



# Übergangszonen: Stoffaustausch zwischen Fluss- und Grundwasser

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 gilt: Je grösser der Stoffaustausch zwischen Fluss und Grundwasser, desto höher ist im Allgemeinen auch die Biodiversität an und in der Flusssohle. Anzustreben sind naturnahe Zustände, welche sich nach wasserbaulichen Massnahmen nicht verschlechtern.

Für die Nutzung von Grundwasser mit Infiltratanteil für die Trinkwasserversorgung sind Aufenthaltszeiten von mehr als 10 Tagen notwendig, damit das Wasser keine Darmbakterien enthält. Deshalb besteht häufig ein Konflikt, weil bei guter Durchlässigkeit des Flussbettes ein zu hoher Infiltratanteil an Grundwasser zu rasch eine Grundwasserfassung erreichen kann.

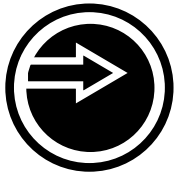
Der Indikator schätzt das Ausmass von Stoffaustausch- und Stofftransport-Prozessen an der Flusssohle ab. Dazu werden im Fluss und in Grundwasserbeobachtungsrohren ausgewählte Wasserinhaltsstoffe als Teilindikatoren gemessen.

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	●	morphologische und hydraulische Variabilität	■	Budgeteinhaltung	■	politische Akzeptanz
	hoher Erholungswert		●				naturnaher Geschiebehaushalt
		●	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

### Messgrösse:

Es werden verschiedene chemische Wasserinhaltsstoffe gemessen. Diese werden in drei Teilindikatoren zusammengefasst (Tabelle 2):

**Tabelle 2:** Teilindikatoren und ihre Erhebung. Es werden verschiedene Typen von Messungen unterschieden: Typ 1) direkte Messung im Feld, Typ 2) 1L-Wasserprobe, im Labor analysiert.

	Teilindikator	Messgrößen	Typ der Messung (siehe Aufnahmevorgehen)
a)	Sauerstoff und Nährstoffgehalte	O <sub>2</sub> <sup>-</sup> NO <sub>3</sub> , DOC	1 2
b)	Mischungsverhältnisse	Cl <sup>-</sup> , HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	2
c)	Aufenthaltszeit	<sup>222</sup> Rn (bis 15 Tage)	1

### Aufnahmevorgehen:

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 3). Innerhalb des Projektperimeters werden mind. 2 Messprofile untersucht. Je nach Länge des untersuchten Abschnitts sind diese zwischen 1 bis 10 km voneinander entfernt.

In der Regel wird eine einzige Probe pro Bohrloch gezogen. Falls folgende Bedingungen erfüllt sind, wird die Entnahme von Proben in unterschiedlichen Tiefenlagen desselben Bohrlochs als zweckmässig erachtet:

- Möglichkeit einer Schichtung von Grundwasser
- Filterstrecke des Bohrlochs bekannt
- 3 hintereinander liegende Pumpen können im Bohrloch bewegt werden

Die Proben sollen nach der „Praxishilfe Grundwasserprobenahme“ des BUWAL, Vollzug Umwelt, 2003, gezogen und anschliessend im Labor chemisch analysiert werden.

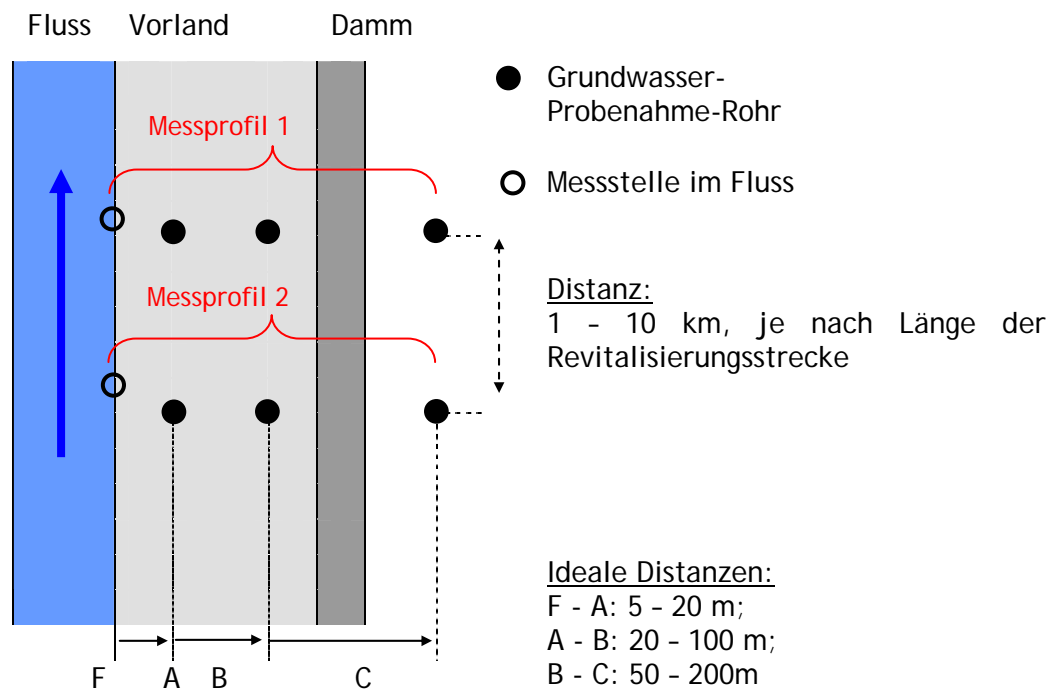


Abbildung 3: Lage der Probenahme-Rohre innerhalb der Messprofile.

