

Zusammenfassung einer Publikation

Literaturangabe zur Publikation: "Wärme als Tracer in Karstgebieten" Beiträge zur Hydrogeologie / 59 / Seiten 77 – 94 / Graz 2012 (Birk et al. 2012).

«Um welche Art von Grundwassersystem handelt es sich? Wie wurde das Grundwassersystem erkundet? Welche Parameter wurden gemessen?»

"Tracer sind "Stoffe und Parameter, die [...] Auskunft über die Herkunft des Wassers, über seine Fließwege oder auch über seine Bewegungsformen geben können" (ÖWAV Regelblatt 214, 2007)." Das Zitat deutet bereits an, dass auch eine physikalische Grösse, wie z. B. die Temperatur (Wärme), als Tracer genutzt werden kann. Dieser Umstand findet, obwohl schon seit längerem bekannt (Erwähnung durch C. S. Slichter bereits 1905), bisher vergleichsweise wenig Anwendung in der Praxis. Eine Publikation von M. P. Anderson (2005) stellt zusammenfassend methodische Ansätze und Fallbeispiele für Grundwasserneubildung und Oberflächen-Grundwasser-Wechselwirkungen in Poren- und Kluftgrundwasserleitern dar. Karstgrundwasserleiter werden hierin jedoch nicht behandelt. Die ausgewertete Publikation von Birk et al. 2012 diskutiert die Wärmetransportprozesse in Karstgrundwasserleitern und zeigt Anwendungsmöglichkeiten auf.

Grundlagen

Grundwasser-Transportprozesse: Der Grundwassertransport in Karstsystemen ist i. d. R. dual, d. h. er findet einerseits über die Poren- und Kluftmatrix statt und andererseits über das Karsthohlraumsystem. Die Matrix verfügt über die geringere hydraulische Leitfähigkeit, stellt aber häufig ein beachtliches Wasserspeichervolumen dar. Wasser (z. B. Niederschlag), das z. B. über Dolinen / Schlucklöcher einsickert, im Karsthohlraumsystem transportiert wird und an Karstquellen innerhalb von Tagen oder Stunden wieder austritt, kann zügig zu Temperaturänderungen an dem Quellaustrittswasser führen (neben weiteren Änderungen wie z. B. der elektrischen Leitfähigkeit oder der Trübung). Die Temperaturänderung begründet sich dadurch, dass die Verweilzeit des Wassers im Karsthohlraumsystem z. T. nicht ausreichend ist, um die Wassertemperatur an die Umgebungsgesteinstemperatur anzugleichen. Bei der Poren- und Kluftmatrix ist dieser Temperaturänderungseffekt aufgrund der geringeren Wasserdurchlässigkeit und damit längeren Wasserverweilzeit geringer bzw. nicht nachweisbar.

Konvektion: Die Fliessgeschwindigkeit des Wassers in Karsthohlraumsystemen liegt in der Größenordnung zwischen 0.01 – 1 m/s. Der Transport von Wärme mit der mittleren Wasserfliessgeschwindigkeit wird als Konvektion bezeichnet. Aufgrund der hohen Wasserfliessgeschwindigkeiten in Karsthohlraumsystemen ist ein (nachweisbarer) Wärmetransport über einige Kilometer in wenigen Tagen möglich.

Weitere Temperatur-Einflussparameter: Die konkrete Temperaturdifferenz Wasser – Umgebungsgestein, die strömungsbedingte Dicke der thermischen Grenzschicht, die Strömungsart (laminar – turbulent), der Karsthohlraumdurchmesser und die Wechselwirkungen zwischen Poren- / Kluftmatrix-Grundwasser und Karsthohlraum-Grundwasser (insbesondere Grundwasser-Infiltration / -Exfiltration zwischen diesen beiden Systemen) stellen hierbei wichtige Temperatur-Einflussparameter dar. Einen geringeren Effekt hat der Luftanteil im Karstsystem bzw. der damit verbundene Effekt des Wärmeaustausches über die Strahlung und Konvektion in der Luft.

Die Grundlagen sind in Abbildung 10 veranschaulicht.

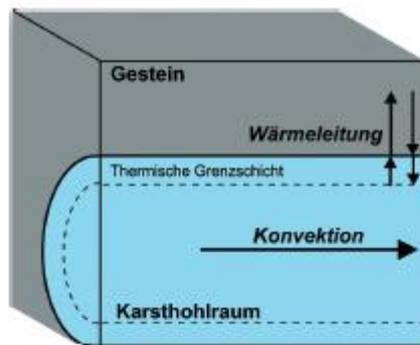


Fig. 1: Wärmetransportprozesse in wassererfüllten Karsthohlräumen.
Heat transport processes in water-filled karst conduits.

