

LCKW als Tracer zur Ermittlung grundwasserhydraulischer Eigenschaften eines Kluftgrundwasserleiters

Dipl. Geol. Dr. Michael Altenbockum; Katharina Berens, M. Sc., Aachen

Inhaltübersicht

		Rdnr.
1	Einleitung	1 – 5
2	Tracer-Versuche	6 – 10
3	Kluftgrundwasserleiter – Allgemeine Einführung	11 – 13
4	Tracer-Versuche in Kluftgrundwasserleitern	14, 15
5	Auswertung eines ungewollten Tracer-Versuchs an einem Fallbeispiel	16 – 25
5.1	Erläuterung der Standortgegebenheiten	17
5.2	Vorliegende Datengrundlage	18 – 20
5.3	Auswertungsprinzip zur Ableitung der Abstandsgeschwindigkeit	21 – 25
6	Fazit	26, 27
7	Literatur	

Schlagwortübersicht nach Rdnr.

Grundwasserhydraulik 12	Tracer 7, 9 f., 15 f.
Kluftgrundwasserleiter 2 – 5, 11 f., 14 f., 17	Tracer-Versuche 4 – 6, 9, 13 – 16
LCKW 9 f., 16 – 19, 21	
Markierungs-Versuche 6	

1 Einleitung

Im Rahmen von Grundwasserschadensfällen ist es, unabhängig vom Schadstoff, notwendig die Eigenschaften des Grundwasserleiters zu beschreiben, schließlich sind die Grundwasserleitereigenschaften ein entscheidendes Kriterium zur Entscheidung zum weiteren Umgang mit der Kontamination. 1

So sind die hydraulischen Eigenschaften für Porengrundwasserleiter in den meisten Fällen gut abzuleiten. Es existiert eine Vielzahl von Modellen zur Beschreibung des Fließverhaltens in Porengrundwasserleitern. Für Kluftgrundwasserleiter liegt dagegen eine weitaus geringere Anzahl von Berechnungsansätzen vor. Dazu sind die für Kluftgrundwasserleiter verwendeten Verfahren meist sehr viel komplexer aufgebaut und es bedarf eines höheren Aufwandes Eingangsparameter zu ermitteln. So ist die Auswertung von 2

zum Beispiel Pumpversuchen für einen Porengrundwasserleiter sehr viel weniger kompliziert, als für einen Kluftgrundwasserleiter, bei dem das Trennfugensystem und die Matrix zu berücksichtigen sind.

- 3 Aufgrund der oft komplexen Struktur von Kluftgrundwasserleitern – anisotrop und inhomogen – wird selbst die Ableitung vermeintlich einfachster hydraulischer Kenngrößen, wie beispielsweise die Ableitung des hydraulischen Gradienten i oder des Durchlässigkeitsbeiwertes k_f , zu einem beinahe unüberwindbaren Hindernis. Wo in einem Porengrundwasserleiter meistens das Darcy-Gesetz gilt und die Berechnung der Abstandsgeschwindigkeit unter Berücksichtigung des hydraulischen Gradienten, der Porosität und des Durchlässigkeitsbeiwertes, gilt dies in einem Kluftgrundwasserleiter nur sehr eingeschränkt.
- 4 Die Bestimmung der Abstandsgeschwindigkeit ist in einem Kluftgrundwasserleiter mit Hilfe eines Tracer-Versuches „mehr oder weniger genau“ (Höfeling, 2013) zu ermitteln. Die Durchführung von Tracer-Versuchen ist jedoch, wie zum Beispiel in Trinkwasserschutzzonen, nicht überall uneingeschränkt möglich.
- 5 Wenn also die Durchführung von Tracer-Versuchen nicht möglich ist, wird die Liste der extensiven Untersuchungsmethoden für die Erkundung des Fließverhaltens in Kluftgrundwasserleitern sehr kurz. In einigen Fällen ist es jedoch möglich, Grundwasserleitereigenschaften zum Beispiel im Rahmen von Grundwasserschadensfällen relativ einfach aus vorliegendem Datenmaterial abzuleiten. So auch im vorliegenden Fall, bei dem das Potential zur Ermittlung hydraulischer Kenndaten von bereits vorhandenem und häufig zu wenig berücksichtigtem Datenmaterial aufgezeigt wird.

