

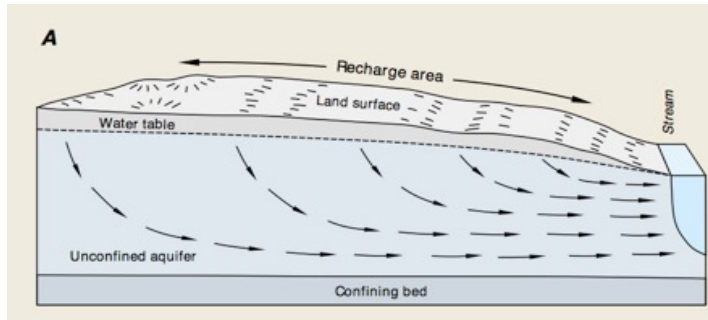
Neue Ansätze für die Beurteilung von Fluss-Grundwasser-interaktionen im Kontext der Trinkwassergewinnung

CHy Grundwassertagung, 27.10.2023

Oliver S. Schilling, oliver.schilling@unibas.ch

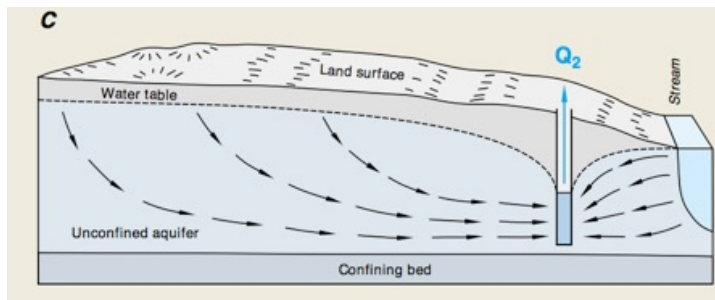
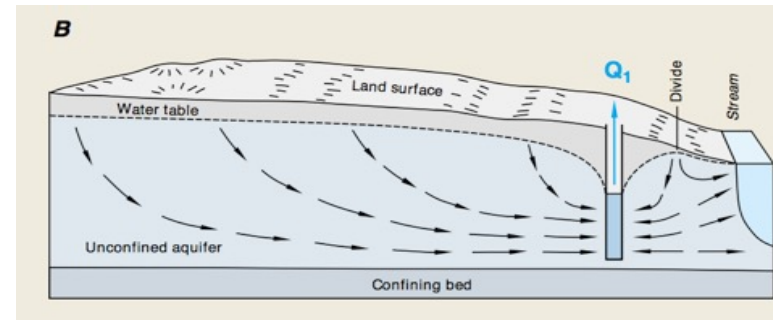


Eine der zentralen Fragen der Hydro(geo)logie: Woher kommt unser Trinkwasser?



Example of a typical peri-alpine river corridor, where hillside water from unconsolidated sediments feeds a stream

in such systems, we often employ bank filtration to extract groundwater for drinking water purposes



Depending on location and rate of abstraction, we pump water of different origins, residence times and qualities

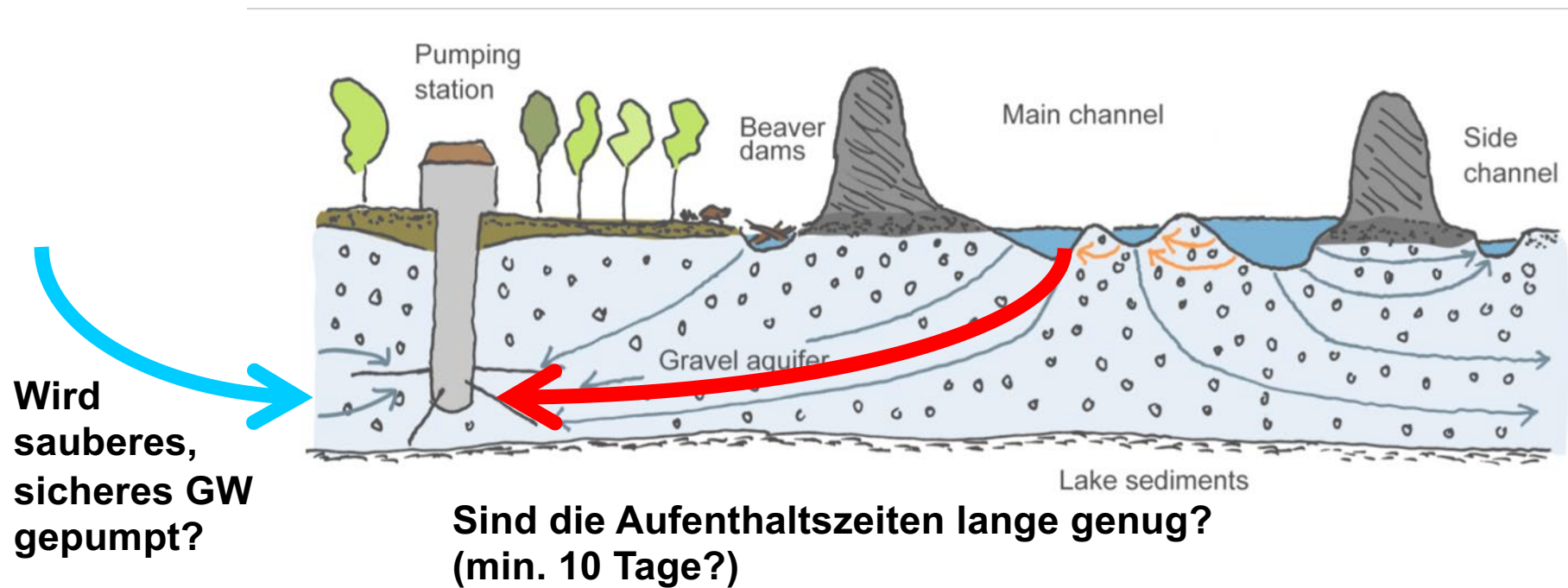
Verändert nach Winter et al. (1998)

Im Kontext flussnaher Grundwasserpumpwerke:

Fließpfade und Grundwasserherkunft?