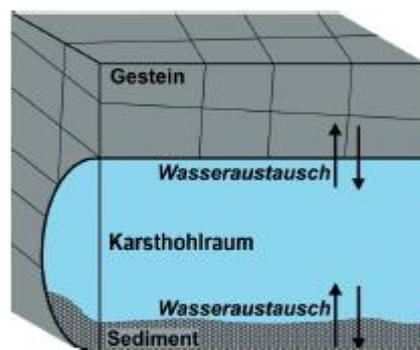


Fig. 2: Wasseraustauschprozesse, die den Wärmetransport in Karsthohlräumen beeinflussen können.
Water exchange processes that may influence heat transport in karst conduits.

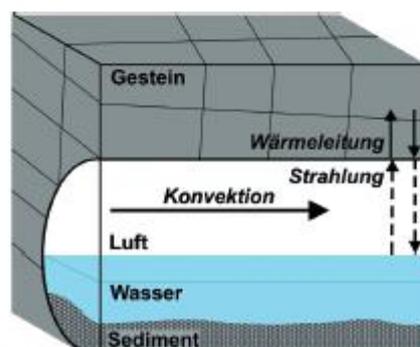


Fig. 3: Zusätzliche Wärmetransportprozesse in teilweise erfüllten Karsthohlräumen.
Additional heat transport processes in partially filled karst conduits.

Abbildung 10: Wärmetransportprozesse (Konvektion), Wasseraustauschprozesse (Poren-Kluftmatrix / Sediment und Karsthohlräumssystem) und zusätzliche Wärmetransportprozesse (Luft) (aus Birk et al. 2012).

Anwendung

Die zuvor genannten Temperatur-Einflussgrößen zeigen, dass Wärme ein reaktiver Tracer ist. Im Vergleich zwischen einem konservativen Tracer und einem reaktiven Tracer, wie der Temperatur, ist die Reaktion an der Quelle somit in Abhängigkeit der Untergrundverhältnisse etwas verzögert und deutlich gedämpft bzw. nicht immer messbar. Hieraus resultieren deutliche Konsequenzen für die Anwendung der Temperatur als Tracer. Die Modellierung eines Temperaturmodells für ein Karstsystem gestaltet sich, aufgrund der schwierig zu ermittelnden und zu quantifizierenden Einflussgrößen, als komplex.

Im Folgenden wird ein konkretes Anwendungsbeispiel zur "Identifikation von Abflusskomponenten mit kurzer Verweilzeit" in Auszügen wiedergegeben. Weitere Anwendungsbeispiele im Hinblick auf "Charakterisierung des Karsthohlräumensystems" und "Charakterisierung des Wasseraustausches zwischen Karst- und Kluft-/Porenhohlräumensystem" sind in Birk et al. 2012 nachzulesen.

Identifikation von Abflusskomponenten mit kurzer Verweilzeit

Änderungen der Quellwassertemperatur (infolge von vorherigen Wassereintragsereignissen in das quellspeisende Grundwassersystem) gehen z. T. zeitlich mit Änderungen in der elektrischen Leitfähigkeit des Wassers einher. Ein gutes Beispiel hierfür ist die Urenbrunnenquelle (Gipskarstquelle in SW-Deutschland). Im Juni 2000 wurden an der Quelle die Schüttung, die elektrische Leitfähigkeit und die Temperatur des Quellwassers gemessen. Nach einem Starkregenereignis im Juni 2000 reagiert die Quelle simultan mit einer Schüttungs- und Temperaturzunahme und einer elektrischen Leitfähigkeitsabnahme (vgl. Abbildung 11). Das Verhalten dieser Parameter im weiteren zeitlichen Verlauf unterscheidet sich untereinander allerdings deutlich (langsame Abnahme Schüttung, relativ schnelle Zunahme elektrische Leitfähigkeit und tagesperiodische Schwankung der Temperatur mit abnehmender Tendenz). Grund für den schnellen Leitfähigkeitsausgleich ist mutmasslich der starke Poren- und Kluftmatrixwassereinfluss auf das Karsthohlraumwasser innerhalb des Karstsystems. Die tagesperiodischen Temperaturschwankungen zeigen jedoch weitere Wassereinträge an.

