften der Karbonate nur in Ansätzen untersucht. Besonders die Temperaturabhängigkeit der thermischen Eigenschaften wurde bisher nur im Mineral Calcit untersucht. Jedoch zeigen die vorhandenen Werte eine große Variation. Beispielsweise wurde bei 0 ° C in der Arbeit von Birch and Clark (1940) in Richtung [100] die Temperaturleitfähigkeit mit $1,7 \text{ mm}^2/\text{s}$, bei Powell and Childs (1972) mit $2,2 \text{ mm}^2/\text{s}$ bestimmt. Auch die Abhängigkeit der Temperaturleitfähigkeit von der kristallographischen Orientierung ist nur ansatzweise bekannt. Nur bei den Mineralen Calcit und Magnesit wurden Untersuchungen unter Berücksichtigung der Orientierung vorgenommen.

Obwohl es viele Arbeiten über den Wärmetransport in Mineralen gibt (z.B. Eucken, 1911, Holt, 1975, Gibert et al., 2005 und viele mehr), ist noch wenig über Zusammenhänge bekannt, die zwischen den Wärmetransporteigenschaften und der chemischen Zusammensetzung oder der Symmetrie bestehen. Eine Aufgabe dieser Arbeit ist es, diese Zusammenhänge bei Karbonaten quantitativ zu beschreiben. Zu diesem Zweck werden systematische Untersuchungen an Karbonaten durchgeführt. Die Gruppe der Karbonate eignet sich besonders gut zur systematischen Untersuchung der Wärmetransporteigenschaften. Diese Minerale liegen in Form zweier

Tabelle 1.1: Häufigkeit der wichtigsten Minerale und Mineralarten in der Erdkruste in Massenprozent (Rösler, 1990).

Minerale	Häufigkeit (Massenprozent)	
Feldspäte	58	} Silikate 90.5
Pyroxene, Amphibole und Olivin	16,5	
Quarz	12,5	
Glimmer	3,5	
Eisenoxide	3,5	
<i>Calcit</i>	1,5	
Silikatische Tonminerale	1,0	
alle anderen Minerale	3,5	
Summe	100	

unterschiedlicher Modifikationen vor – trigonal und orthorhombisch. Die chemische Struktur ist in beiden Modifikationen identisch und unterscheidet sich durch den Einbau einer großen Zahl unterschiedlicher Kationen (z.B. Mg, Ca, Ba, Pb, Fe).

Ein weiteres Ziel dieser Arbeit ist die Erstellung eines umfangreichen Datensatzes der thermischen Eigenschaften von wasserfreien Karbonaten, in Abhängigkeit von der Temperatur und der Orientierung. Damit verbunden ist die Bestimmung des vollständigen Tensors der Temperaturleitfähigkeit über Phononen. Mit der verwendeten Methode (Schilling, 1998) ist die Untersuchung großer Proben (ca. 1 cm³) möglich. Durch die Versuchsführung und die hohe Zeit- und Temperaturauflösung ist eine sehr genaue Bestimmung der intrinsischen Temperaturleitfähigkeit möglich.

Die Anwendbarkeit von Modellen zur Abschätzung der Temperaturleitfähigkeit bei höheren Temperaturen wird mit den Ergebnissen dieser Arbeit überprüft. Im wesentlichen werden bisher in Publikationen empirische Gleichungen nach dem Debey-Modell (Debey, 1914) zur Beschreibung der Wärmetransporteigenschaften verwendet und die Temperaturabhängigkeit der Temperaturleitfähigkeit beschrieben (Clauser and Huenges, 1995). Dieses Modell beruht auf der Annahme eines idealen Kristalls, der sich aus einer Atomart und einer Bindungsart aufbaut (Debey, 1914). Der physikalische Hintergrund für die Temperaturabhängigkeit der Temperaturleitfähigkeit natürlicher Minerale wird mit diesem Modell jedoch nicht beschrieben. Mit dem Modell nach Roufosse and Klemens (1974) ist eine physikalisch korrektere Beschreibung der Temperaturabhängigkeit in Isolatoren möglich. Beide Modelle werden mit den experimentellen Daten dieser Arbeit überprüft. Mit einem geeigneten Modell könnten dann bessere Abschätzungen zum Verhalten der Wärmetransporteigenschaften durch Phononen in Isolatoren bei Temperaturerhöhung vorgenommen werden.

