



# Sohle: Durchlässigkeit des Flussbettes

Autor: Eduard Hoehn, Eawag



## Hintergrund

In voralpinen und alpinen Schwemm- bzw. Schotterebenen ist eine gute Durchlässigkeit des Flussbettes, d. h. eine starke vertikale Vernetzung Fluss/Grundwasser (Infiltration, Exfiltration, keine Kolmation) für das Makrozoobenthos erwünscht. Dabei ist die Infiltration von Flusswasser ins Grundwasser von grösserer Bedeutung als die Exfiltration von Grundwasser ins Fliessgewässer. Bei Infiltrationsverhältnissen erfolgt der Wasseraustausch entweder mit direktem oder mit perkolativem hydraulischem Anschluss des Flusses ans Grundwasser. Zur Abschätzung der Durchlässigkeit der Flusssohle werden im Fluss und im Grundwasser Hilfsgrössen gemessen.

Für die Wurzeln der flussbegleitenden Auenv egetation sind die Art und Länge des Flurabstands (Versickerungspfad) zum Grundwasser von Bedeutung. Als Flurabstand wird die Distanz zwischen Erdoberfläche und Grundwasserspiegel verstanden; diese wird in einem Bohrloch gemessen.

Für die Nutzung von Grundwasser mit Infiltratanteil für die Trinkwasserversorgung sind Aufenthaltszeiten von mehr als 10 Tagen notwendig. Deshalb besteht häufig ein Konflikt, weil bei guter Durchlässigkeit des Flussbettes zuviel Infiltrat zu rasch eine Grundwasserfassung erreichen kann.

Der Indikator ist für die Beurteilung der in Tabelle 1 gekennzeichneten Projektziele geeignet.

Tabelle 1: Eignung des Indikators für die Beurteilung der Projektziele.

Nutzen für Gesellschaft		Umwelt und Ökologie	Wirtschaft	Umsetzung
● nachhaltige Trinkwasserversorgung	● hoher Erholungswert	● morphologische und hydraulische Variabilität	Budgeteinhaltung	politische Akzeptanz
		● naturnaher Geschiebehaushalt		Stakeholder-Partizipation
		● naturnahes Temperaturregime		
		● longitudinale Vernetzung		
		● laterale Vernetzung		
		◆ vertikale Vernetzung		
		● naturnahe Diversität und Abundanz Flora		
		● naturnahe Diversität und Abundanz Fauna		
		● funktionierende organische Kreisläufe		

- ◆ = direkte Messgrössen: Indikatoren, welche das Projektziel direkt messen
- = indirekte Messgrössen: Indikatoren, die eine Gegebenheit messen, die sekundär vom Projektziel beeinflusst wird.



## Erhebung

### Messgrößen:

Folgende Messgrößen werden erhoben:

- Wassertemperatur
- Spezifische elektrische Leitfähigkeit des Wassers (EL)
- Flurabstand: Distanz zwischen Erdoberfläche und Grundwasserspiegel, in einem Bohrloch auf Niveau Vorland bzw. tiefster Aue gemessen (nicht unmittelbar am Ufer)

### Aufnahmeverfahren:

Relevante Stellen für die Erhebung (Messprofile) liegen in unterschiedlichen Distanzen vom Fließgewässer entfernt, und zwar dort, wo sich bereits eine Grundwasserfassung in Flussnähe befindet. Ein Profil besteht aus mindestens 4 Messstellen (3 Bohrlöchern mit Grundwasser-Probenahmerohren, 1 Messstelle im Fluss), die in zunehmendem Abstand vom Fließgewässer in Fließrichtung des Grundwassers angeordnet sind (siehe Abbildung 2). Innerhalb des Projektperimeters werden mind. 2 Messprofile untersucht. Je nach Länge des untersuchten Abschnittes sind diese zwischen 1 bis 10 km voneinander entfernt.

