



Abbildung 5.56: Häufigkeitsverteilung petrophysikalischer Eigenschaften von Sandsteinproben aus dem Buntsandstein (schwarze gestrichelte Linie: Mittelwert; weiße gestrichelte Linie: Median; graues Feld: Standardabweichung): λ : Wärmeleitfähigkeit gesättigter Proben (alle Einzelwerte aus den Scanlinien; vgl. Text); ρ : Reindichte (eine Einzelmessung je Probe; vgl. Text); ϕ : Porosität (eine Einzelmessung je Probe; vgl. Text); V_p : Kompressionswellengeschwindigkeit gesättigter Proben (alle Einzelwerte aus den Scanlinien; vgl. Text).

sandsteins repräsentiert, so dass die in Abschnitt 4.2.3 gefundenen Zusammenhänge übernommen werden können. Die Tiefenabhängigkeit kann demnach bei einem lithostatischen Druckgradienten von 25 MPa km^{-1} in Anlehnung an Gleichung 4.10 wie folgt beschrieben werden:

$$\lambda(\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}) = -0,0044 \cdot P(\text{MPa}) + 3,1426 \quad (5.7)$$

Kapitel 6

Zusammenfassung und Bewertung der Ergebnisse

6.1 Erzielte Ergebnisse

Die bereitgestellten thermischen und hydraulischen Gesteinseigenschaften wurden in diesem Projekt durch direkte Labormessungen und eine indirekte Ableitung aus einer Kombination unabhängiger geophysikalischer Bohrlochmessungen bestimmt. Eine zusammenfassende Übersicht zu den stratigraphischen Einheiten ist in Tabelle 6.1 dargestellt. Fehlende Werte sind hier durch Angaben aus der Literatur ergänzt worden. Vor allem die Gesteinseigenschaften aus dem Tertiär des Süddeutschen Molassebeckens stützen sich auf Vorarbeiten von Rath und Clauser (2004) (vgl. Abschnitt 5.1.2). Im Folgenden werden die Hauptergebnisse dieser Projektphase entsprechend den in der Einleitung vorgegebenen Aufgaben (Abschnitt 1.3) zusammengefasst.

Tabelle 6.1: Zusammenfassende Übersicht zu den thermischen und hydraulischen Eigenschaften der wichtigsten stratigraphischen Einheiten im Untersuchungsgebiet: Wärmeleitfähigkeit λ_s des wassergesättigten Gesteins, volumetrische Wärmekapazität $\rho_m c_p$ (vgl. Abschnitt 4.1.3), Porosität ϕ (aus Labormessungen) und hydraulische Permeabilität k . (1) Nach Bohrmeter gewichteter Mittelwert der aus den Logs jeder Einzelbohrung berechneten Wärmeleitfähigkeiten bzw. Mittelwert der Labormessungen (kursiv); (2) Extrema der Einzelwerte aus allen Logs bzw. aus allen Labormessungen (kursiv); (3) Oberflächenproben aus Steinbrüchen; (4) aus Rath und Clauser (2004); (5) aus Preusche (1996); (6) Messung Gesteinslabor Dr. Jahns (aus Rath und Clauser, 2004); (7) Labormessungen der Wintershall AG (nur Bausteinschichten und Cyrenenschichten; aus Rath und Clauser, 2004); (8) aus Pikulski (1991); (9) ohne Melsler Sandstein.

Stratigraphische Einheit	λ_s ($W m^{-1} K^{-1}$)				Thermische Parameter $\rho_m c_p$ ($MJ m^{-3} K^{-1}$)				Hydraulische Parameter					
	(1) Mittelwert	(2) Min.	(2) Max.	n (Bohrungen)	Logmeter/ n (Proben)	Mittelwert	Min.	Max.	n (Proben)	ϕ (-)	Min.	Max.	n (Proben)	k (m^2)
O. Meeresmolasse allg.	(4) 3,06	2,98	3,17	1	6	(4) 3,15								(4) $9,4 \cdot 10^{-14}$
Baltringer Schichten	(4) 3,06	2,89	3,67	1	54	(4) 3,15								(6) $1,6 \cdot 10^{-12}$ (4) $6,0 \cdot 10^{-13}$
Sandschiefer	(4) 2,89	2,34	3,71	1	267									
Basissandstein	(4) 3,10	2,79	3,43	1	62									
U. Süßwassermolasse	(4) 3,05	1,80	3,46	4	46	(4) 2,90								(5) $1,8 \cdot 10^{-15}$
U. Cyrenenschichten	(4) 2,44	1,81	2,92	2	12									
Bausteinschichten	(4) 2,88	1,57	3,81	14	181	(4) 3,15								(5) $8,4 \cdot 10^{-14}$ (7) $4,1 \cdot 10^{-11}$
Oberjura (Malm)	2,74	1,15	3,11	12	4995	2,23	2,03	2,56	14		Kalkstein: 0,04 Dolomit: 0,09 Mergel: 0,05	0,13 0,13 0,08	44 20 9	(4) $6,7 \cdot 10^{-13}$ – $6,7 \cdot 10^{-11}$
Mitteljura (Dogger)	1,82	1,16	4,57	11	1774							0,13 0,20	8	
Untejura (Lias)	2,02	1,16	4,83	11	451	1,95	1,93	1,98	4			0,04 0,30	14	(8) $2 \cdot 10^{-16}$ – $9,6 \cdot 10^{-14}$
Keuper-Schilfsandstein	2,47	2,41	2,59	(3) 2	9	1,99	1,94	2,03	2			0,03 0,17	11	(8) $1 \cdot 10^{-16}$ – $9,4 \cdot 10^{-13}$
Keuper-Stubensandstein	3,34	3,03	3,67	3	10	2,09	2,08	2,10	2			0,20 0,16 0,23	9	(gesamt Keuper)
Muschelkalk	(9) 3,34	2,42	4,96	5	427	2,27	1,95	2,41	11			0,16 0,08 0,22	10	
Buntsandstein	4,32	3,02	5,29	2 + (3) 1	23	2,00	1,80	2,26	7			0,04 0,12 0,20	20 28	
												0,10 0,02 0,22	23	

Methodische Arbeiten

In dieser ersten Projektphase wurde eine Reihe von methodischen Arbeiten durchgeführt, die zwar naturgemäß nur exemplarisch in die hier präsentierten Ergebnisse einfließen konnten, jedoch im laufenden Folgeprojekt relevant werden. Durch die in den Abschnitten 2.1.7 (NMR) und 2.1.8 (SIP) beschriebenen experimentellen Entwicklungen konnten erste Erfahrungen der Bestimmung hydraulischer Eigenschaften gewonnen werden, die für die Entwicklung einer gemeinsamen Interpretationsmethodik (z. B. bei der Aufstellung petrophysikalischer Gesteinsmodelle) entscheidend sind.

Auf dem Gebiet der Loginterpretation wurden durch die Entwicklung eines neuartigen, auf dem Bayes'schen Ansatz beruhenden Inversionsprogramms wesentliche Schritte auf dem Weg hin zu einer der geothermischen Fragestellung angepassten Methode getan (Abschnitt 2.2.6). Der verwendete Ansatz ermöglicht es, theoretische wie auch (semi)empirische Gesteinsmodelle, die neben den lithologisch kontrollierten und somit lokalen Eigenschaften auch globale Zusammenhänge (z.B. Temperatur- und Druckabhängigkeiten) adäquat in die Interpretation einzubeziehen. Dieser Ansatz ist damit besonders geeignet für eine Zusammenführung der Logging-Daten mit den Ergebnissen der Laboruntersuchungen. Die entwickelte Methode geht damit weit über die kommerziell erhältlichen und im Wesentlichen auf die Bedürfnisse der Kohlenwasserstoff-Industrie zugeschnittenen Softwarepakete hinaus. Durch den offenen Charakter dieser Entwicklung kann sie als Grundlage weiterführender Untersuchungen dienen.