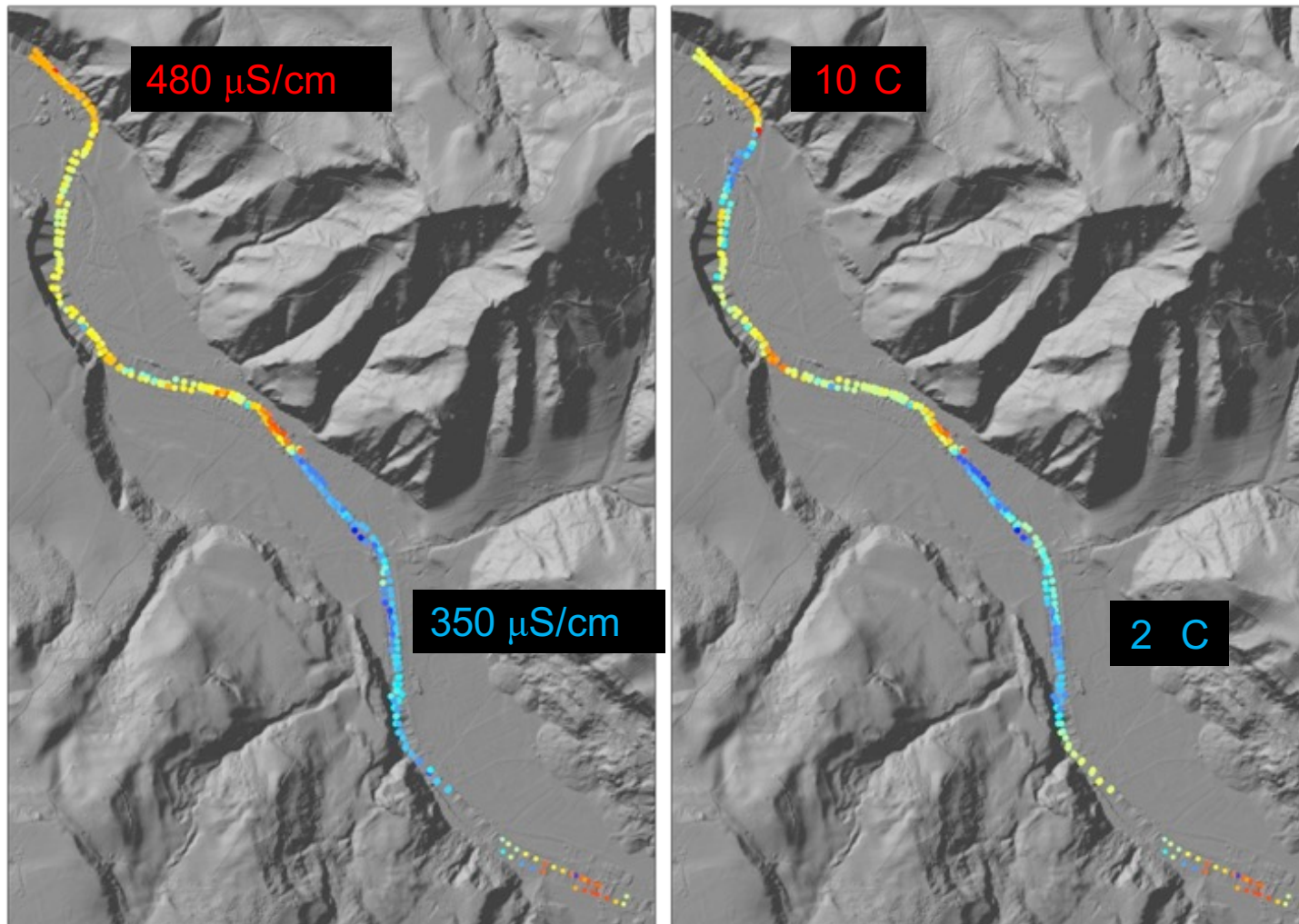
Grundwasser Aufenthaltszeit?

Schutzzonenkonformität?