**Materialeinsatz:**

Pumpen, Stromaggregate, Flaschen, Chemikalien

**Zeitlicher und personeller Aufwand:** (Tabelle 4)

Aufwandstufe C

Tabelle 4: Geschätzter zeitlicher und personeller Aufwand der Erhebung.

Arbeitsschritt	Spezialisten		Helfer	
	Personen	Dauer pro Person (h)	Personen	Dauer pro Person (h)
Probenahme (10 Proben)	1	8	1	8
Labor-Analysen (10 Proben, Messungen vom Typ 2)	1	16	1	16
Total Personenstunden (P-h)	24		24	

**Zeitpunkt und Häufigkeit der Erhebung:**

1-2 Jahre vor und 2-5 Jahre nach dem Eingriff, je 2 - 3 Mal im Abstand von 1-4 Wochen gemessen. Situationen mit niedrigen und hohen Grundwasserspiegeln sowie insbesondere bei Hochwasserereignissen.

**Besonderes:**

Der Anwendungsbereich dieses Indikators beschränkt sich auf Flussabschnitte über Talsohlenschottern/ Schwemmebenen mit Grundwasservorkommen.

Zudem muss innerhalb eines Messprofils der Wasserspiegel im Fluss über dem Grundwasserspiegel in den Rohren liegen. Genügend lange Messreihen vor einem Eingriff können mithelfen, Auswirkungen von Eingriffen zu prognostizieren.

Das hier vorgestellte Vorgehen lässt ausser Betracht, dass chemische Analysen auch im Lichte der hydraulischen und der klimatischen Verhältnisse (höhere oder tiefere Fliessgeschwindigkeit des Wassers; Regen- oder Trockenperioden) sowie der geologischen Unterschiede zwischen den einzelnen Profilen bewertet werden müssen.

#### Alternative Datenquelle:

Kantonale Gewässerschutz-Fachstellen: Grundwasserschutz;  
Trinkwasserinspektorat.



#### Analyse der Resultate

Aus den Messwerten können von Hand oder mittels spezieller Computer-Software (z. B. mit AQUACHEM, CHEMEQL [Beat Müller, EAWAG, kostenloser download], PHREEQE) chemische Gleichgewichte wie z. B. Kalk-Kohlensäure-Gleichgewicht und Redox-Verhältnisse abgeschätzt werden.

Grundsätzlich sind im Grundwasser ein niedriger Gehalt an Nährstoffen ( $\text{DOC} < 1 \text{ mg/L}$ ;  $\text{NO}_3 < 10 \text{ mg/L}$ ) und gut belüftete Verhältnisse ( $\text{O}_2 > 6 \text{ mg/L}$ ) erwünscht. Ökologisch gesehen ist eine Erhöhung des Mischungsanteils an Infiltrat und eine Verringerung der Aufenthaltszeiten im Hyporheos (höherer Wasseraustausch) anzustreben. Für die Nutzung von Grundwasser mit Infiltratanteil als Trinkwasser hingegen sind möglichst geringe Mischungsanteile an frisch infiltriertem Wasser und möglichst hohe Aufenthaltszeiten erwünscht.

#### *Standardisierung der Parameterwerte*

Die Messgrössen der Teilindikatoren (siehe Tabelle 5) werden anhand der Tabellen 5-7 zu einer dimensionslose Grösse zwischen 0 und 1 standardisiert. Die Bewertungen werden pro Messprofil gemittelt.

#### *a) Sauerstoff und Nährstoffe (Tabelle 5)*

Tabelle 5: Bewertungstabelle für Sauerstoff und Nährstoffe.

Messgrössen	standardisierter Wert
$\text{O}_2 > 6 \text{ mg/L}$ UND $\text{DOC} < 1 \text{ mg/L}$ UND $\text{NO}_3 < 10 \text{ mg/L}$	1
$\text{O}_2$ zwischen 2 und 6 mg/L ODER DOC zwischen 1 und 2 mg/L ODER $\text{NO}_3$ zwischen 10 und 25 mg/L	0.5
$\text{O}_2 < 2 \text{ mg/L}$ UND DOC $> 2 \text{ mg/L}$ UND $\text{NO}_3 > 25 \text{ mg/L}$	0

*b) Mischungsverhältnisse (Tabelle 6)*

Die Parameter aus Tabelle 6, die in den am weitesten vom Fluss entfernten Grundwasser-Beobachtungsrohren gemessen wurden (Abbildung 3) werden als Werte „C“ bezeichnet.

