

Die Mineralwasser- und Quellwasserverordnung (1999) ist insofern von Bedeutung, da in dieser das Inverkehrbringen von natürlichem Mineral- und Quellwasser geregelt wird. Abschließend ist zu erwähnen, dass mit dem ÖWAV-Regelblatt 215 „Nutzung und Schutz von Thermalwasservorkommen“ aus dem Jahr 2010 österreichweit beachtenswerte Standards zu Erschließung, Nutzung und Schutz von Thermalwasserkörpern geschaffen wurden.

### 1.3 Temperatur von Thermalwasser

(D. ELSTER)

Die Temperatur von Thermalwasser ist das Resultat der Wärmezufuhr aus der Erdkruste. Im Erdinneren herrscht eine Temperatur von rund 5.000 °C, während an der Erdoberfläche die Temperatur im Mittel ca. 14 °C beträgt (STOBER & BUCHER, 2012). Somit wird ein kontinuierlicher Strom von Wärme an die Erdoberfläche abgegeben. Der **terrestrische Wärmestrom** setzt sich aus einem fast konstanten Wärmestrom aus dem Erdkern und dem ungleichmäßig verteilten Wärmestrom der Erdkruste zusammen. Die mittlere Wärmestromdich-

te beträgt für Kontinente 0,065 W/m<sup>2</sup> und für Ozeane 0,101 W/m<sup>2</sup>. Vor allem in Vulkangebieten kann es zu großen Anomalien kommen (MICHEL, 1997). Dem Wärmeverlust der Erde wirkt die Wärmeproduktion durch den radioaktiven Zerfall entgegen, somit ist der tatsächliche Abkühlungsprozess der Erde sehr gering. Gesteine weisen unterschiedlich hohe Konzentrationen an radioaktiven Elementen auf. Mit höheren Gehalten an Uran, Thorium oder Kalium steigt die **radioaktive Wärmeproduktion**, wobei die Zerfallsreihen von <sup>238</sup>U, <sup>235</sup>U und <sup>232</sup>Th sowie das Isotop <sup>40</sup>K die Energie liefern (STOBER & BUCHER, 2012).

In Tabelle 5 sind für einige typische Gesteine Uran-, Thorium- und Kaliumgehalte und ihre Wärmeproduktion angegeben.

In der Erdkruste beträgt die **geothermische Tiefenstufe** im Mittel rund 1 °C/33 m, das entspricht einem **Temperaturgradienten** von 3 °C/100 m (MICHEL, 1997). Der gemessene Wärmestrom stammt zu über 70 % aus der radiogenen Wärmeproduktion der Erdkruste und nur zu ca. 30 % aus dem Erdmantel und dem Erdkern (STOBER & BUCHER, 2012). Naturgemäß sind die 3 °C/100 m nur ein Richtwert, lokal sind aber starke Abweichungen bzw. **Temperatur- und Wärmeanomalien** festzustellen.

Gestein	Uran (mg/kg)	Thorium (mg/kg)	Kalium (%)	Wärmeproduktion in 3 km Gesteinssäule (cal/cm <sup>2</sup> sec)
Granit	4	16	4,4	2,3 x 10 <sup>-7</sup>
Tonschiefer	3,7	12	3	1,8 x 10 <sup>-7</sup>
Granodiorit	2	8,5	2,5	1,2 x 10 <sup>-7</sup>
Basalt	0,6	1,6	0,75	0,3 x 10 <sup>-7</sup>
peridot. Gesteine	0,01	0,0	0,004	0,3 x 10 <sup>-9</sup>

Tab. 5. Gehalt an Uran, Thorium und Kalium ausgewählter Gesteine und ihre spezifische Wärmeproduktion (WEDEPOHL, 1967).