Gewinnung, Qualitätskontrolle und faziesbezogene Auswertung von Logging-Daten und Labormessungen

Aus dem Bereich des westlichen Süddeutschen Molassebeckens und der nördlich angrenzenden Schwäbischen Alb wurden insgesamt 270 Einzelproben aus 15 verschiedenen Bohrlochlokalationen und 12 verschiedenen Oberflächenaufschlüssen im Labor untersucht. Die hier vorkommenden Gesteinstypen werden als repräsentativ für die 41 stratigraphischen Untereinheiten zwischen Buntsandstein und Tertiär angesehen. An diesen Proben wurden ca. 25000 Einzeldaten der Wärmeleitfähigkeit und jeweils ca. 5000 Einzeldaten der akustischen Wellengeschwindigkeit und der Rohdichte gewonnen. Für die räumliche Abdeckung flossen Bohrlochmessdaten aus 22 überwiegend im westlichen Molassebecken befindlichen Bohrungen in die Auswertung ein, die zusammen über 40000 Tiefenmeter ergeben.

Bislang erstmalig wurden in dieser Studie an einer repräsentativen Auswahl der Laborproben neben einer Datenerhebung auch eine qualitative Gesteinsbeschreibung sowie eine quantitative Bestimmung der mineralogischen und chemischen Gesteinszusammensetzung durchgeführt. Das ermöglicht die Zuordnung gesteinsphysikalischer Daten zu den jeweiligen Gesteinstypen und deren Komponenten. Diese Verbindung zwischen Petrophysik und Lithologie erlaubt es, die lokal gewonnenen Daten in eine räumliche Dimension zu überführen und eine weitgehende Übertragbarkeit auf andere Gebiete zu gewährleisten.

Darüber hinaus wurden auch die petrophysikalischen Eigenschaften der Hauptgesteinsarten ermittelt (Abschnitt 4.1). Zum Beispiel sind die Kalksteine trotz unterschiedlichen Alters und Genese durch eine sehr geringe Variationsbreite der petrophysikalischen Eigenschaften gekennzeichnet. Die Messdaten liefern hier somit repräsentative Kennzahlen für die Kalksteine des betrachteten Arbeitsgebietes. Die Dolomite zeigen hingegen größere Variationsbreiten ihrer Kennwerte. Diese hängt vom Grad der Dolomitisierung ab, die mit einer Erhöhung der Reindichte, der Porosität und der Wärmeleitfähigkeit einher geht. Sandsteine weisen in Abhängigkeit der Stratigraphie und der Genese eine starke Streuung der Messdaten auf. Das Ablagerungsmilieu und diagenetische Prozesse bedingen hier Unterschiede in

der mineralogischen Zusammensetzung, die sich wiederum beispielsweise auf die Wärmeleitfähigkeit auswirken.

Modellbasierte Erstellung thermischer und hydraulischer Kenngrößen aus Labordaten und bohrlochgeophysikalischen Messungen

Mit Hilfe der mineralogischen Untersuchungen konnte in vielen Fällen ein verbessertes Gesteinsmodell gewonnen oder ein gegebenes Modell kalibriert werden, indem die jeweils am Gesamtgestein ermittelten Werte mit theoretischen Modellen zur Berechnung der Wärmeleitfähigkeit abgeglichen wurden. Für die schon erwähnten Kalk- und Dolomitgesteine liefert beispielsweise das Lichtenecker-Modell die beste Abschätzung der Wärmeleitfähigkeit (Abschnitt 4.1.2). Eine Modifikation dieses Modells berücksichtigt die Beziehung zwischen Matrix, Porenraumstruktur und Wärmeleitfähigkeit der Hauptgesteinsarten und erlaubt eine Kalibrierung des bestehenden Modells. Aufbauend auf der hier entwickelten Methodologie konnte die Vorhersagefähigkeit bezüglich der thermischen Gesteinseigenschaften deutlich verbessert werden.

Für die Ableitung thermischer und hydraulischer Kennwerte aus Bohrlochmessungen wurden für jede stratigraphische Einheit zunächst Mehrstoffmodelle auf Basis der Laboruntersuchungen entwickelt. Die Eingangsparameter für die Mehrstoffmodelle (Matrix-Wärmeleitfähigkeit, Kompressionswellengeschwindigkeit) wurden aus den Laborergebnissen der jeweiligen stratigraphischen Einheiten ermittelt. Mittels der Mehrstoffmodelle wurden dann aus den Logging-Daten die volumetrischen Gesteinskomponenten berechnet, aus denen wiederum die effektive Wärmeleitfähigkeit abgeleitet wurde (Kapitel 5). Es zeigte sich, dass die zu Grunde liegenden Eingangsparameter für jede stratigraphische Einheit immer wieder neu festgelegt werden müssen. Beispielsweise erreicht selbst die Matrix-Wärmeleitfähigkeit reiner Kalksteine nie den Wert, den man für das Einzelmineral erhalten würde. Es ist deshalb sinnvoll, einzelne stratigraphische Systeme auf genetische Aspekte hin zu analysieren und entsprechend zusammenzufassen. Die Einteilung in lithostratigraphische Einheiten entspricht demnach genetischen Einheiten, ausgehend von den terrestrischen Sequenzen des Buntsandsteins bis hin zu den evaporitischen Sequenzen des Malms.

Übertragung der Gesteinseigenschaften auf in-situ Bedingungen

An etwa 50 ausgewählten Gesteinsproben wurde die Druck- und Temperaturabhängigkeit von Wärmeleitfähigkeit und hydraulischen Eigenschaften bestimmt. Die Untersuchungen zur Abhängigkeit von thermischen und hydraulischen Eigenschaften von Druck und Temperatur ergeben in den meisten Gesteinen des Süddeutschen Molassebeckens einen linearen Zusammenhang zwischen der Wärmeleitfähigkeit und der Versenkungstiefe. Wie zu erwarten zeigen die untersuchten Sandsteine den deutlichsten Effekt. Demgegenüber weisen die Karbonate nur eine geringe Druck- und Temperaturabhängigkeit auf, sodass die hierdurch hervorgerufene Variation bis zu einer Tiefe von 3000 m bei Berücksichtigung der Messunsicherheit vermutlich vernachlässigbar ist. Für die Tonsteine ist der Tiefeneffekt nicht konsistent beschreibbar. Hier konkurrieren zwei gegenläufige Prozesse: Die Wärmeleitfähigkeit der Matrix sinkt mit gleichzeitig steigender Temperatur und steigendem Druck. Die Druckzunahme führt aber durch Kompaktion zu einem geringeren Wassergehalt in den Tonmineralen und damit zu einem Anstieg der Gesamtleitfähigkeit. Es sind daher weitere Messungen notwendig, um Druck- und Temperaturabhängigkeiten auch für die tonführenden Lithologien in der nötigen Genauigkeit erfassen zu können.

Bewertung der erzielten wissenschaftlichen Ergebnisse

Dieses Projekt wurde mit der Motivation begonnen, die spärliche Datengrundlage thermophysikalischer Gesteinseigenschaften zu erweitern. Mit den hier dargestellten Arbeitsergebnissen wurde erstmalig eine systematische Untersuchung vorgenommen und ein Datensatz von bisher unbekannter Qualität und Quantität erzielt. Die bisher schon gewonnenen Daten werden in der zweiten Projektphase noch ergänzt und mit den jetzigen Projektergebnissen zusammengeführt und der Öffentlichkeit zugänglich gemacht werden.