Verändert nach Cirpka & Hoehn 2008

Komplexität I: Interaktionen zwischen Fluss & GW

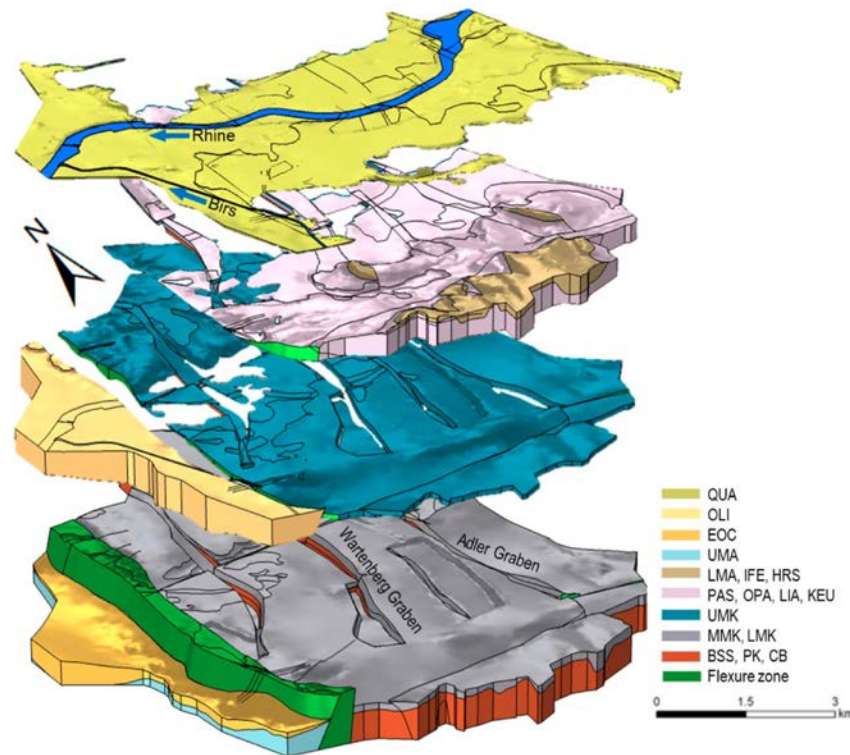


Höchst dynamische Fluss-Grundwasserinteraktionen machen das Unterscheiden zwischen regionalem Grundwasser und lokal versickertem Flusswasser sehr schwierig

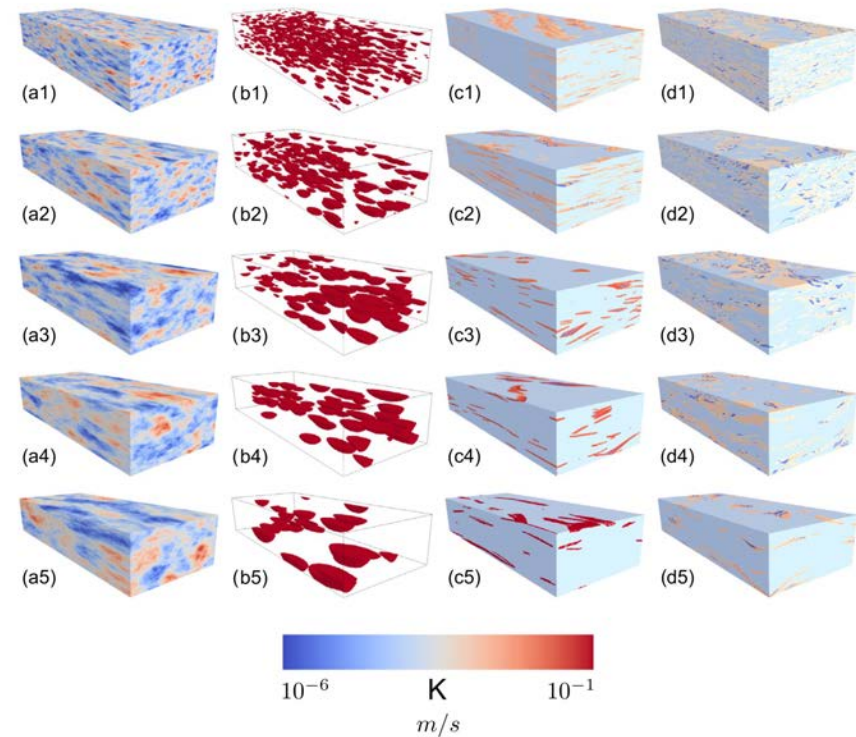
Käser & Hunkeler (2015)