Gestein / Fluid	Wärmeleitfähigkeit λ (Js <sup>-1</sup> m <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> )	spezifische Wärmekapazität (kJ kg <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> )
Kies, Sand, trocken	0,3–0,8	0,5–0,59
Kies, Sand, nass	1,7–5	0,85–1,9
Ton, Lehm, feucht	0,9–2,3	0,8–2,3
Kalkstein	2,5–4	0,8–1
Dolomit	1,6–5,5	0,92–1,06
Marmor	1,6–4	0,86–0,92
Sandstein	1,3–5,1	0,82–1
Tonstein	0,6–4	0,82–1,18
Granit	2,1–4,1	0,75–1,22
Gneis	1,9–4	0,75–0,9
Basalt	1,3–2,3	0,72–1
Quarzit	3,6–6,6	0,78–0,92
Steinsalz	5,4	0,84
Luft	0,02	1,0054
Wasser	0,59	4,12

Tab. 6. Wärmeleitfähigkeit und spezifische Wärmekapazität unter Normalbedingungen von ausgewählten Gesteinen, Luft und Wasser nach STOBER & BUCHER (2012).

Positive Anomalien können u.a. auf Bereiche aufsteigender thermaler Tiefengrundwässer zurückgeführt werden. Sekundäre Temperaturquellen, wie z.B. Grubenbrände, nehmen eine Sonderstellung ein.

Der Transport der Erdwärme erfolgt prinzipiell auf zwei Arten (STOBER & BUCHER, 2012): 1) **konvektiv** in einem strömenden Medium (Grundwasser, Gas etc.) und 2) **konduktiv** durch die Leitfähigkeit des Gesteins. Die **Wärmeleitfähigkeit** der Gesteine ist unterschiedlich. Dies trifft auch auf ihre **Wärmekapazität** zu, die beschreibt, wie viel Wärme gespeichert werden kann. Tabelle 6 gibt einen Überblick zur Wärmeleitfähigkeit und zur spezifischen Wärmekapazität ausgewählter Materialien (das ist die Wärmemenge, die benötigt wird, um die Temperatur eines Kilogramms eines Materials um ein Kelvin anzuheben). Zusammengefasst nimmt die Temperatur mit der Tiefe rascher zu, je höher der Wärmestrom und je geringer die Wärmeleitfähigkeit ist.

Einen Sonderfall, der ebenfalls zur Temperaturerhöhung beitragen kann, stellt die **bakterielle Reduktion** dar. Hier werden im Wasser gelöste Sulfate unter anaeroben Bedingungen und in Gegenwart von organischer Substanz durch Bakterien zu Schwefelwasserstoff reduziert. Dies wirkt temperaturerhöhend. So nehmen beispielsweise WALLHÄUSER & PUCHELT (1966) bei geeigneten Bedingungen Temperaturzunahmen bis ca. 50 °C an.

Nach GÖTZL et al. (2012b) liegt die Wärmestromdichte in Österreich im Mittel bei ca. 0,071 mW/m<sup>2</sup>, das entspricht etwa durchschnittlichen Werten von kontinentaler Kruste (Abb. 2). In den Nördlichen Kalkalpen und Karawanken liegen generell unterdurchschnittliche geothermische Verhältnisse vor. Diese sind vorwiegend

auf eine erhöhte Krustenmächtigkeit aufgrund der alpinen Überschiebung zurückzuführen. Zudem spielen tief infiltrierende kalte Oberflächenwässer eine Rolle für diese niedrigen Werte. Die höchsten Wärmestromdichten sind im Oststeirischen Becken anzutreffen, die mit einer Hochlage der Asthenosphäre im Bereich des Pannonischen Beckens zu erklären sind. In der Molassezone und im Wiener Becken herrschen im Allgemeinen durchschnittliche geothermische Bedingungen vor. Insbesondere in Gebieten mit tief zirkulierenden Thermalwässern (z.B. niederbayerisch-oberösterreichischer Thermalwasserkörper) können lokale bis regionale Anomalien auftreten. Eine weitere großräumige Anomalie tritt im Bereich des Tauernfensters auf.