6.2 Voraussichtlicher Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse

Durch die im Forschungsvorhaben erarbeiteten Resultate vorgesehenen Entwicklungen wird es möglich, das geothermische Potenzial besser abzuschätzen und somit die Planungssicherheit für geothermische Anlagen zu erhöhen. Zum Beispiel können die ermittelten thermischen Eigenschaften als Eingangsparameter für Simulationen zur Auslegung und zum Langzeitverhalten von Erdwärmesonden und hydrothermalen Anlagen zur Wärme- und Stromerzeugung genutzt werden. Die Arbeiten zur Erstellung einer statistisch repräsentativen Datenbasis für die verschiedenen Regionen Deutschlands werden wesentlich dazu beitragen, die Aufsuchung und Standortwahl für geothermische Energiegewinnung zu optimieren und stützen somit die förderpolitischen Bestrebungen eines Ausbaus regenerativer Energien in Deutschland. Die Verbesserung der Datenbasis im Bereich der Geothermie sollte positive Impulse auf den Ausbau geothermischer Energiegewinnung in Deutschland ausüben.

Weiter kann erwartet werden, dass die Verbesserung der Datengrundlage im Bereich der Geothermie positive Impulse auf die deutsche Bohr- und Maschinenindustrie gibt. Neben wirtschaftlichen Aspekten werden durch die kombinierte Auswertung von Labordaten, bohrlochgeophysikalischen Daten und geologischem Umfeld neue Erkenntnisse auf dem Gebiet der Gesteinsphysik erworben.

6.3 Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen

Parallel zum abgeschlossenen Vorhaben und der gegenwärtig laufenden zweiten Projektphase soll das BMU-Projekt „Aufbau eines geothermischen Informationssystems (GeotIS) für Deutschland“ unter dem Förderkennzeichen 0327542 unter Beteiligung mehrerer Landesämter die Qualität bei der Projektierung von geothermischen Anlagen verbessern und das Fündigkeitsrisiko minimieren. Es soll im Wesentlichen Daten über tiefe, für geothermische Nutzung geeignete Aquifere beinhalten. Die Ergebnisse aus beiden Projektphasen sollen in geeigneter Form in das Informationssystem einfließen.

6.4 Erfolgte Veröffentlichungen im Rahmen des Projektes

Zeitschriften

- Hartmann, A.; Pechnig, R.; Koch, A.; Clauser, C.: Ermittlung thermischer und hydraulischer Gesteinseigenschaften für den flachen und tiefen Untergrund in Deutschland. *Geothermische Energie*, 2006, 51, 4-8.
- Hartmann, A.; Pechnig, R.; Clauser, C.: Petrophysical analysis of regional-scale thermal properties for improved simulations of geothermal installations and basin-scale heat and fluid flow.

International Journal of Earth Sciences, 2007, submitted.

Poster und Vorträge

- Hartmann, A.; Clauser, C.; Pechnig, R.: Erstellung statistisch abgesicherter thermischer und hydraulischer Gesteinseigenschaften für den flachen und tiefen Untergrund in Deutschland; Phase 1: Westliche Molasse, Schwäbische Alb und Franken. Geothermische Jahrestagung 2005, Geothermie: Synergie und Effizienz, 16.-17. November 2005 in Unterschleißheim, 2005.
- Hartmann, A.; Pechnig, R.; Clauser, C.: Rock Property Mapping for Improved Planning of Geothermal Installations. Thirty-First Workshop on Geothermal Reservoir Engineering, Stanford University, Stanford, California, January 30-February 1, 2006, SGP-TR-179, 2006.
- Koch, A.; Jorand, R.; Pechnig, R.; Mottaghy, D.; Clauser, C.: Use of Exploration Wells to Improve Geothermal Reservoir Models. Tagungsband der 67. Jahrestagung der Deutschen Geophysikalischen Gesellschaft, 26. - 29. März 2007 in Aachen, 2007.
- Pechnig, R.; Mottaghy, D.; Koch, A.; Jorand, R.; Clauser, C.: Prediction of Thermal Properties for Mesozoic Rocks of Southern Germany. Tagungsband der 67. Jahrestagung der Deutschen Geophysikalischen Gesellschaft, 26. - 29. März 2007 in Aachen, 2007.
- Jorand, R.; Pechnig, R.; Mottaghy, D.; Koch, A.; Clauser, C.: Determination of thermal and hydraulic Properties for different Lithologies of Southern Germany. European Geosciences Union, General Assembly, Vienna, 15 - 20 April 2007, 2007.
- Koch, A.; Jorand, R.; Pechnig, R.; Mottaghy, D.; Clauser, C.: Use of Exploration Wells to Improve Geothermal Reservoir Models. Proceedings European Geothermal Congress 2007, Unterhaching, Germany, 30 May-1 June 2007, 2007.
- Pechnig, R.; Mottaghy, D.; Koch, A.; Jorand, R.; Clauser, C.: Prediction of Thermal Properties for Mesozoic Rocks of Southern Germany. Proceedings European Geothermal Congress 2007, Unterhaching, Germany, 30 May-1 June 2007, 2007.

Diplomarbeiten und Dissertationen

Folgende Abschlussarbeiten an der RWTH Aachen tragen in Teilen zu den Ergebnissen der abgeschlossenen Projektphase bei:

- Fehr, A.: NMR- und SIP-Messungen an Gesteinsproben. Diplomarbeit. RWTH Aachen, eingereicht, 2007.
- Hartmann, A.: Inversion of geothermal parameters using borehole and core data. Dissertation RWTH Aachen, eingereicht, 2007.

Angewandte Geophysik und Geothermische Energie
E.ON Forschungszentrum für Energie
RWTH Aachen

Projektleiter
(Prof. Dr. C. Clauser)

Literaturverzeichnis

- Allen, D., Flaum, C., Ramakrishnan, T., Bedford, J., Castelijns, K., Fairhurst, D., Gubelin, G., Heaton, N., Minh, C., Norville, M., Seim, M., Pritchard, T., und Ramamoorthy, R., Trends in NMR Logging, *Oilfield Review*, 12 (3), 2–19, 2000.
- Anferova, S., Anferov, V., Rata, D. G., Blümich, B., Arnold, J., C., C., Blümmler, P., und Raich, H., Mobile NMR device for measurements of porosity and pore size distributions of drill core samples, *Concepts in Magnetic Resonance. Part B, Magnetic Resonance Engineering*, 23(B), 26–32, 2004.
- Anonym, Geologischer Bericht über die Aufschlussbohrung Ebratsweiler 1, Bericht, Wintershall AG, 1985.
- Anonym, *Log Interpretation Charts*, Schlumberger, Houston, TX, 1989.
- Anonym, *Kristallin im süddeutschen Molasseuntergrund, Geologie im bayerischen Schichtstufenland*, Bd. 108 von *Geologica Bavarica*, Bayerisches Geologisches Landesamt, München, 1998a.
- Anonym, *Geowissenschaftliche Übersichtskarten von Baden-Württemberg 1 : 350.000, Karte und CD*, Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau Baden-Württemberg, Freiburg, 1998b.
- Anonym, *Karten der mineralischen Rohstoffe von Baden-Württemberg 1 : 50.000*, Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau Baden-Württemberg, 1999-2007.
- Anonym, Projekt Opalinuston: Synthese der geowissenschaftlichen Untersuchungsergebnisse. Entsorgungsnachweis für abgebrannte Brennelemente, verglaste hochaktive sowie langlebige mittelaktive Abfälle, Nagra Technischer Bericht (NTB) 02-03, NAGRA, 2002.
- Anonym, *Geologische Karte von Bayern 1 : 500.000, 4. Auflage; Erläuterungen und CD*, Bayerisches Geologisches Landesamt, München, 2004.
- Anonym, Symbolschlüssel Geologie Baden-Württemberg - Verzeichnis Geologischer Einheiten - Stand: Mai 2005. Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau Baden-Württemberg., 2007.
- Arnold, J., *Mobile NMR for rock porosity and permeability*, Dissertation, RWTH Aachen University, 2007.
- Arnold, J., Clauser, C., Pechinig, R., Anferova, S., Anferov, V., und Blümich, B., Porosity and permeability from mobile NMR core-scanning, *Petrophysics*, 47, 306–314, 2006.
- Asaad, Y., *A study of the thermal conductivity of fluid-bearing porous rocks*, Dissertation, University of California – Berkeley, 1955.