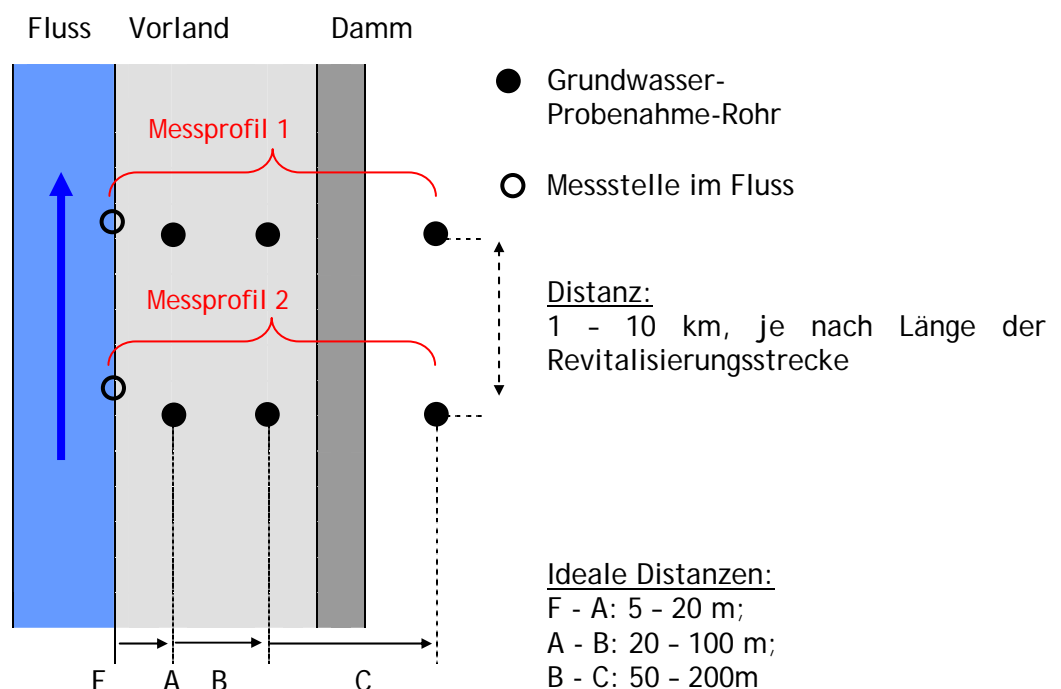


Abbildung 2: Lage der Probenahme-Rohre innerhalb der Messprofile.

An jedem Messprofil werden Datenlogger für eine quasi-kontinuierliche Messung des Wasserspiegels, der Wassertemperatur und der spezifischen elektrischen Leitfähigkeit (EL) installiert. Falls keine automatisierte Aufnahme von Zeitreihen möglich ist, können auch Handmessungen durchgeführt werden (Wasserspiegel, Temperatur, spez. Leitfähigkeit).

Messintervall von Datenloggern: Grundwasser: z. B. 1 Std., Fluss: z. B. 5 Min.

## Zeitlicher und personeller Aufwand: (Tabelle 3)

Aufwandstufe B

Tabelle 3: Geschätzter zeitlicher und personeller Aufwand der Erhebung.

Arbeitsschritt	Spezialisten		Helfer	
	Personen	Dauer pro Person (h)	Personen	Dauer pro Person (h)
Vorbereitung	1	9		
Probenahme (2 -4 Messprofile)	1	4		
Analysen (2 - 4 Messprofile)	1	9		
Total Personenstunden (P-h)		22		

### Materialeinsatz:

Datenlogger mit Sensoren, bei Handmessungen portable Sensoren

### Zeitpunkt und Häufigkeit der Erhebung:

1 - 2 Jahre vor und 2 - 5 Jahre nach dem Eingriff.

Bei kontinuierlich messenden Datenloggern: während mind. 2 Monaten im Hochsommer oder -winter, besser aber möglichst über 1 - 2 Jahre.

Bei Handmessungen: je 2 - 4 Mal im Abstand von 1 - 4 Wochen. Höhere Messfrequenzen bei Grundwasser-Fliessgeschwindigkeit von  $> 1$  m/d. Fliessgeschwindigkeiten sind abhängig von der Durchlässigkeit des Gesteins in den einzelnen Transekten. Situationen mit niedrigen und hohen Grundwasserständen (Hochwinter und -sommer) sowie insbesondere bei Hochwasserereignissen.