Die in der Messstelle im Fluss erhobenen Werte werden als Werte „F“ bezeichnet.

Die folgenden Berechnungen werden für jeden Parameter einzeln durchgeführt und anschliessend zu einem Wert pro Messprofil gemittelt.

Falls die Konzentrationen in C höher sind als in F:  $\frac{C - F}{F}$ .

Falls die Konzentrationen in F höher sind als in C:  $\frac{F - C}{C}$ .

Diese Konzentrationsverhältnisse geben ein qualitatives Mass für die Intensität der Infiltration von Flusswasser ins Grundwasser bezüglich Mischanteil. (Es können sinngemäss auch die Werte  $\frac{B - F}{F}$  bzw.  $\frac{F - B}{B}$  bestimmt werden.)

Voraussetzung für die Anwendbarkeit dieser Bestimmung ist, dass dieser Wert für mindestens einen der Parameter mind. 1.2 beträgt. Andernfalls kann nicht ausgesagt werden, ob überhaupt ein Wasseraustausch stattfindet oder nicht. (Der Indikator funktioniert nur in einer Richtung.)

**Tabelle 6:** Bewertungstabelle für Mischungsverhältnisse.

Werte für $\frac{C - F}{F}$ oder $\frac{B - F}{F}$ bzw. $\frac{F - C}{C}$ oder $\frac{F - B}{B}$	standardisierter Wert
> 2.0	1
1.2 - 2.0	0.5
< 1.2	nicht anwendbar

Die Bewertungen für die drei Parameter werden gemittelt.

*c) Aufenthaltszeit (Tabelle 7)*

Die Radon-222-Werte, die in den am weitesten vom Fluss entfernten Grundwasser-Beobachtungsrohren gemessen wurden (Abbildung 3) werden als Werte „C“ bezeichnet.

Die in den am nächsten beim Fluss liegenden Rohren gemessenen Werte werden als Werte „A“ bezeichnet.

Die Konzentrationsverhältnisse  $\frac{A}{C}$  geben ein qualitatives Mass für die Intensität der Infiltration von Flusswasser ins Grundwasser bezüglich Aufenthaltszeit.

Annahme: Rn-Konzentration im Fluss = 0. Ist dies nicht der Fall, so ist die Bewertungsskala für  $\frac{A}{C}$  um den in Fluss gemessenen Wert zu erniedrigen.

Tabelle 7: Bewertungstabelle für Aufenthaltszeit.

Werte $\frac{A}{C}$	standardisierter Wert
> 2.5	1
1.5 - 2.5	0.5
< 1.5	0

Zur Berechnung des Endwertes des Indikators werden im Fall des Teilindikators a) Mittelwerte zunächst über alle Bohrlöcher und dann, wie auch im Fall der Teilindikatoren b) und c), Mittelwerte über die Messprofile gebildet. Um die ökologische Zielerfüllung des gesamten untersuchten Gebiets (mehrere Bohrlöcher in mehreren Messprofilen) zu beschreiben, wird zur Berechnung eines Endwerts zwischen 0 und 1 der Mittelwert dieser Mittelwerte gebildet.

Bei Messwiederholungen (siehe Abschnitt „Zeitpunkt und Häufigkeit der Erhebung“) werden die Endwerte der verschiedenen Beprobungen gemittelt.



### Verbindung zu anderen Indikatoren

---

Es besteht eine Verbindung zu folgenden Indikatoren:

- Nr. 32: Sohle: Durchlässigkeit des Flussbettes
- Nr. 34: Sohle: innere Kolmation der Gewässersohle
- Nr. 38: Temperatur: räumliche und zeitliche Temperaturheterogenität im Oberflächengewässer



### Anwendungsbeispiele

---

In den unter „Literatur“ aufgeführten Berichten wird dargelegt, wie der Indikator angewendet wird: Es wird beschrieben, wie sich aus der Wasserzusammensetzung der Infiltratanteil bzw. die Aufenthaltszeit des infiltrierten Wassers (Edelgas-Isotope) berechnen lässt.



### Literatur

---

- BUWAL. 2003. Praxishilfe Grundwasserprobenahme, Vollzug Umwelt.
- 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.*
- Holocher, J., V. Matta, W. Aeschbach-Hertig, U. Beyerle, M. Hofer, F. Peeters, & R. Kipfer. 2001. Noble gas and major element constraints on the water dynamics in an Alpine floodplain. *Ground Water* 39(6): 841-852.
- 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.
- Brunke, M. & T. Gonser. 1999. Hyporheic invertebrates - the clinal nature of interstitial communities structured by hydrological exchange and environmental gradients. *Journal of the North-American Benthological Society* 18(3): 344-362.