- Beardsmore, G. R. und Cull, J. P., *Crustal Heat Flow*, Cambridge University Press, 2001.
- Beck, A. E., Methods for determining thermal conductivity and thermal diffusivity, in *Handbook of Terrestrial Heat-Flow Density Determination*, herausgegeben von R. Haenel, L. Rybach, und L. Stegena, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 1988.
- Bertleff, B. und Watzel, R., Tiefe Aquifersysteme im südwestdeutschen Molassebecken. eine umfassende hydrogeo-logische Analyse als Grundlage eines künftigen Quantitäts- und Qualitätsmanagement, *Abh. L.-Amt Geologie, Rohstoffe und Bergbau Baden-Württemberg*, 15, 75–90, 2002.
- Bertleff, B., Joachim, H., Kozirowski, G., Leiber, J., Ohmert, W., Prestel, R., Stober, I., Strayle, G., Villinger, E., und Werner, J., *Ergebnisse der Hydrogeothermiebohrungen in Baden-Württemberg*, Bd. 30 von *Abhandlungen des geologischen Landesamt Baden-Württemberg*, LGRB, Freiburg, 1988.
- Bethke, C. M., Inverse hydrologic analysis of the distribution and origin of Gulf Coast-type geopressed zones, *Journal of Geophysical Research*, 91, 6535–6545, 1986.
- Binley, A., Slater, L. D., Fukes, M., und Cassiani, G., Relationship between spectral induced polarization and hydraulic properties of saturated and unsaturated sandstone, *Water Resources Research*, 41, 2005.
- Birch, F., The effects of pleistocene climatic variations upon geothermal gradients, *American Journal of Science*, 246, 729–760, 1948.
- Bischof, C., Lang, B., und Vehreschild, A., Automatic differentiation for MATLAB programs, *Proc. Appl. Math. Mech.*, 2, 50–53, 2003.
- Bischof, C. H., Bücker, H. M., Lang, B., Rasch, A., und Vehreschild, A., Combining source transformation and operator overloading techniques to compute derivatives for matlab programs, in *Proceedings of the Second IEEE International Workshop on Source Code Analysis and Manipulation (SCAM 2002)*, S. 65–72, IEEE Computer Society, Los Alamitos, CA, USA, 2002.
- Börner, F. D., Schopper, J., und Weller, A., Evaluation of transport and storage properties in the soil and groundwater zone from induced polarization measurements, *Geophysical Prospecting*, 44, 583–601, 1996.
- Brinkmann, R., *Abriss der Geologie*, Bd. II. Historische Geologie, Erd- und Lebensgeschichte, Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart, 13. Ausgabe, 1986.
- Cermak und Rybach, L., Thermal conductivity and specific heat of minerals and rocks, in *Landolt-Börnstein: Numerical Data and Functional Relationships in Science and Technology*, herausgegeben von G. Angenheister, Bd. V/1a, S. 305–343, Springer, Berlin, 1982.
- Clauser, C., Geothermal energy, in *Landolt-Börnstein, Group VIII: Advanced Materials and Technologies, Vol. 3: Energy Technologies, Subvol. C: Renewable Energies*, herausgegeben von K. Heinloth, S. 493–604, Springer Verlag, Heidelberg-Berlin, 2006.
- Clauser, C. und Huenges, E., Thermal conductivity of rocks and minerals, in *Rock Physics and Phase Relations – a Handbook of Physical Constants, AGU Reference Shelf*, herausgegeben von T. J. Ahrens, Bd. 3, S. 105–126, American Geophysical Union, Washington, 1995.

- Dunn, K., Bergman, D. J., und Latorraca, G., *Handbook of geophysical exploration. Seismic exploration*, Pergamon, Elsevier Science, Oxford, 2002.
- Ellis, D. V., *Well logging for earth scientists*, Elsevier, Amsterdam, 1987.
- Erbas, K., *Eine universelle Methode zur Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit aus Aufheizkurven konstant geheizter Zylinderquellen*, Dissertation, Technische Universität Berlin, 2001.
- Fehr, A., *NMR- und SIP-Messungen an Gesteinsproben*, Dipl.-Arbeit, Angewandte Geophysik und Geothermische Energie RWTH Aachen, 2007.
- Geyer, O. F. und Gwinner, M. P., *Die Schwäbische Alb und ihr Vorland*, In: *Sammlung Geologischer Führer 67, 3. Auflage*, Gebrüder Bornträger, Stuttgart, 1984.
- Geyer, O. F. und Gwinner, M. P., *Geologie von Baden-Württemberg*, E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart, Germany, 4th Ausgabe, 1991.
- Haenel, R., Rybach, L., und Stegena, L., *Handbook of terrestrial heat-flow density determination*, Kluwer, Dordrecht, Holland, 1988.
- Halbach, K., Permanent magnets for production and use of high-energy particle beams, in *Proceedings of the Eighth International Workshop on Rare Earth Cobalt Permanent Magnets and their Applications*, S. 103, Dayton, Ohio, 1985.
- Hartmann, A., *Inversion of geothermal parameters using borehole and core data*, Dissertation, RWTH Aachen University, 2007.
- Hartmann, A., Rath, V., und Clauser, C., Thermal conductivity from core and well log data, *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences*, 42, 1042–1055, 2005a.
- Hartmann, A., Rath, V., und Clauser, C., Uncertainties and shortcomings of ground surface temperature histories derived from inversion of temperature logs, *J. Geophys. Eng.*, 2, 299–311, doi:10.1088/1742–2140/2/4/S02, 2005b.
- Hashin, Z. und Shtrikman, S., A variational approach to the theory of the effective magnetic permeability of multiphase materials, *J. Appl. Phys.*, 33, 3125–3131, 1962.
- Heitzmann, P. und Bossart, P., Das Mont-Terri-Projekt - Untersuchungen über den Opalinuston im internationalen Felslabor, *Bull. Angew. Geol.*, 6, Nr. 2, 183–197, 2001.
- Hufschmied, P., Beurteilung der hydraulischen und felsmechanischen Datensätze, der thermisch-hydraulisch-mechanisch gekoppelten Prozesse, der bautechnischen Konzepte und der Umsetzung des EKRA-Konzeptes, in *Projekt Opalinuston Zürcher Weinland der Nagra, Beurteilung der erdwissenschaftlichen Datengrundlagen und der bautechnischen Machbarkeit, Expertenbericht zuhanden der Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen (HSK)*, NAGRA, 2005.
- Ingebritsen, S. E. und Sanford, W. E., *Groundwater in geologic processes*, Cambridge University Press, Cambridge, 1998.
- Jonscher, A. K., *Dielectric relaxation in solids*, Chelsea Dielectrics Press, London, 1983.
- Kelley, C. T., *Solving nonlinear equations with Newton's method*, Frontiers in Applied Mathematics, Society for Industrial and Applied Mathematics (SIAM), Philadelphia, 2003.