Komplexität II: Geologie alpiner Flusstäler

Geologie entlang des Rheins bei Basel



Sedimentologische Geschichte eines alluvialen Schotteraquifers

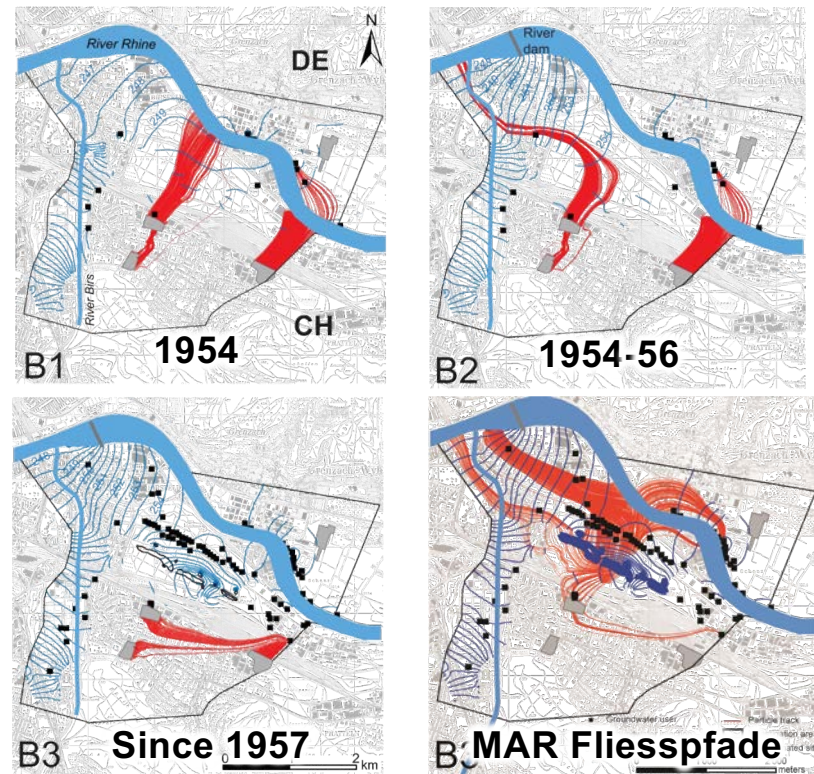
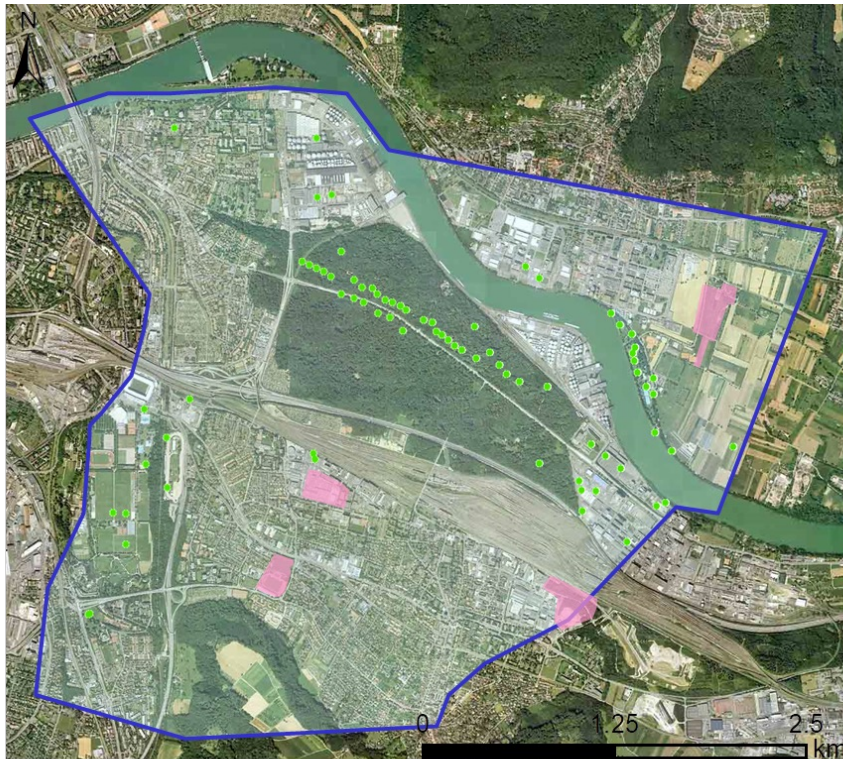


Komplexe Geologie und paläo-sedimentologische Muster geprägt von ungleichmässigen Perioden von fluvialer Ablagerung und Erosion haben zu höchst heterogenen Verteilungen von Aquifer-Eigenschaften geführt → Stichwort: **Präferentielle Fließspfade**

Scheidler et al. (2021)

Komplexität III: Urbane Einflüsse auf Fluss-GW Systeme

Grundwasserwerk Hardwald bei Basel – die grösste Anreicherungsanlage der Schweiz




Einflüsse urbaner Aktivitäten, Altlastenstandorte sowie komplexe Geologie erfordern ausgesprochen grosses Wissen und viele Tools um ein optimales Management zu garantieren

Huggenberger et al. (2011)

Die Praxis: Methoden werden der Komplexität nicht gerecht

Systematisches Review von Grundwassermodellen hat folgendes zu Tage geführt:

- Die allermeisten Grundwasserfließmodelle sind lediglich gegen Grundwasserstände, im besten Falle noch Oberflächenabflüsse, kalibriert. **Diese Modelle können Fließpfade, Fließraten und Transport nicht verlässlich abbilden.**
- Werden allerdings **diverse zusätzliche Messungen** zur Kalibrierung von Grundwasserfließmodellen hinzugezogen, z.B., **Tracerkonzentrationen oder daraus abgeleitete Fließinformationen**, können die Unsicherheiten bezüglich Fließ und Transportvorhersagen in kritischer Masse reduziert werden.

 ADVANCING EARTH AND SPACE SCIENCE




Reviews of Geophysics

REVIEW ARTICLE
10.1029/2018RG000619

Key Points:

- The use and information content of diverse observations for groundwater model calibration are assessed
- Most unconventional observations strongly improve the calibration of integrated groundwater flow models
- Fluxes and tracer concentrations are of larger benefit for groundwater model calibration than temperature observations

Beyond Classical Observations in Hydrogeology: The Advantages of Including Exchange Flux, Temperature, Tracer Concentration, Residence Time, and Soil Moisture Observations in Groundwater Model Calibration