### 1.3.1 Bestimmung von Untergrundtemperaturen

(P. NIEDERBACHER)

Für die Bestimmung von Untergrundtemperaturen werden direkte Messungen in Tiefenaufschlüssen (Bohrungen, Tunnel, Schächte) herangezogen. Bohrungsaufschlüsse liefern, neben den Informationen zum Intern- und Tiefbau, wertvolle Hinweise zum vertikalen Temperaturverlauf im Untergrund und zu potenziellen Tiefenaquiferen. Im Falle von durchgeführten Formationstests und Probeförderungen liegen auch Informationen zum Chemismus und Ergiebigkeit der angetroffenen Poren- und Kluftmedien (Formationswässer) vor. Temperaturinformationen beim Abteufen der Tiefbohrungen liefern die Auslauftemperaturen der Bohrspülung, die Messungen der Maximaltemperaturen bei geophysikalischen Bohrlochmessungen (Borehole Tem-

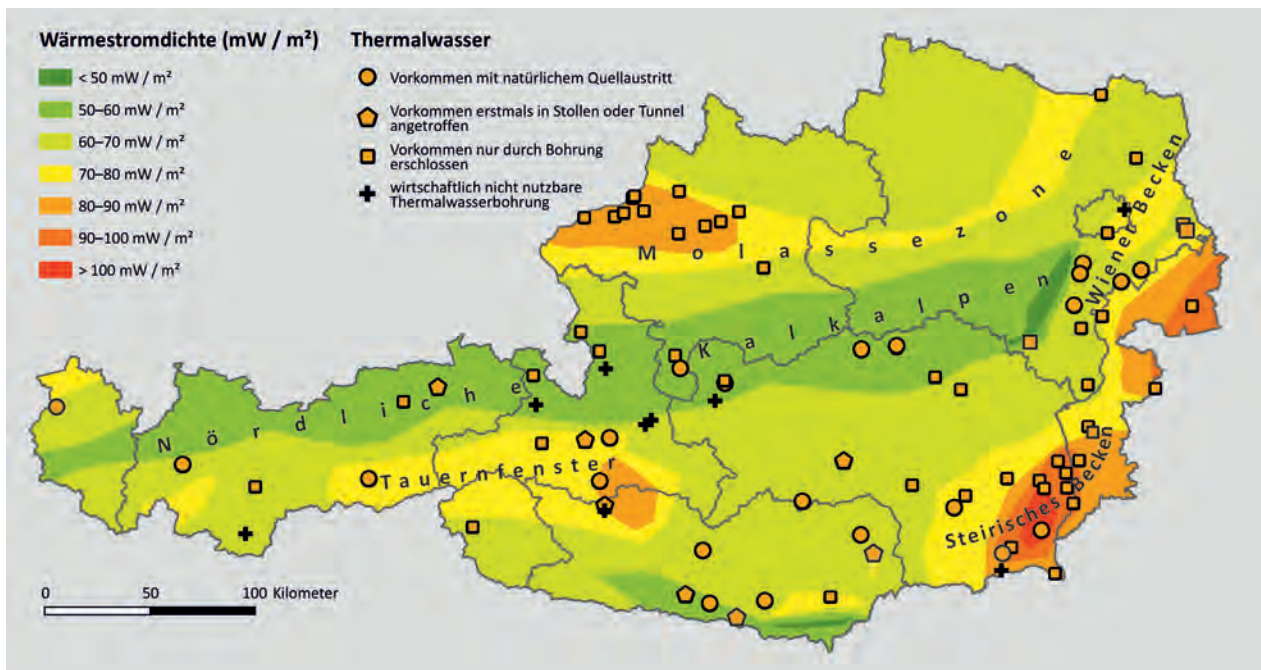


Abb. 2. Konzeptionelle Karte der terrestrischen Wärmestromdichte in Österreich (verändert nach GÖTZL et al., 2012b).