- Kelley, K., *Contributions to the data on theoretical metallurgy: XIII High-Temperature Heat-Content, Heat-Capacity, and Entropy data for the Elements and Inorganic Compounds*, U.S. Bureau of Mines Bull. 584, U.S. Government Printing Office, Washington D.C., 1960.
- Kenyon, W., Day, P., Straley, C., und Willemsen, J., A three-part study of NMR longitudinal relaxation properties of water-saturated sandstones, *Society of Petroleum Engineers SPE Formation Evaluation*, 3, 622–636, 1988.
- Klitzsch, N., *Ableitung von Gesteinseigenschaften aus Messungen der spektralen induzierten Polarisation (SIP) an Sedimentgesteinen*, Dissertation, Fakultät für Physik und Geowissenschaften der Universität Leipzig, 2004.
- Lichtenecker, K. und Rother, K., Herleitung des logarithmischen Mischungsgesetzes aus allgemeinen Prinzipien der stationären Strömung, *Phys. Z.*, 32, 255–260, 1931.
- Luthi, S., *Geological well logs*, Springer, Berlin-Heidelberg-New York, 2001.
- Mirotnik, K., Kryuchkov, S., und Strack, K., A novel method to determine NMR petrophysical parameters from drill cuttings, paper MM, in *45th Annual Logging Symposium Transactions: Society of Professional Well-Log Analysts.*, 2004.
- Moiseenko, U., Sokolova, L., und Kutolin, V., Thermal conductivity of eclogite and dolerite at high temperature, *Doklady AN SSSR*, 173, No. 3, 669–671, 1967.
- Mosegaard, K. und Tarantola, A., Monte Carlo sampling of solutions to inverse problems, *Journal of Geophysical Research*, 100, 12 431–12 447, 1995.
- Nocedal, J. und Wright, S. J., *Numerical Optimization*, Springer, New York, 1999.
- Petrudin, G. und Yurchak, R., On rocks thermal diffusivity measurements., *Izvestiya AN SSSR. Fizika Zemli*, 11, 92–95, 1973.
- Pfeifer, H. R., Beurteilung der hydrogeologischen-hydrochemischen Untersuchungen und Datengrundlagen, in *Projekt Opalinuston Zürcher Weinland der Nagra, Beurteilung der erdwissenschaftlichen Datengrundlagen und der bautechnischen Machbarkeit, Expertenbericht zuhanden der Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen (HSK)*, Nagra, 2005.
- Pickell, J. J. und Heacock, J. G., Density logging, *Geophysics*, 25, 891–904, 1960.
- Pikulski, A., Untersuchungen über extremes Durchlässigkeitsverhalten des Opalinustons und der Unteren Süßwassermolasse im Tiefenbereich mit mehr als 200 m Felsüberdeckung, 2. Teilbericht "Zwischen-Aquifere", Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau Baden-Württemberg, Freiburg, Freiburg im Breisgau, 1991.
- Popov, Y., Optical scanning technology for non-destructive contactless measurements of thermal conductivity and diffusivity of solid matters, *Experimental Heat Transfer, Fluid Mechanics and Thermodynamics*, 1, 09–117, proceedings of the 4th World Conference Brussels, Belgium, 1997.
- Popov, Y., Pribnow, D., Sass, J., Williams, C., und Burkhardt, H., Characterization of rock thermal conductivity by high-resolution optical scanning, *Geothermics*, 28, 253–276, 1999.

- Preusche, C., Zwischenbericht zum Forschungsvorhaben „Bewegung salinärer Porenwässer in der tertiären Füllung des süddeutschen Molassebeckens“, DFG Zwischenbericht, Universität Freiburg, 1996.
- Pribnow, D. und Sass, J., Determination of thermal conductivity from deep boreholes, *J. Geophys. Res.*, 100, 9981–9994, 1995.
- Radic, T., *Bedienungsanleitung SIP256C*, Radic Research, 41 S., 2004.
- Rath, V. und Clauser, C., Erkennen und Quantifizieren von Strömung: Eine geothermische Rasteranalyse zur Klassifizierung des tiefen Untergrundes in Deutschland hinsichtlich seiner Eignung zur Endlagerung radioaktiver Stoffe, Endbericht zum Auftrag 9X0009-8390-0, RWTH Aachen, 2002.
- Rath, V. und Clauser, C., Erkennen und Quantifizieren von Strömung: Eine geothermische Rasteranalyse zur Klassifizierung des tiefen Untergrundes in Deutschland hinsichtlich seiner Eignung zur Endlagerung radioaktiver Stoffe - Fortsetzung, Endbericht zum Auftrag nr. 9x0009-8497-2, 2004, bundesamt für strahlenschutz, Bericht, RWTH Aachen, Angewandte Geophysik, 2004.
- Rider, M., *The geological interpretation of well logs*, Whittles Publishing, Caithness, 1996.
- Sass, J. H., Lachenbruch, A. H., Moses, T. H., und Morgan, T., Heat flow from a scientific research well at Cajon Pass, California, *Journal of Geophysical Research*, 97, 5017–5030, 1992.
- Schön, R., *Physical properties of rocks: Fundamentals and principles of geophysics*, Pergamon, 1996.
- Seipold, U., Pressure and temperature dependence of thermal transport properties of granites, *High Temperatures High Pressures*, 22, 541–548, 1990.
- Seipold, U. und Engler, R., Investigation of the thermal diffusivity of jointed granodiorites under uniaxial load and hydrostatic pressure, *Gerlands Beitr. Geophysik, Leipzig*, 90, 1, 65–71, 1981.
- Serra, O., *Fundamentals of Well-Log Interpretation-1*, Elsevier, 1984.
- Serra, O., *Fundamentals of Well-Log Interpretation-2*, Elsevier, New York, 1986.
- Stober, I. und Villinger, E., Hydraulisches Potential und Durchlässigkeit des höheren Oberjuras und des Oberen Muschelkalks unter dem baden-württembergischen Molassebecken, *Jh. Geol. Landesamt Baden-Württemberg*, 37, 77–96, 1997.
- Sumner, J. S., *Principles of Induced Polarization for Geophysical Exploration*, Elsevier, Amsterdam-Oxford-New York, 1976.
- Tarantola, A., *Inverse Problem Theory. Methods for model parameter estimation*, Society for Industrial and Applied Mathematics (SIAM), Philadelphia, 2004.
- Tarantola, A. und Valette, B., Inverse problems = quest for information, *Journal of Geophysics*, 50, 159–170, 1982a.
- Tarantola, A. und Valette, B., Inverse problems = quest for information, *Journal of Geophysics*, 50, 159–170, 1982b.
- Villinger, E. und Fischer, G., *Geologische Übersicht der Schichtenfolge in Baden-Württemberg*, URL http://www.lgrb.uni-freiburg.de/lgrb/home/index_html, 2005.

von Terzaghi, K., *Erdbaumechnik auf bodenphysikalischer Grundlage*, Franz Deuticke, Wien, 1925.

Vosteen, H.-D. und Schellschmidt, R., Influence of temperature on thermal conductivity, thermal capacity and thermal diffusivity for different types of rock, *Phys. Chem. Earth*, 28, 499–509, 2003.

Wisian, K. W., Blackwell, D. D., Bellani, S., Henfling, J. A., Normann, R. A., Lysne, P. C., Förster, A., und Schrötter, J., Field comparison of conventional and new technology temperature logging systems, *Geothermics*, 27, 131–141, 1998.