2 Tracer-Versuche

- 6 Tracer-Versuche bzw. Markierungs-Versuche dienen bekanntermaßen dazu, mit Hilfe von Markierungsmitteln „fließendes Wasser verfolgen zu können“ (Käß, 2004). Dies ist das Grundprinzip von Tracer-Versuchen und gilt für alle Arten fließenden Wassers. Bei dem hier beschriebenen Fallbeispiel standen Grundwasseruntersuchungen im Fokus, weshalb hier lediglich Tracer im Grundwasser beschrieben werden.
- 7 Grundsätzlich sind zwei Tracer-Versuchstypen zu unterscheiden. Zum einen gibt es Versuche, bei denen absichtlich ein künstliches Markierungsmittel in das Grundwasser eingegeben wird, zum anderen gibt es solche, bei denen natürlich vorkommende oder vom Menschen unbeabsichtigt ein-

getragene Stoffe als Tracer verwendet werden. Grundsätzlich sollten Tracer ein möglichst konservatives (unreaktiv, schlecht sorbierbar) Verhalten aufweisen.

So können in den Grundwasserleiter unbeabsichtigt eingetragene Schadstoffe als Markierungsstoffe dienen. Um anhand derartiger Markierungen Grundwasserleitereigenschaften ableiten zu können, hängt von den vorliegenden Datengrundlagen ab. 8

Im vorliegend erläuterten Fall kam es durch den Eintrag von LCKW (leichtflüchtige chlorierte Kohlenwasserstoffe) ins Grundwasser zu einem ungewollten Markierungsversuch. Da LCKW wesentliche Eigenschaften eines idealen Tracers (Stupp et al., 2006), unter anderem aufgrund ihrer unpolaren Struktur, aufweisen, können LCKW-Schadensfälle als Tracer-Versuche ausgewertet werden. 9

Die Nutzung von LCKW als Tracer ist insbesondere in Porengrundwasserleitern schon zahlreich erprobt. Da die LCKW im Vergleich zu anderen Schadstoffgruppen sehr lange Belastungsfahnen ausbilden, sind diese beispielsweise gute Anzeiger für die Grundwasserfließrichtung. 10

3 Kluftgrundwasserleiter – Allgemeine Einführung

Die grundwasserhydraulischen Eigenschaften von Kluftgrundwasserleitern werden zum einen durch ihr Trennfugensystem und zum anderen über das Porensystem der Festgesteinsmatrix gesteuert. Innerhalb eines Grundwasserleiters treten folglich zwei Arten von Porositäten auf – Porosität der Gesteinsmatrix und des Trennfugensystems – häufig auch als Doppelporosität bezeichnet. Dabei haben beide Porositäten in unterschiedlichem Ausmaß Einfluss auf die Eigenschaften des Aquifers. 11

In einem Kluftgrundwasserleiter gilt zumeist, dass entlang der Trennfugen die präferenziellen Fließwege ausgebildet sind, d. h. primäre Fließwege liegen entlang von linearen Strukturen vor. Doch in Abhängigkeit der Porosität der Gesteinsmatrix kann diese erheblichen Einfluss auf die grundwasserhydraulischen Eigenschaften haben. Weiterhin steuert das Ausmaß der Verzweigung des Trennfugensystems das Fließverhalten innerhalb eines Kluftgrundwasserleiters. 12

Die Eigenschaften des Poren- und Trennfugensystems lassen sich anhand von Tracer-Versuchen im Feld nicht differenzieren. Die Ergebnisse zeigen die Eigenschaften des Gesamtsystems, also des Gebirges. 13

4 Tracer-Versuche in Kluftgrundwasserleitern

- 14 Um die Eigenschaften von Kluftgrundwasserleitern im Feld zu ermitteln, werden verschiedenste Untersuchungsmethoden angewendet. Der Einsatz von Tracer-Versuchen ist ein wichtiges Verfahren um beispielsweise Grundwasserfließrichtungen und -geschwindigkeiten beschreiben zu können.
- 15 Dabei unterscheidet sich das Prinzip eines Tracer-Versuches in einem Kluftgrundwasserleiter nicht von dem in einem Porengrundwasserleiter. Jedoch ist der Untersuchungs- bzw. Überwachungsaufwand zur Detektion des Tracers vergleichsweise hoch. So muss sichergestellt sein, dass das vorhandene Überwachungsnetz das Trennfugensystem ausreichend erfasst. Dass dies nicht immer der Fall ist, belegen verschiedene Versuchsbeispiele, bei denen der eingesetzte Markierungsstoff nicht wieder aufgefunden werden konnte. Solche und ähnliche Beispiele sind in Käß (2004) beschrieben.