### Besonderes:

Die Methode wird angewendet bei Flussabschnitten über Talsohlenschottern bzw. Schwemmebenen mit Grundwasservorkommen, bei denen die Flusssohle nicht direkt beobachtet werden kann. Bei genügend langen Messreihen und bei Kenntnis von chemischen Parametern (inkl. Wassertracer) und Kolmationsprozessen können in diesen Fällen Auswirkungen von Eingriffen prognostiziert und nach der Renaturierung überprüft werden.

### Alternative Datenquelle:

Kantonale Gewässerschutz-Fachstellen



### Analyse der Resultate

---

Zeitreihen der gemessenen Wasserspiegel zeigen die hydraulische Beziehung zwischen Fluss und Grundwasser. Zeitreihen der Wassertemperaturen und der EL des Wassers im Fluss und in verschiedenen Beobachtungsrohren hingegen zeigen an, wie rasch sich versickertes Flusswasser im Grundwasser

fortbewegt und sich dabei mit älterem Grundwasser vermischt. Hierfür müssen die gewonnenen Daten statistisch untersucht werden (mit Kreuzkorrelationen und Filterfunktionen). Dies wird am besten mittels entsprechenden EDV-Programmen berechnet (z. B. MATLAB) oder mit Funktionsbildern von Hand abgeschätzt. Die Zeit, die ein Mess-Signal eines Ereignisses im Fluss, wie z. B. die Erniedrigung der EL bei einem Hochwasser, benötigt bis zum Erscheinen in einem Rohr (Fliebsdistanz  $x$  vom Flussufer), entspricht der Aufenthaltszeit  $t$ .

Mit den oben beschriebenen Messungen können für jede Messstelle (Bohrlöcher und Messstelle im Fluss) folgende Parameter abgeschätzt werden:

**Parameter:**

- i hydraulisches Gefälle zwischen zwei gemessenen Wasserspiegeln, zeigt an, ob das Grundwasser generell vom Fluss weg oder zum Fluss hin fliesst [m/ m]
- v Fließgeschwindigkeit des Grundwassers:  $v = x/t$  [m/d]
- q spezifische Wasseraustausch-Rate: Diese kann rechnerisch aus  $v$  und einer angenommenen nutzbaren Porosität der Flusssohle und des benachbarten Grundwasserleiters im Hyporheal von  $p = 0.2$  abgeschätzt werden zu

$$q = \frac{v}{p} = \frac{x}{t \times p} \text{ [m}^3\text{/ m}^2 \cdot \text{d]}$$

Dieser Wert quantifiziert das Ausmass des vertikalen Austausches. Eine allfällige Veränderung dieses Wertes mit der Zeit weist auf eine Kolmation bzw. Dekolmation der Flusssohle hin (z. B. nach Hochwässern).

**Zusatzinformation:**

Aus den gemessenen und den rechnerisch abgeschätzten Grössen lässt sich die Durchlässigkeit der Flusssohle und des benachbarten Grundwasserleiters im Hyporheal,  $k$  [m/d] berechnen (Darcy-Gesetz):

$$k = \frac{q}{i} = \frac{v}{i \times p} = \frac{x}{t \times i \times p}$$

Diese Grösse wird im vorliegenden Indikator jedoch nicht weiter verwendet.

Ökologisch gesehen ist folgendes anzustreben:

- a) ein hoher Wasseraustausch;
- b) ein kurzer Versickerungspfad von der Oberfläche potenzieller Auengebiete in Schwemmebenen zum Grundwasser (Flurabstand, Trockentiefe)

Für die Grundwassernutzung als Trinkwasser werden geringe Wasseraustausch-Raten und lange unterirdische Verweilzeiten angestrebt. Deshalb ist ein allfälliger Nutzungskonflikt aufzuzeigen und zu gewichten.