Anhang A

Labormessungen

Tabelle A.1: Übersicht der Einzelergebnisse zu den Labormessungen der Wärmeleitfähigkeit im trockenen und gesättigten Zustand (TC-Scanner), der Reindichte und der Porosität (vgl. Abschnitt 2.1). HLQ: Halbraumlinienquelle (vgl. Abschnitt 2.1); n.b.: nicht bestimmt.

Bohrung / Steinbruch	Tiefe [m]	Probe	Hauptgesteinstyp	λ trocken [W/mK]	λ saturiert [W/mK]	Rein- dichte [kg/m ³]	ϕ [-]
Ro7324/B2 Auendorf	19	AU01	Kalkstein	2,43	2,48	2677	0,03
Ro7324/B2 Auendorf	20	AU02	Kalkstein	2,39	2,56	2704	0,03
Ro7324/B2 Auendorf	20	AU03	Kalkstein	HLQ	HLQ	2805	0,13
Ro7324/B2 Auendorf	90	AU04	Kalkstein	1,91	2,34	2727	0,11
Ro7324/B2 Auendorf	91	AU05	Kalkstein	HLQ	HLQ	2737	0,06
Ro7324/B2 Auendorf	92	AU06	Kalkstein	2,24	2,41	2582	0,03
B419-Eselhöfe	164	B419-01	Tonmergel	1,77	2,02	2560	0,04
B419-Eselhöfe	165	B419-02	Kalkstein	2,01	2,20	2696	0,02
B419-Eselhöfe	156	B419-03	Kalkstein	2,02	2,20	2661	0,02
B419-Eselhöfe	155	B419-04	Kalkmergel	1,89	2,08	2690	0,07
B419-Eselhöfe	155	B419-05	Kalkstein	HLQ	HLQ	2622	0,03
B419-Eselhöfe	155	B419-06	Kalkstein	1,96	2,12	2679	0,03
B424-Hohenstadt	166	B424-01	Kalkstein	2,33	2,79	2712	0,06
B424-Hohenstadt	167	B424-02	Kalkstein	2,21	n.b.	n.b.	n.b.
B424-Hohenstadt	168	B424-03	Kalkstein	2,21	2,72	2718	0,07
B424-Hohenstadt	176	B424-04	Kalkstein	2,13	n.b.	n.b.	n.b.
B424-Hohenstadt	178	B424-05	Kalkstein	2,13	2,65	2720	0,07
B424-Hohenstadt	53	B424-06	Kalkstein	3,72	4,40	2805	0,05
B424-Hohenstadt	85	B424-07	Kalkstein	2,35	n.b.	n.b.	n.b.
B424-Hohenstadt	92	B424-08	Tonmergel	n.b.	n.b.	2623	0,08
B424-Hohenstadt	91	B424-09	Tonmergel	HLQ	HLQ	2775	0,07
Ebratsweiler 1	489	E001	Kalkstein	n.b.	2,43	2713	0,08
Ebratsweiler 1	493	E002	Kalkstein	n.b.	2,64	2720	0,04
Ebratsweiler 1	505	E003	Kalkstein	n.b.	2,67	n.b.	n.b.
Ebratsweiler 1	509	E004	Kalkstein	n.b.	2,61	n.b.	n.b.
Ebratsweiler 1	511	E005	Kalkstein	n.b.	2,72	2702	0,02
Ebratsweiler 1	513	E006	Kalkstein	n.b.	2,65	n.b.	n.b.
Ebratsweiler 1	513	E007	Kalkstein	HLQ	2,59	n.b.	n.b.
Ebratsweiler 1	516	E008	Kalkstein	n.b.	2,66	n.b.	n.b.
Ebratsweiler 1	1097	E009	Kalksandstein	2,50	3,22	2640	0,08
Ebratsweiler 1	1097	E010	Sandstein	3,18	3,91	2706	0,10
Ebratsweiler 1	1099	E011	Kalksandstein	2,20	2,48	2731	0,03
Ebratsweiler 1	1100	E012	Tonstein	2,94	3,81	2796	0,08
Ebratsweiler 1	1103	E013	Sandstein	3,18	3,80	2676	0,09
Ebratsweiler 1	1105	E014	Tonstein	1,63	2,10	2752	0,08
Ebratsweiler 1	1107	E015	Tonstein	HLQ	HLQ	2743	0,07
Ebratsweiler 1	1109	E016	Tonstein	n.b.	n.b.	2706	0,08
Ebratsweiler 1	1112	E017	Sandstein	3,18	3,77	2579	0,04
Ebratsweiler 1	1115	E018	Sandstein	2,34	2,52	2713	0,05
Ebratsweiler 1	1117	E019	Sandstein	2,96	4,36	2420	0,08
Ebratsweiler 1	1120	E020	Sandstein	3,16	3,81	2675	0,06
Ebratsweiler 1	1162	E021	Tonstein	1,91	n.b.	n.b.	n.b.
Ebratsweiler 1	1165	E022	Sandstein	3,15	3,60	2658	0,08
Ebratsweiler 1	1165	E023	Sandstein	3,22	3,67	2703	0,12
Ebratsweiler 1	1167	E024	Tonstein	HLQ	HLQ	n.b.	n.b.
Ebratsweiler 1	1169	E025	Sandstein	1,33	n.b.	n.b.	n.b.
Ebratsweiler 1	1173	E026	Sandstein	1,72	n.b.	n.b.	n.b.
Ebratsweiler 1	1174	E027	Sandstein	1,94	3,37	2653	0,16
Ebratsweiler 1	1177	E028	Sandstein	2,26	3,03	2706	0,14
Ebratsweiler 1	1263	E029	Anhydrit	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Ebratsweiler 1	1263	E029a	Anhydrit	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Ebratsweiler 1	1263	E029b	Anh. + Dol.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Ebratsweiler 1	1264	E030	Anhydrit	n.b.	4,56	2948	0,04
Ebratsweiler 1	1265	E031	Dolomit	n.b.	3,51	2866	0,07
Ebratsweiler 1	1263	E032	Tonstein	n.b.	3,52	2820	0,03

Tabelle A.1 fortgesetzt.