5 Auswertung eines ungewollten Tracer-Versuchs an einem Fallbeispiel

- 16 Im vorliegenden Fallbeispiel war die Einbringung künstlicher Markierungsmittel aufgrund der Nähe zu Trinkwasserschutzgebieten nicht uneingeschränkt möglich. Jedoch zeigte sich, dass LCKW als Tracer herangezogen werden konnten. So konnte im Sinne eines unbeabsichtigten Tracer-Versuchs ausgewertet werden.

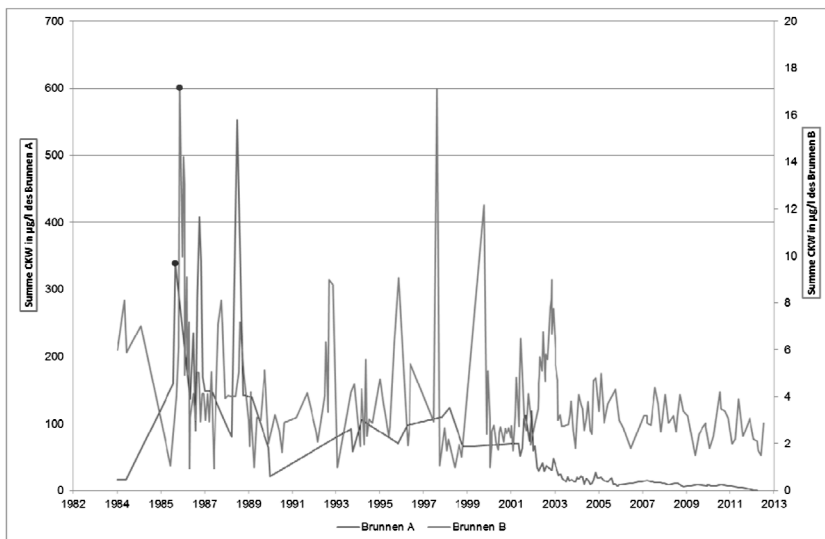
5.1 Erläuterung der Standortgegebenheiten

- 17 Im vorliegenden Fall kam es zu einem Eintrag erheblicher LCKW Mengen in einen Kluftgrundwasserleiter, dessen geologische Eigenschaften dank zahlreicher Untersuchungen gut bekannt sind. Laboruntersuchungen belegten, dass die Gesteinsmatrix des Kluftgrundwasserleiters eine sehr kleine, für Wasser kaum zur Verfügung stehende Porosität aufweist. Das Kluftsystem, welches basierend auf Bohrerergebnissen gut beschrieben werden konnte, bildet dementsprechend den hydraulisch wirksamen Hohlraum.

5.2 Vorliegende Datengrundlage

- 18 Der LCKW Eintrag wurde aufgrund regelmäßiger Wasserqualitätsanalysen in mehreren Entnahmehrunden erkannt. Zum Zeitpunkt des ersten Auftretens von LCKW im Förderwasser war die Schadstoffquelle unbekannt. Erst weitere Untersuchungen identifizierten die Quelle der Grundwasserverunreinigung, der Zeitpunkt des ersten Eintrags blieb jedoch unbekannt. Die Analyse des Förderwassers auf LCKW wurde fortgeführt und es zeigten sich LCKW-Konzentrationen auf nahezu gleichbleibenden Niveau (Abb. 1).

Abb. 1: Entwicklung der LCKW-Konzentrationen in den Brunnen A und B, 19
Punkte markieren jeweiligen Ersteinsatz