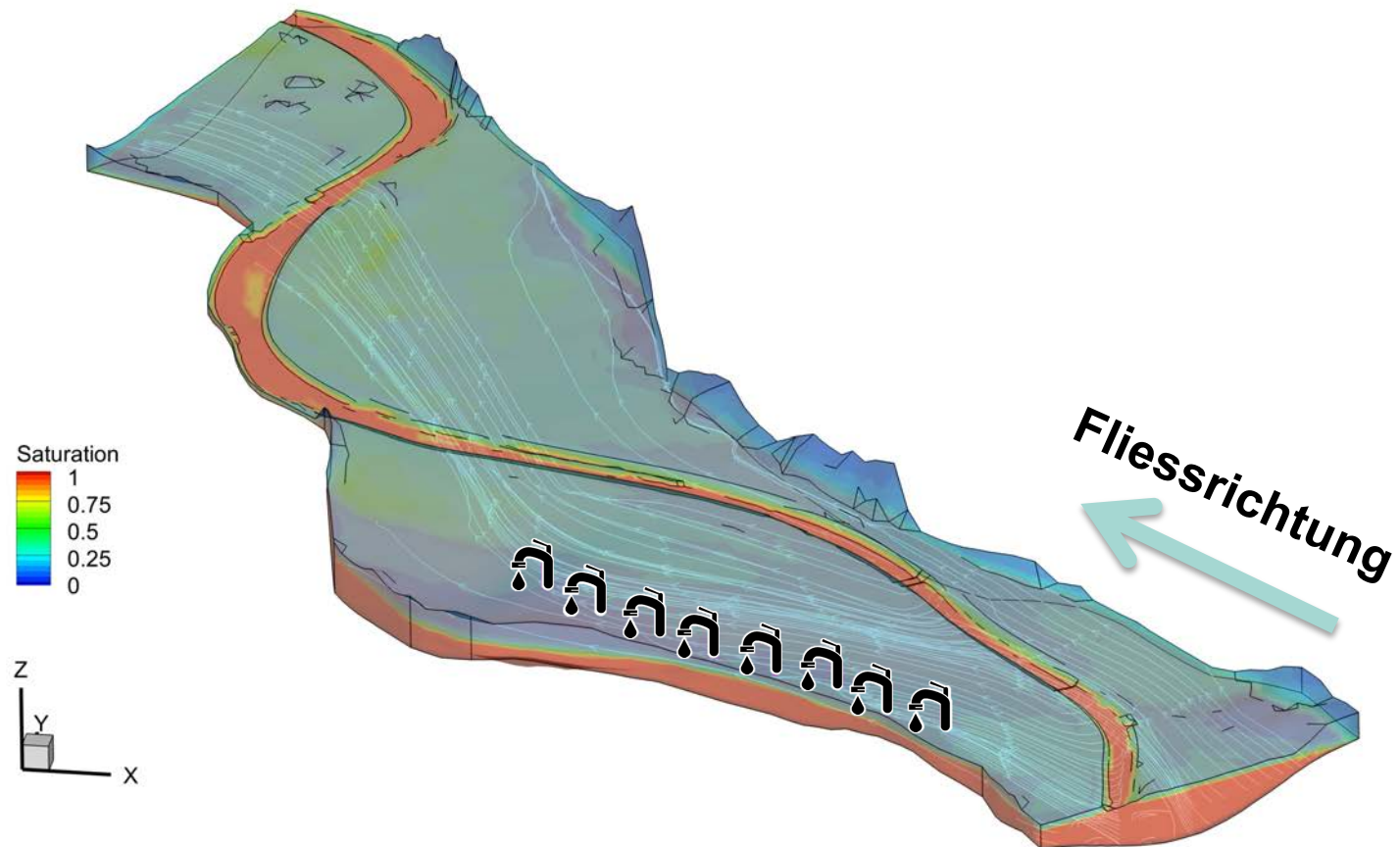
Oliver S. Schilling^{1,2,3} , Peter G. Cook³ , and Philip Brunner¹ 

¹Centre for Hydrology and Geothermics (CHYN), Université de Neuchâtel, Neuchâtel, Switzerland, ²Department of Geology and Geological Engineering, Université Laval, Pavillon Adrien-Pouliot, Québec, Canada, ³National Centre for Groundwater Research and Training, School of the Environment, Flinders University, Adelaide, Australia