Bohrung / Steinbruch	Tiefe [m]	Probe	Hauptgesteinstyp	λ trocken [W/mK]	λ saturiert [W/mK]	Rein- dichte [kg/m ³]	ϕ [-]
Ebratsweiler 1	1268	E033	Tonstein	2,06	2,44	2581	0,05
Ebratsweiler 1	1269	E034	Dolomit	4,55	3,26	2866	0,01
Ebratsweiler 1	1271	E035	Dolomit	3,87	3,85	2835	0,02
Ebratsweiler 1	1272	E036	Dolomit	2,97	3,33	2864	0,15
Ro6927/B6 Ellenberg	22	EL01	Sandstein	1,78	3,44	2514	0,22
Ro6927/B6 Ellenberg	97	EL02	Sandstein	1,71	3,08	2478	0,19
Ro6927/B6 Ellenberg	97	EL03	Sandstein	1,97	3,33	2471	0,20
Einöd	46	EOE01	Sandstein	2,06	3,49	2654	0,20
Einöd	44	EOE02	Sandstein	2,17	3,17	2620	0,14
Einöd	48	EOE03	Sandstein	1,82	3,17	2612	0,20
Ro8217/B1 Espel	22	ES01	Kalkmergel	2,23	2,58	2698	0,06
Ro8217/B1 Espel	97	ES02	Kalkstein	1,95	2,36	2570	0,05
Ro8217/B1 Espel	157	ES03	Kalkstein	1,86	2,24	2700	0,08
B404 Gruibingen	173	GB01	Tonstein	HLQ	HLQ	2693	0,15
B404 Gruibingen	189	GB02	Tonstein	HLQ	HLQ	2733	0,12
B404 Gruibingen	201	GB03	Sandstein	2,44	3,77	2688	0,21
B404 Gruibingen	214	GB04	Sandstein	3,28	4,46	2689	0,13
B404 Gruibingen	222	GB05	Sandstein	1,92	3,64	2681	0,23
B404 Gruibingen	223	GB06	Kalksandstein	3,87	4,53	2619	0,02
Gemmingen 1002	253	GE001	Sandstein	3,18	3,85	2641	0,08
Gemmingen 1002	294	GE002	Sandstein	3,88	4,54	2622	0,03
Gemmingen 1002	299	GE003	Sandstein	4,08	4,59	2707	0,06
Gemmingen 1002	300	GE004	Sandstein	2,45	3,02	2903	0,07
Gemmingen 1002	311	GE005	Sandstein	3,28	4,08	2655	0,11
Gemmingen 1002	322	GE006	Sandstein	3,40	4,28	2673	0,06
Gemmingen 1002	323	GE007	Sandstein	3,33	4,32	2690	0,10
Gemmingen 1002	348	GE008	Sandstein	2,99	4,08	2632	0,13
Gemmingen 1002	426	GE009	Sandstein	3,26	4,66	2643	0,09
Gemmingen 1002	426	GE010	Sandstein	3,66	5,29	2648	0,10
Gemmingen 1002	530	GE011	Tonstein	2,91	3,42	2600	0,02
Gemmingen 1002	530	GE012	Sandstein	2,76	3,44	2575	0,08
Gemmingen 1002	564	GE013	Sandstein	3,52	4,33	2640	0,07
Gemmingen 1002	588	GE014	Sandstein	3,38	4,17	2572	0,05
Gemmingen 1002	627	GE015	Tonstein	HLQ	HLQ	2990	0,09
Gemmingen 1002	663	GE016	Sandstein	2,85	3,85	2501	0,06
Gemmingen 1002	663	GE017	Tonstein	HLQ	HLQ	n.b.	n.b.
Gemmingen 1002	733	GE018	Sandstein	2,58	3,07	2458	0,03
Gemmingen 1002	760	GE019	Sandstein (dol.)	3,11	3,68	2637	0,04
Gemmingen 1002	761	GE020	Sandstein (dol.)	2,89	3,18	2674	0,05
Gemmingen 1002	761	GE021	Tonstein	HLQ	HLQ	n.b.	n.b.
Gemmingen 1002	798	GE022	Sandstein (dol.)	3,71	3,95	2595	0,05
Gemmingen 1002	798	GE023	Sandstein (dol.)	4,05	4,01	2624	0,03
Gemmingen 1002	798	GE024	Sandstein (dol.)	2,81	3,41	n.b.	n.b.
Gondelsheim	27	GH01	Kalkstein	2,90	2,71	2714	0,01
Gondelsheim	38	GH02	Kalkstein	2,42	2,50	2677	0,02
Gondelsheim	47	GH03	Dolomit	1,62	3,30	2525	0,12
Gondelsheim	48	GH04	Dolomit	1,13	2,40	2747	0,19
Gondelsheim	49	GH05	Dolomit	2,44	3,68	2830	0,13
Gondelsheim	50	GH06	Dolomit	2,63	3,22	2777	0,07
Gondelsheim	51	GH07	Dolomit	2,34	2,79	2651	0,13
Gondelsheim	53	GH08	Dolomit	1,19	2,94	2799	0,20
Gondelsheim	26	GH09	Kalkstein	2,55	2,58	2686	0,03
PF1 Wilferdingen/Etzold	44	PF01	Kalkstein	2,63	2,92	2839	0,06
PF1 Wilferdingen/Etzold	45	PF02	Dolomitmergel	2,56	2,78	2767	0,05
PF1 Wilferdingen/Etzold		PF02a	Dolomit	2,80	2,83	2831	0,06

Tabelle A.1 fortgesetzt.

Bohrung / Steinbruch	Tiefe [m]	Probe	Hauptgesteinstyp	λ trocken [W/mK]	λ saturiert [W/mK]	Rein- dichte [kg/m ³]	ϕ [-]
PF1 Wilferdingen/Etzold	13	PF03	Kalkstein	HLQ	HLQ	2703	0,06
PF1 Wilferdingen/Etzold	11	PF04	Kalkstein	2,41	2,44	2713	0,01
Reutehau 97/1	88	RE01	Tonstein	HLQ	HLQ	2710	0,07
Reutehau 97/1	87	RE02	Siltstein	2,39	3,67	2745	0,14
Reutehau 97/1	87	RE03	Siltstein	2,41	3,10	2772	0,15
Reutehau 97/1	86	RE04	Sandstein	1,48	2,94	2749	0,30
Reutehau 97/1	85	RE05	Siltstein	2,67	3,47	2745	0,06
Reutehau 97/1	84	RE06	Siltstein	HLQ	HLQ	2825	0,18
Reutehau 97/1	81	RE07-1	Kalksandstein	2,41	2,55	2718	0,05
Reutehau 97/1	81	RE07-2	Kalksandstein	2,23	2,37	2725	0,07
Reutehau 97/1	81	RE07-3	Kalksandstein	2,49	3,24	2765	0,16
Reutehau 97/1	81	RE07-4-1	Kalksandstein	2,26	3,27	2746	0,17
Reutehau 97/1	81	RE07-4-2	Kalksandstein	2,43	2,74	2670	0,07
Reutehau 97/1	81	RE07-4-3	Kalksandstein	2,70	3,34	2760	0,13
Reutehau 97/1	81	RE07-5	Kalksandstein	2,29	2,91	2807	0,17
Reutehau 97/1	81	RE07-5-1	Kalksandstein	3,03	3,26	2710	0,05
Reutehau 97/1	81	RE07-6	Kalksandstein	3,56	4,20	2749	0,04
Reutehau 97/1	81	RE07-7	Kalksandstein	3,58	4,04	2780	0,04
Reutehau 97/1	77	RE08	Tonstein	HLQ	HLQ	2729	0,13
Reutehau 97/1	76	RE09-1	Kalkmergel	1,82	2,13	2664	0,07
Reutehau 97/1	76	RE09-2	Kalkmergel	1,92	n.b.	n.b.	n.b.
Reutehau 97/1	46	RE10	Tonstein	1,87	n.b.	n.b.	n.b.
Reutehau 97/1	38	RE11	Tonstein	HLQ	HLQ	2813	0,17
Reutehau 97/1	36	RE12	Mergel	1,56	2,04	2475	0,09
Reutehau 97/1	33	RE13	Mergel	0,85	1,43	2761	0,17
Reutehau 97/1	28	RE14	Tonstein	HLQ	HLQ	2674	0,14
Reutehau 97/1	30	RE15	Tonstein	HLQ	HLQ	2563	0,20
Reutehau 97/1	21	RE16	Tonstein	HLQ	HLQ	2601	0,13
Reutehau 97/1	22	RE17	Tonstein	HLQ	HLQ	2674	0,15
Reutehau 97/1	13	RE18	Tonstein	HLQ	HLQ	2538	0,09
Reutehau 97/1	14	RE19	Tonstein	HLQ	HLQ	2622	0,03
Sexau	75	SE01	Sandstein	2,54	4,00	2662	0,18
Sexau	76	SE02	Sandstein	2,53	3,98	2673	0,22
Sexau	84	SE03	Sandstein	3,05	4,58	2640	0,17
Sexau	89	SE04	Tonstein	HLQ	HLQ	2777	0,09
Sexau	89	SE05	Sandstein	3,35	4,13	2713	0,20
Steinbruch 7018-344	0	STB01	Sandstein	2,94	3,91	2642	0,12
Steinbruch 7018-344	0	STB02	Sandstein	3,03	3,76	2549	0,09
Steinbruch 7018-344	0	STB03	Sandstein	2,91	3,94	2640	0,09
Steinbruch 7018-344	0	STB04	Sandstein	3,86	4,63	2619	0,08
Steinbruch 7018-344	0	STB05	Sandstein	3,74	4,40	2521	0,04
Steinbruch 7325-1	0	STB06	Dolomit	2,31	2,60	2677	0,10
Steinbruch 7325-1	0	STB07	Dolomit	2,32	2,69	2699	0,11
Steinbruch 7325-1	0	STB08	Dolomit	2,41	2,62	2691	0,10
Steinbruch 7325-1	0	STB09	Dolomit	2,28	2,64	2678	0,11
Steinbruch 7325-1	0	STB10	Kalkstein	2,22	2,57	2662	0,10
Steinbruch 7325-1	0	STB11	Dolomit	2,29	2,54	2705	0,13
Steinbruch 7325-1	0	STB12	Dolomit	2,16	2,54	2699	0,12
Steinbruch 7325-1	0	STB13	Dolomit	2,34	2,61	2706	0,11
Steinbruch 7325-1	0	STB14	Dolomit	2,72	3,17	2771	0,10
Steinbruch 7325-1	0	STB14a	Dolomit	2,58	3,00	2749	0,12
Steinbruch 7325-1	0	STB14b	Dolomit	2,78	3,26	2769	0,08
Steinbruch 7325-1	0	STB15	Dolomit	2,81	3,26	2767	0,07
Steinbruch 7325-1	0	STB16	Dolomit	2,86	3,38	2774	0,07
Steinbruch 7325-1	0	STB17	Dolomit	2,87	3,38	2763	0,06