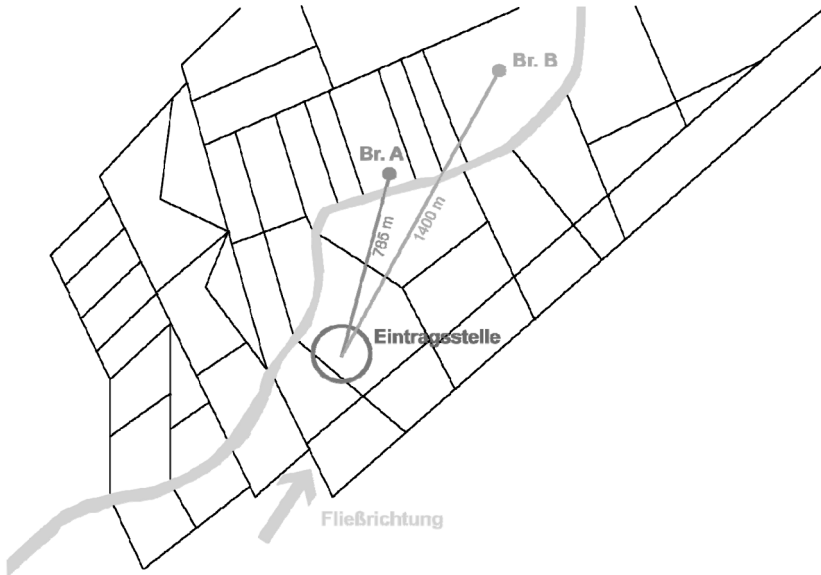


Jedoch wurden die Daten in erster Linie zur Qualitätsüberwachung des Förderwassers unabhängig von der Schadensfallbearbeitung durchgeführt. Erst nach einer Vielzahl von Untersuchungen am Eintragsort wurde man auf die in deutlicher Entfernung gewonnenen Daten aufmerksam und konnte sie entsprechend auswerten. 20

5.3 Auswertungsprinzip zur Ableitung der Abstandsgeschwindigkeit

Ausgehend von der These, die Brunnen lagen zum Ankunftszeitpunkt der LCKW im unmittelbaren Abstrom der Eintragsstelle, kann über den Zeitpunkt des Erstimpulses der LCKW an den Brunnen die Abstandsgeschwindigkeit abgeschätzt werden. Hierzu werden die beim ersten Schadenseintritt herrschenden Grundwasserfließverhältnisse und die Lage der Entnahmebrunnen zum Eintragsort berücksichtigt (Abb. 2). 21

22 **Abb. 2:** Eintragsbereich in Relation zu den Rezeptoren Brunnen A und B



23 Bei der Ableitung werden der Erstimpuls einer signifikanten Belastungszunahme der betrachteten Messstellen und ihre jeweilige Entfernung zum Eintragsort in Bezug gesetzt, um die Mindestlaufzeit abzuleiten. Der Vorteil der hier angewendeten Ableitung liegt darin, dass der Eintrittszeitpunkt nicht bekannt sein muss, sondern der Laufzeitunterschied der betrachteten Messpunkte in Relation zur Differenz der Entfernung zum Eintragsort gesetzt wird.

24 Die Entfernung Eintragsort-Wasserwerksbrunnen beträgt bei dem Brunnen A 785 m und beim Brunnen B 1400 m, woraus sich eine Differenz von 615 m ergibt.

Der beobachtete signifikante Erstimpuls wurde bei Brunnen A am 18.04.1990 und Brunnen B am 01.03.1992 beobachtet, was einer Lauzeitdifferenz von 75 Tagen entspricht.

25 Aus dem Entfernungsunterschied zum Eintragsort von 615 m und der Laufzeitdifferenz des Erstimpulses von 75 Tagen ergibt sich eine Abstandsgeschwindigkeit von $V_a = 615 \text{ m} / 75 \text{ Tage} = 8,2 \text{ m/Tag} = 3000 \text{ m/anno}$.

6 Fazit

Häufig liegt eine Vielzahl von Daten im Rahmen von Grundwasserschadensfällen vor. Dabei wird der Fokus der Datenerhebung und Auswertung nachvollziehbar auf den Eintragsbereich bzw. die Schadensquelle gerichtet. Das hier beschriebene Beispiel zeigt, dass auch bereits bei Untersuchungsbeginn unabhängig vom Eintragsort vorliegende und im weiteren Umfeld ermittelte Kenndaten erheblich zum Verständnis von Grundwasserleitern beitragen können. 26

Im hier beschriebenen Fall konnte die Abstandsgeschwindigkeit näherungsweise abgeschätzt werden. Außerdem lieferten die Daten von über lange Zeit betriebenen Brunnen Informationen zur Schadensquelle, zur Grundwasserfließrichtung und zur wasserwirtschaftlichen Bedeutung des hier zu betrachtenden Grundwasserleiters. 27

7 Literatur

- [1] Hölting, B., Coldewey, W. G. (2013): Hydrogeologie – Einführung in die Allgemeine und Angewandte Hydrogeologie, 8. Auflage. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg.
- [2] Käß, W. (2004): Geohydrologische Markierungstechnik. 2. Überarbeitete Auflage. Gebrüder Borntraeger Verlagsbuchhandlung, Stuttgart.
- [3] Stupp, H.-D., Bakenhus, A. Gas, M., Lorens, D., Schwaar, I. (2006): Ausbreitung von CKW und MTBE im Grundwasser – Grundwassertransport und Fahnenlängen In Altlasten Spektrum 5/2006. Berlin