

Zusammenfassung

Die Wärmestromdichte im Nordostdeutschen Becken (NEDB) war bislang nur unzureichend bekannt. Existierende Kartenwerke geben keinen Einblick darüber, wie die komplexe Größe der Wärmestromdichte im NEDB bestimmt worden ist. Dabei stellt die Wärmestromdichte eine wesentliche Grundlage für die Geothermische Exploration und für die Bewertung des tiefen geothermischen Feldes auch in Bezug auf angrenzende Gebiete Mitteleuropas dar und geht als Basisgröße in geodynamische und thermische Modellierungen ein. Mit dem vom GFZ finanzierten Projekt der „Neubewertung des rezenten Wärmestroms im NEDB“, dessen Ergebnisse in dieser Arbeit dargestellt werden, wird erstmals eine fundierte Bestimmung und Bewertung der Wärmestromdichte im NEDB vorgenommen.

Für die Bestimmung der Wärmestromdichte im NEDB konnte auf zahlreiche tiefe Bohrungen, die im Zuge der Erdöl-/Erdgasexploration vor allem in den Jahren 1962–1990 abgeteuft worden waren, zurückgegriffen werden. I.d.R. liegen zu diesen Bohrungen kontinuierliche Temperaturprofile und Kernproben aus bestimmten Tiefenbereichen vor, so dass prinzipiell eine gesicherte Bestimmung der Wärmestromdichte möglich ist. Aus den Aufzeichnungsintervallen und der Qualität der Temperaturmessungen sowie der Tiefenlage der beprobten Horizonte, die im Zuge der Exploration nicht gezielt im Hinblick auf eine Bestimmung der Wärmestromdichte gewählt worden sind, werden die eigentlich optimalen Voraussetzungen deutlich eingeschränkt. Es zeigt sich, dass obwohl die Formulierung der Gleichung zur Berechnung der Wärmestromdichte (als Produkt von Temperaturgradient und Wärmeleitfähigkeit eines Tiefenabschnitts) unter konduktiven Bedingungen einfach ist, die Qualität der Eingangsparameter oft schwer beurteilt werden kann. Die Auswahl der Bohrungen zur Bestimmung der Wärmestromdichte orientierte sich in erster Linie an der Qualität der Temperaturmessungen. Diese liegen i.d.R. in 50 m Messintervallen vor und sind überwiegend, jedoch unterschiedlich stark, durch thermische Prozesse des Bohrvorgangs gestört. Als zweites Kriterium mussten aus den entsprechenden Bohrungen und Tiefenabschnitten Bohrkernkerne verfügbar sein, damit die Wärmeleitfähigkeit und die Wärmeproduktion der Gesteine bestimmt werden konnte.

Aufgrund der Datenlage im NEDB ergab sich eine Konzentration auf permokarbonische Magmatite und permische Sedimente, an denen die petrophysikalischen Untersuchungen und in deren Tiefenintervall die Bestimmung der Wärmestromdichte erfolgte. Aus diesem Grund wird die Geologie des Perms ausführlich dargestellt, aber vor allem in Hinblick auf die Interpretation und Diskussion der Wärmestromdichte im krustalen Kontext auch auf die Geologie des Post- und Präperms im NEDB eingegangen. Die Beckenfüllung besteht aus permokarbonischen

Magmatiten, den Klastika des Rotliegend (Unteres Perm) und den Evaporiten des Zechsteins (Oberes Perm), den Klastika des Buntsandsteins und den Karbonaten des Muschelkalks, den Klastika des Keupers, Juras und der Unterkreide sowie der Karbonaten der Oberkreide und den Klastika des Känozoikums und erreicht im Beckenzentrum eine Mächtigkeit von bis zu 8000 m.