Ein Beispiel: Das Pumpwerk Ramsei im Emmental

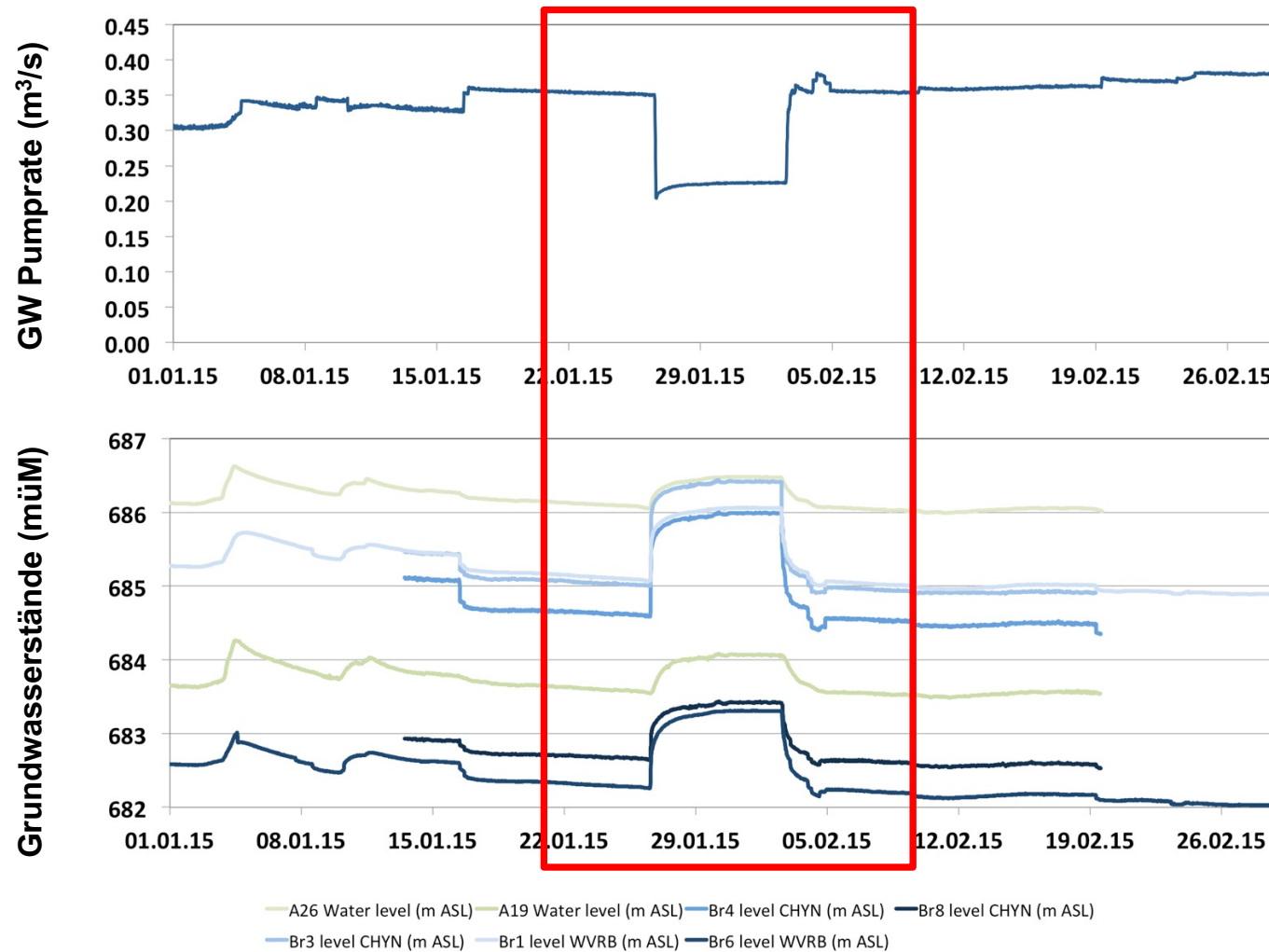
Trinkwasser wird, 150-250m von einem Fluss entfernt, aus 8 Förderbrunnen gewonnen. Das geförderte Wasser stellt eine Mischung aus regionalem Grundwasser und lokal infiltriertem Flusswasser dar.

- Mischanteile bestimmen?
- Aufenthaltszeit des lokal infiltrierten Flusswassers?



Schilling et al (2017)

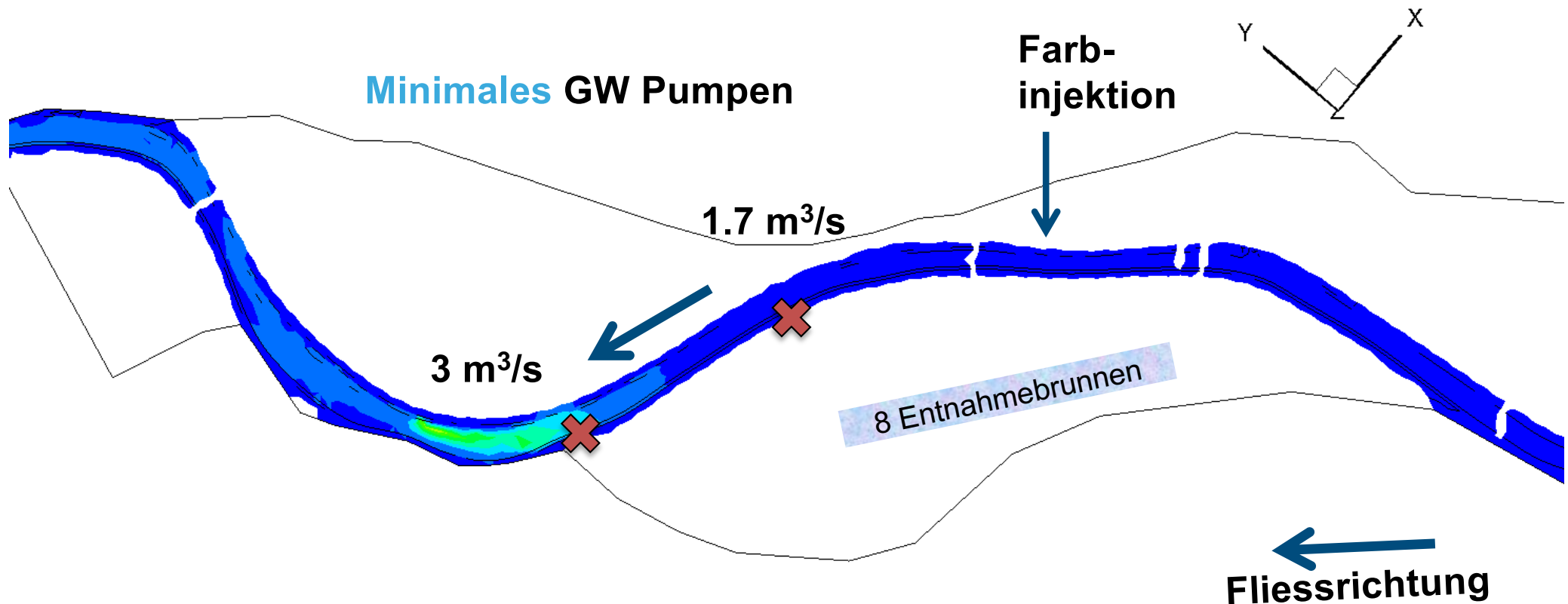
Klassischer Ansatz: Messungen der Grundwasserstände