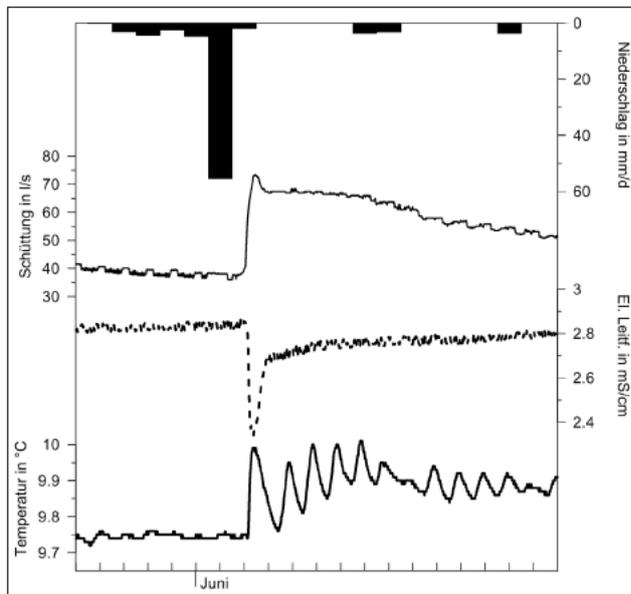


Fig. 5: Schüttung, elektrische Leitfähigkeit und Temperatur der Urenbrunnenquelle sowie Niederschlagsdaten der rund 10 km entfernten, vom Deutschen Wetterdienst betriebenen Station Haigerloch (Ende Mai und Anfang Juni 2000). Teilstriche der Zeitachse repräsentieren Tageschritte. Abbildung modifiziert nach S. BIRK & T. REICHEL (2005).
Discharge, electrical conductivity, and temperature of the Urenbrunnen spring as well as precipitation data of the station Haigerloch, operated by the Deutscher Wetterdienst at a distance of 10 km from the spring (end of May and early June 2000). Tick marks of the time axis represent one day. Figure modified after S. BIRK & T. REICHEL (2005).

Abbildung 11: Messkurven der Schüttung, elektrischen Leitfähigkeit und Temperatur des Quellwassers der Urenbrunnenquelle im Mai / Juni 2000 inkl. Niederschlagsdaten (aus Birk et al. 2012).

Grund für die Temperaturschwankungen ist ein Schluckloch in ca. 200 m Entfernung der Urenbrunnenquelle, dass periodisch Wasser aus einem Gerinne mit ähnlicher Leitfähigkeit aber höherer Temperatur in das Karstsystem einspeist (mutmasslich ebenfalls infolge des Starkregenereignisses). Rein aus der elektrischen Leitfähigkeit (oder weiteren konservativen Tracern) wäre dieser Effekt nicht bzw. nur schwer zu ermitteln. Die Temperatur stellt für diesen Sachverhalt eine einfache, aber effektive Messgröße zur qualitativen Ermittlung der weiteren Wassereinträge durch das Schluckloch dar.

Schlussfolgerung

Wärme kann als natürlicher (reaktiver) Tracer mit relativ geringem Aufwand an Karstquellen und Höhlenbächen erfasst und genutzt werden.

Die im Karsthohlraumsystem vorherrschenden hohen Fließgeschwindigkeiten ermöglichen einen raschen konvektiven Wärmetransport, das Temperatursignal wird jedoch durch den Wärmetransfer zwischen Gestein und Wasser gedämpft. Die Temperaturdämpfungszunahme korreliert mit der Ereignisdauerzunahme und der Eindringtiefezunahme.

Bei Karsthohlraumsystemen in der Größenordnung von (bis zu wenigen) Kilometern ist i. d. R. eine Anwendbarkeit des "Temperaturtracers" (= Quelltemperaturänderungen in Folge von z. B. Niederschlägen) gegeben, sofern die Fließwege Durchmesser im Dezimeterbereich aufweisen. Gleichzeitig lässt eine signifikante Quelltemperaturänderung z. T. geometrische Rückschlüsse auf das Karstsystem zu (signifikante Temperaturänderung = Karsthohlraumsystem mit Hohlraum-Minstdurchmesser im Dezimeterbereich).

Das Ausbleiben einer signifikanten Quelltemperaturänderung infolge eines Eintragsereignisses bedeute jedoch nicht zwangsläufig eine hohe Verweildauer des Grundwassers im Untergrund oder nicht vorhandene hydraulische Verbindung zwischen Wassereintragsort und Quellort. Hier seien saisonale Effekte als Beispiel genannt (z. B. Niederschlagstemperatur am Einspeisungsort und Karstgrundwassertemperatur ähnlich). Die Koppelung der Temperaturmessung an weitere Messgrößen erscheint somit (weitestgehend) unerlässlich. Die Messung der Quellschüttung, der elektrischen Leitfähigkeit und der Temperatur an der Urenbrunnenquelle stellt hierfür ein gutes Praxisbeispiel dar.