Die Wärmeleitfähigkeit wurde an 363 Kernproben untersucht, wobei 196 Proben aus dem sedimentären Rotliegend, 53 dem sedimentären Präperm und 80 Proben permokarbonische Magmatite darstellen. Weitere 34 Proben wurden den Ablagerungen des Zechsteins und der Trias entnommen. Die Ergebnisse zeigen, dass die Wärmeleitfähigkeit der Sedimente vor allem von der jeweiligen Fazies, Zementation und dem jeweiligen Grad der Diagenese abhängig ist. Im Vergleich zu bereits publizierten Daten zur Wärmeleitfähigkeit von Sedimenten und anderen Gesteinen des NEDB wurden in dieser Arbeit deutlich höhere Werte bestimmt. Da zum einen die Qualität der Alt-Messungen nicht bewertbar und die Abweichung unabhängig vom Gesteinstyp feststellbar ist und zum anderen die vorliegenden neuen Messergebnisse durch Messungen vergleichbarer Gesteine in Dänemark und Westdeutschland gestützt werden, wird ein systematischer Fehler bei den Alt-Messungen vermutet. Mit den neu bestimmten Wärmeleitfähigkeiten für Lithotypen konnten die Formationswärmeleitfähigkeiten basierend auf der jeweiligen lithologischen Zusammensetzung bestimmt werden. Eine Ermittlung der Formationswärmeleitfähigkeiten mit Hilfe von Bohrlochmessungen wurde versucht, erwies sich jedoch als nicht durchführbar. Die ermittelten Formationswärmeleitfähigkeiten erreichen ebenfalls durchgängig höhere Werte, als sie bislang in der Literatur für das NEDB und für Modellierungen im NEDB angenommen wurden.

Die Wärmeproduktion der Gesteine des NEDB wurde zum einen durch direkte Messung des U-, Th- und K-Gehaltes an 52 Gesteinsproben bestimmt. Zum anderen erfolgte die Bestimmung der Wärmeproduktion indirekt durch Auswertung von Bohrlochmessungen der natürlichen Radioaktivität (GR-Logs). Durch die Entwicklung einer empirischen Beziehung für die Umrechnung von in Gamma-Einheiten (GE) gemessenen GR-Logs in moderne API-Einheiten wurde die Nutzung älterer Bohrlochmessungen möglich, die in der Erdöl-/Erdgasexploration routinemäßig in GE aufgezeichnet wurden. Die Umrechnung von GE zu API erfolgt durch die Formel $GR[API_c] = 4,95433 \cdot GR[GE_c] - 27,23876$. Die Genauigkeit der vorhergesagten API-Werte wird für den Wertebereich von 10-160 API mit etwa 10% angegeben. Durch die Ableitung der Wärmeproduktion aus der Bohrlochmessung der natürlichen Radioaktivität konnte erstmalig die Wärmeproduktion der gesamten sedimentären Abfolge des NEDB von den mitteldevonischen bis quartären Formationen ermittelt werden. Die Werte schwanken zwischen $0,4 \mu W/m^3$ (im Zechstein) und $2,1 \mu W/m^3$ (Müritz Subgruppe). Die höchste Wärmeproduktion wurde jedoch in den magmatischen Gesteinen nachgewiesen (Rhyolithe bis $5,9 \mu W/m^3$).

Paläoklimatische Effekte spielen im NEDB eine Rolle. Die meisten untersuchten Tiefenintervalle, an denen die Wärmestromdichte in dieser Arbeit bestimmt wurde, liegen jedoch tiefer als die messbare Reichweite der thermischen Beeinflussung durch zurückliegende Klimaveränderungen, die bis in 2500 bis 3000 m Tiefe reicht. Wärmebrechungseffekte an Salzstrukturen, die aufgrund der deutlich höheren Wärmeleitfähigkeit des Salzes im Vergleich zum

umgebenden Gestein auftreten, führen zu einer deutlichen Beeinflussung des Temperaturfeldes, welche bei der Bestimmung der Wärmestromdichte berücksichtigt werden muss. Für die Abschätzung der Korrektur des Salzeinflusses auf den Temperaturgradienten und die Wärmestromdichte wurden 1D bis 3D Modellierungen vorgenommen. Die Ergebnisse zeigen zum einen dass der Einfluss der Temperaturstörung auf die Wärmestromdichte auf etwa 5–7 km begrenzt ist, und zum anderen, dass innerhalb der Salzstrukturen stark erhöhte Wärmestromdichten auftreten, die tiefenabhängig sehr starke Variationen aufweisen. Im nahen Umfeld eines Salzdiapirs (1–3 km) kann die Wärmestromdichte aufgrund lateralen Wärmetransportes in Richtung zu dem Salzstrukturzentrum hin auch leicht reduziert sein, so dass hier die Wärmestromdichte ggf. positiv korrigiert werden muss.