✓ Grundwasserstände reagieren sofort & stark auf eine Reduktion der Pumprate

Schilling et al (2017)

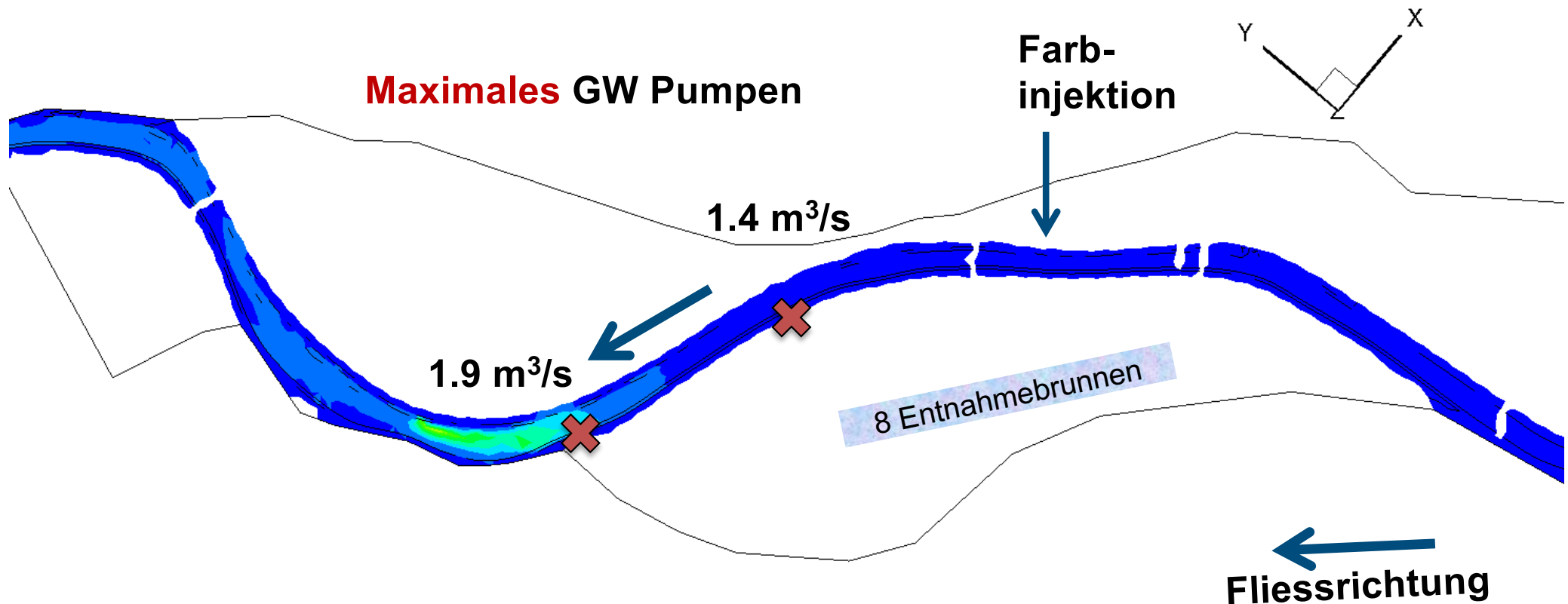
Klassischer Ansatz: Färbversuche Abflussdifferenzmessung



- ✓ Bei **minimaler** Extraktion trägt im Abstrom des Feldes exfiltrierendes Grundwasser **+80%** zum Abfluss bei

Schilling et al (2017)

Klassischer Ansatz: Färbversuche Abflussdifferenzmessung



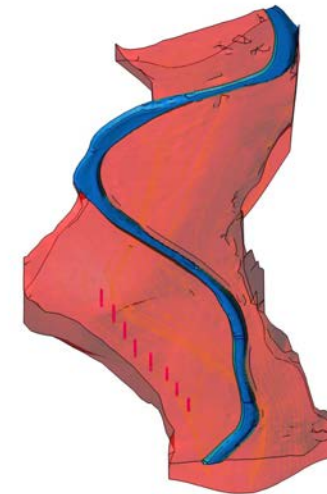
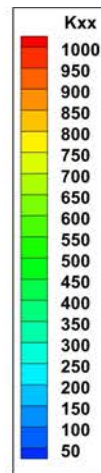
- ✓ Bei **maximaler** Extraktion reduziert sich der zusätzliche Abfluss durch Grundwasserexfiltration auf **+30%**

Klassischer Ansatz: Kalibration von Fließmodellen gegen diese Pegel- und Abflussmessungen

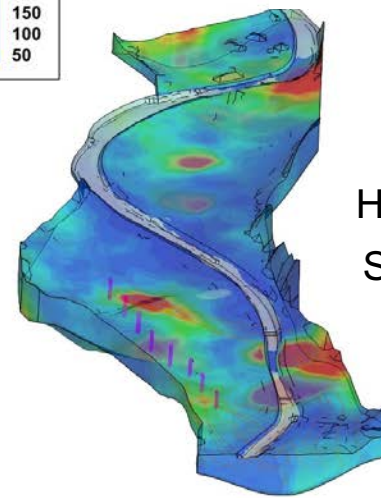
Kalibriert man ein Fluss-Grundwasser-Fließmodell nun gegen diese Messungen, so realisiert man, dass **eine Vielzahl an verschiedenen Verteilungen von hydraulischen Leitfähigkeiten diese Pegel mit ähnlicher Genauigkeit reproduzieren können.**

Während also viele Modelle die Pegelstände reproduzieren können, **unterscheiden sich die resultierenden Fließpfade, Mischungsanteile und Aufenthaltszeiten** dieser Modelle dramatisch.