Tabelle A.1 fortgesetzt.

Bohrung / Steinbruch	Tiefe [m]	Probe	Hauptgesteinstyp	λ trocken [W/mK]	λ saturiert [W/mK]	Rein- dichte [kg/m ³]	ϕ [-]
Steinbruch 7325-1	0	STB18	Dolomit	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Steinbruch 7325-1	0	STB19	Dolomit	3,10	3,53	2814	0,05
Steinbruch 7325-1	0	STB20	Dolomit	2,80	2,98	2785	0,07
Steinbruch 7325-1	0	STB21	Dolomit	2,69	3,20	2764	0,10
Steinbruch 7325-1	0	STB22	Dolomit	2,75	3,46	2792	0,05
Steinbruch 7325-1	0	STB23	Dolomit	2,58	3,15	2740	0,11
Steinbruch 7325-1	0	STB24	Dolomit	2,78	3,21	2788	0,09
Steinbruch 7124-101	0	STB25	Sandstein	2,40	3,75	2642	0,22
Steinbruch 7124-101	0	STB26	Sandstein	1,96	3,62	2656	0,24
Steinbruch 7124-101	0	STB27	Sandstein	2,01	3,69	2650	0,22
Steinbruch 7124-101	0	STB28	Sandstein	2,26	3,71	2605	0,20
Steinbruch 7525-9	0	STB29	Kalkstein	n.b.	2,71	2696	0,00
Steinbruch 7525-9	0	STB30	Kalkstein	2,77	2,65	2687	0,01
Steinbruch 7525-9	0	STB30a	Kalkstein	2,76	2,68	2681	0,00
Steinbruch 7525-9	0	STB31	Kalkstein	2,65	2,62	2710	0,01
Steinbruch 7525-9	0	STB31a	Kalkstein	2,67	2,66	2699	0,01
Steinbruch 7525-9	0	STB32	Kalkstein	2,57	2,52	2687	0,01
Steinbruch 7525-9	0	STB33	Kalkstein	2,54	2,62	2767	0,03
Steinbruch 7525-9	0	STB34	Kalkstein	2,66	2,56	2695	0,01
Steinbruch 7525-9	0	STB35	Kalkstein	2,52	2,56	2692	0,01
Steinbruch 7525-9	0	STB36	Kalkstein	2,54	2,55	2697	0,01
Steinbruch 7525-9	0	STB37	Kalkstein	2,71	2,64	2723	0,02
Steinbruch 7525-9	0	STB38	Kalkstein	2,22	2,35	2700	0,03
Steinbruch 7525-9	0	STB39	Kalkstein	2,26	2,30	2704	0,03
Steinbruch 7525-9	0	STB39a	Kalkstein	2,13	2,35	2685	0,04
Steinbruch 7427-308	0	STB41	Kalkstein	2,18	2,43	2699	0,03
Steinbruch 7427-308	0	STB42	Kalkstein	2,05	2,31	2713	0,04
Steinbruch 7427-308	0	STB43	Kalkstein	2,23	2,36	2703	0,04
Steinbruch 7427-308	0	STB44	Kalkstein	2,24	2,42	2713	0,03
Steinbruch 7427-308	0	STB45	Kalkstein	2,11	2,38	2700	0,05
Steinbruch 7427-308	0	STB46	Kalkstein	2,34	2,47	2692	0,04
Steinbruch 6924-116	0	STB47	Sandstein	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Steinbruch 6924-116	0	STB48	Sandstein	1,47	2,59	2644	0,23
Steinbruch 6924-116	0	STB48a	Sandstein	1,35	2,41	2637	0,23
Steinbruch 6924-116	0	STB49	Sandstein	1,36	2,46	2633	0,22
Steinbruch 6924-116	0	STB50	Sandstein	1,31	2,48	2542	0,20
Steinbruch 6924-300	0	STB51	Sandstein	1,54	2,50	2571	0,16
Steinbruch 6924-300	0	STB51a	Sandstein	1,30	2,41	2538	0,20
Steinbruch 6924-300	0	STB52	Sandstein	1,48	2,49	2650	0,18
Steinbruch 6924-300	0	STB53	Sandstein	1,49	2,45	2664	0,20
Steinbruch 6924-300	0	STB54	Sandstein	1,48	2,45	2659	0,20
Steinbruch 6824-1	0	STB55	Kalkstein	1,94	2,23	2693	0,10
Steinbruch 6824-1	0	STB56	Kalkstein	2,13	2,42	2640	0,05
Steinbruch 6824-1	0	STB57	Kalkstein	2,14	2,42	2638	0,07
Steinbruch 6824-1	0	STB58	Kalkstein	1,97	2,35	2699	0,07
Steinbruch 6824-1	0	STB59	Kalkstein	2,10	2,30	2704	0,06
Steinbruch 6824-1	0	STB59a	Kalkstein	1,97	2,26	2711	0,10
Steinbruch 6825-4	0	STB60	Kalkstein	2,15	2,34	2642	0,06
Steinbruch 6825-4	0	STB61	Gips	1,31	1,39	2321	0,03
Steinbruch 6825-4	0	STB62	Gips	1,28	1,37	2336	0,05
Steinbruch 6825-4	0	STB63	Gips	1,30	1,44	2287	0,02
Steinbruch 6825-4	0	STB64	Gips	1,36	1,38	2317	0,04
Steinbruch 6722-2	0	STB65	Kalkstein	2,40	2,51	2756	0,01
Steinbruch 6722-2	0	STB66	Kalkstein	2,52	2,65	2767	0,02
Steinbruch 6722-2	0	STB67	Kalkstein	2,57	2,74	2727	0,03