Die Bestimmung der Wärmestromdichte wurde für insgesamt 13 Lokationen unter der Berücksichtigung möglicher Störeffekte durchgeführt und detailliert beschrieben. Verschiedene Korrekturverfahren wurden angewandt, um beispielsweise den Einfluss von durch den Bohrvorgang thermisch gestörten Temperaturmessungen oder paläoklimatischer Effekte auf die Temperaturprofile zu berücksichtigen und die Wärmeleitfähigkeit, die unter Normalbedingungen im Labor an Bohrkernen bestimmt wurde, auf die in-situ Druck- und Temperaturbedingungen zu beziehen. Die bestimmten Wärmestromdichtewerte an der Oberfläche (q_s) liegen zwischen etwa 70–90 mW/m² (Mittelwert: 77 mW/m²). Die Wärmestromdichten weisen eine Unsicherheit auf, welche für alle Lokationen mit etwa $\pm 15\%$ angenommen wird. Höhere q_s -Werte treten im Südwesten des NEDB auf, während im übrigen Gebiet des NEDB die q_s -Werte nahe dem bestimmten Mittelwert liegen. Es zeigt sich, dass sowohl die unterschiedlich ausgebildeten magmatischen Abfolgen an der Beckenbasis als auch die in Abhängigkeit von der Lage im Becken und der Lage zu Salzstrukturen unterschiedlich mächtigen mesozoischen und känozoischen Ablagerungen zu einer Differenzierung von q_s beitragen. Der Anteil der Wärmeproduktion der Sedimente des Beckens an q_s beträgt zwischen 1 bis 6 mW/m² (im Mittel: 4 mW/m²).

Um die bestimmten Wärmestromdichten in Bezug auf das krustale Umfeld einordnen und die thermische Auswirkung unterschiedlicher Vorstellungen zur Lithosphärenmächtigkeit und -zusammensetzung abschätzen zu können, wurden stationäre 2D Modellierungen der thermischen Lithosphäre durchgeführt. Die Ergebnisse zeigen zum einen, dass sich Veränderungen thermischer Eigenschaften von Unterkrustengesteinen weniger stark auf q_s auswirken, als eine entsprechende Änderung in Gesteinen der Oberkruste. Zum anderen zeigen die Modellierungen, dass die relativ hohen q_s -Werte bei einer plausiblen Wahl der thermischen Eigenschaften der Kruste bei einer Lithosphären-Asthenosphären-Grenze (LAB) von 70 km erreicht werden. Eine veränderte Lage der LAB von 70 auf 100 km, wie sie nach den refraktionsseismischen Auswertungen realistischer ist, bewirkt einen Rückgang von q_s um fast 10 mW/m², der durch eine erhöhte Wärmeproduktion der Kruste ausgeglichen werden müsste. Die für die Modellierungen dieser Arbeit herausgearbeiteten petrologischen Vorstellungen zum krustalen Aufbau in der Pritzwalk-Region, in der eine magnetische und gravimetrische Anomalie festgestellt wurde, die vermutlich durch die Intrusion basaltischer Gesteine oder die Aufschuppung ozeanischer Kruste unterhalb des NEDB hervorgerufen wird, führen zu einer deutlich unterschiedlichen Ausprägung

von q_s . Es wird vermutet, dass sich die Schwereanomalie von Pritzwalk durch dichte Gesteine, welche eine deutlich geringe Wärmeproduktion aufweisen, auch als thermische Anomalie abbildet.

Ohne bessere Kenntnis des tieferen Untergrundes vor allem im zentralen und südlichen Bereich des NEDB lässt sich nicht abschätzen, zu welchen Teilen die gegenüber dem weltweiten Durchschnitt für Kontinente deutlich erhöhte mittlere Wärmestromdichte der im NEDB untersuchten Lokationen auf einer hohen Wärmeproduktion der Kruste oder einer hohen Wärmestromdichte des Mantels beruht oder ob die Annahme eines thermisch stationären Regimes, welche eine wesentliche Grundlage für die Berechnungen darstellt, für das NEDB gerechtfertigt ist.