*Standardisierung der Parameterwerte*

Die Werte für die spezifische Austauschrate  $q$  und den Versickerungspfad werden gemäss den Tabellen 4 und 5 zu einer dimensionslosen Grösse standardisiert.

a) Standardisierung Parameter spez. Wasseraustausch-Rate q (Tabelle 4)

Tabelle 4: Standardisierungsklassen für spez. Wasseraustauschrate q.

rechnerisch abgeschätzter Wert für q	standardisierte Bewertung von q
$q > 5 \text{ m}^3 / \text{m}^2 \cdot \text{Tag}$ (sehr hoher Austausch)	1
$5 > q > 0.5 \text{ m}^3 / \text{m}^2 \cdot \text{Tag}$ (hoher Austausch)	0.8
$0.5 > q > 0.05 \text{ m}^3 / \text{m}^2 \cdot \text{Tag}$ (mässiger Austausch)	0.3
$q < 0.05 \text{ m}^3 / \text{m}^2 \cdot \text{Tag}$ (kein nennenswerter Austausch)	0

b) Standardisierung Parameter Flurabstand (Tabelle 5)

Tabelle 5: Standardisierungsklassen für Flurabstand.

gemessener Wert für Flurabstand	standardisierte Bewertung des Flurabstandes
< 2m	1
2 - 3 m	0.6
> 3m	0

Zur Berechnung des Endwertes werden für jedes Bohrloch die beiden Bewertungen zusammengezählt. Dabei werden die Parameter aufgrund ihres Wirkungspotenzials unterschiedlich stark gewichtet: Der Wert für die spezifische Austauschrate wird mit einem Faktor von 0.7 multipliziert, derjenige des Flurabstands mit 0.3:

$$\text{Endwert} = (0.7 \times \text{Bewertung } q) + (0.3 \times \text{Bewertung Flurabstand})$$

Es resultiert für jedes Bohrloch ein Endwert zwischen 0 und 1.

Für jedes Messprofil werden die Werte der einzelnen Bohrlöcher gemittelt.

Bei mehr als einem Messprofil im Untersuchungsgebiet werden die Werte der einzelnen Bohrlöcher gemittelt.



### Verbindung zu anderen Indikatoren

---

Es besteht eine Verbindung zu den folgenden Indikatoren:

- Nr. 34: Sohle: innere Kolmation der Gewässersohle
- Nr. 38: Temperatur: räumliche und zeitliche Temperaturheterogenität im Oberflächengewässer
- Nr. 40: Übergangszonen: Stoffaustausch zwischen Fluss- und Grundwasser



### Anwendungsbeispiele

---

Die Berechnung des Indikators „Durchlässigkeit des Flussbettes“ und des benachbarten Grundwasserleiters im Hyporheal wird in der untenstehenden Literatur dargelegt. Es wird beschrieben, wie sich von Tracerinformation (spez. elektrische Leitfähigkeit oder Wassertemperaturen) der Infiltratanteil und die Aufenthaltszeit des infiltrierten Wassers berechnen lassen.



## Literatur

---

- Fette, M., R. Kipfer, C.J. Schubert, E. Hoehn & B. Wehrli. 2005. Assessing river-groundwater exchange in the regulated Rhone River (Switzerland) using stable isotopes and geochemical tracers. *Applied Geochemistry* 20: 701-712.
- Hoehn, E. 2002. Hydrogeological issues of riverbank filtration - A review. pp. 17-42. *In: S. Ray (ed.) Riverbank filtration: Understanding contaminant biogeochemistry and pathogen removal, NATO , Proceedings of the NATO-ARW Workshop, Tihany, Hungary, 5-8 Sept. 2001. Kluwer Academic Publications.*
- Huggenberger, P., E. Hoehn, R. Beschta, & W. Woessner. 1998. Abiotic aspects of channels and floodplains in riparian ecology. *Freshwater Biology* 40: 407-425.
- Projektteam EAWAG. 2003/2005. Beurteilung der Herkunft des Grundwassers in der Trinkwasserfassung Widen, Frauenfeld, bei Niederwasser der Thur. Zwischenbericht und Schlussbericht zuhanden des Amtes für Umwelt, Kanton Thurgau.
- Projektteam EAWAG. 2005. Beurteilung der Herkunft des Grundwassers in der Trinkwasserfassung Widen, Frauenfeld. Schlussbericht zuhanden des Amtes für Umwelt, Kanton Thurgau.