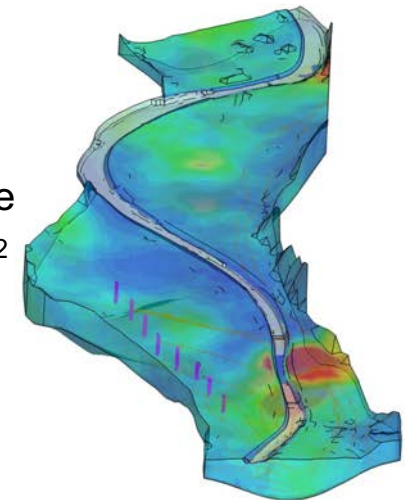
Hydraulische Leitfähigkeit



Homogenes Szenario¹



Heterogene Szenarien²

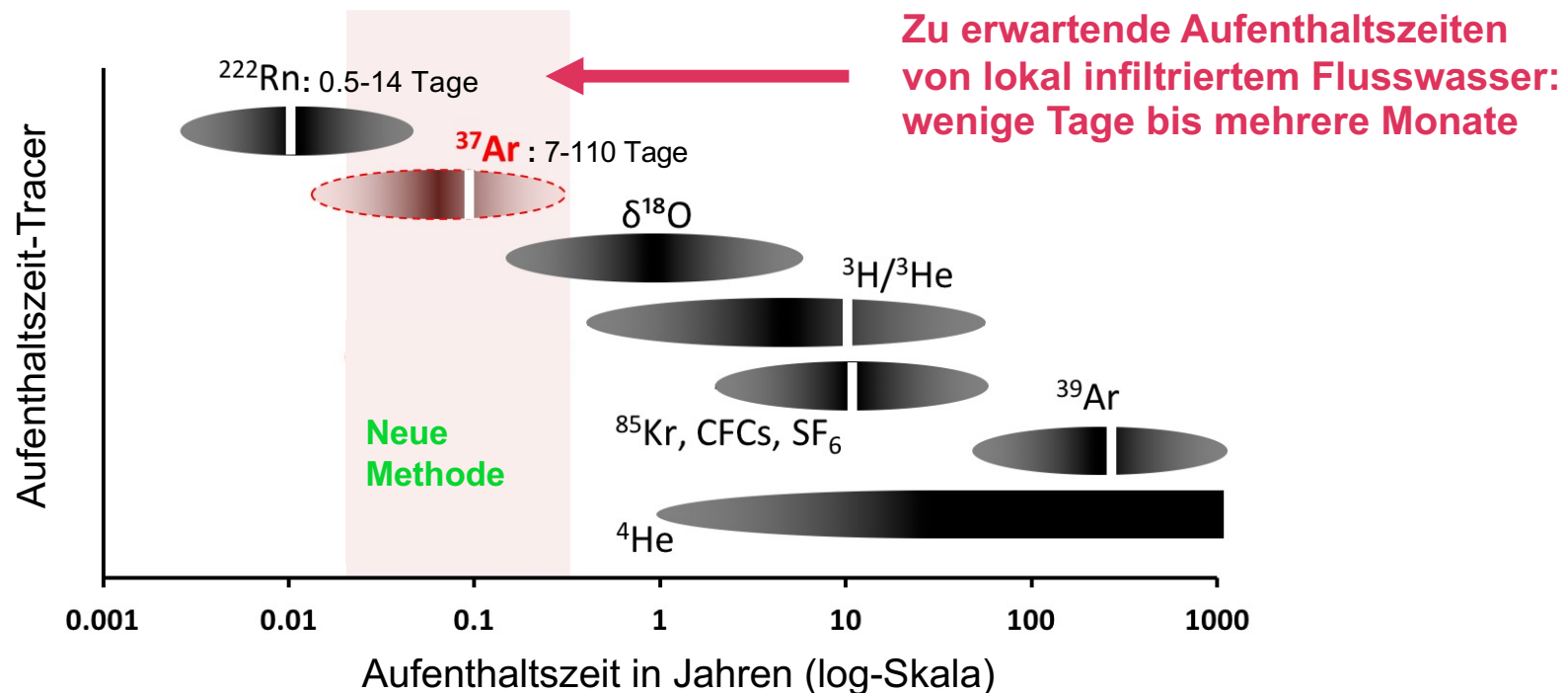


¹Schilling et al. (2017); ²Tang et al. (2018)

Alternativen: Welche (Tracer-)Daten sind denn geeignet?

Frage: Wie können wir Aufenthaltszeiten und Anteile an lokal versickertem Flusswasser verlässlich identifizieren?

Antwort: Durch Messung natürlicher radioaktiver Edelgase ($^{222}\text{Rn} + ^{37}\text{Ar} + ^4\text{He}$)

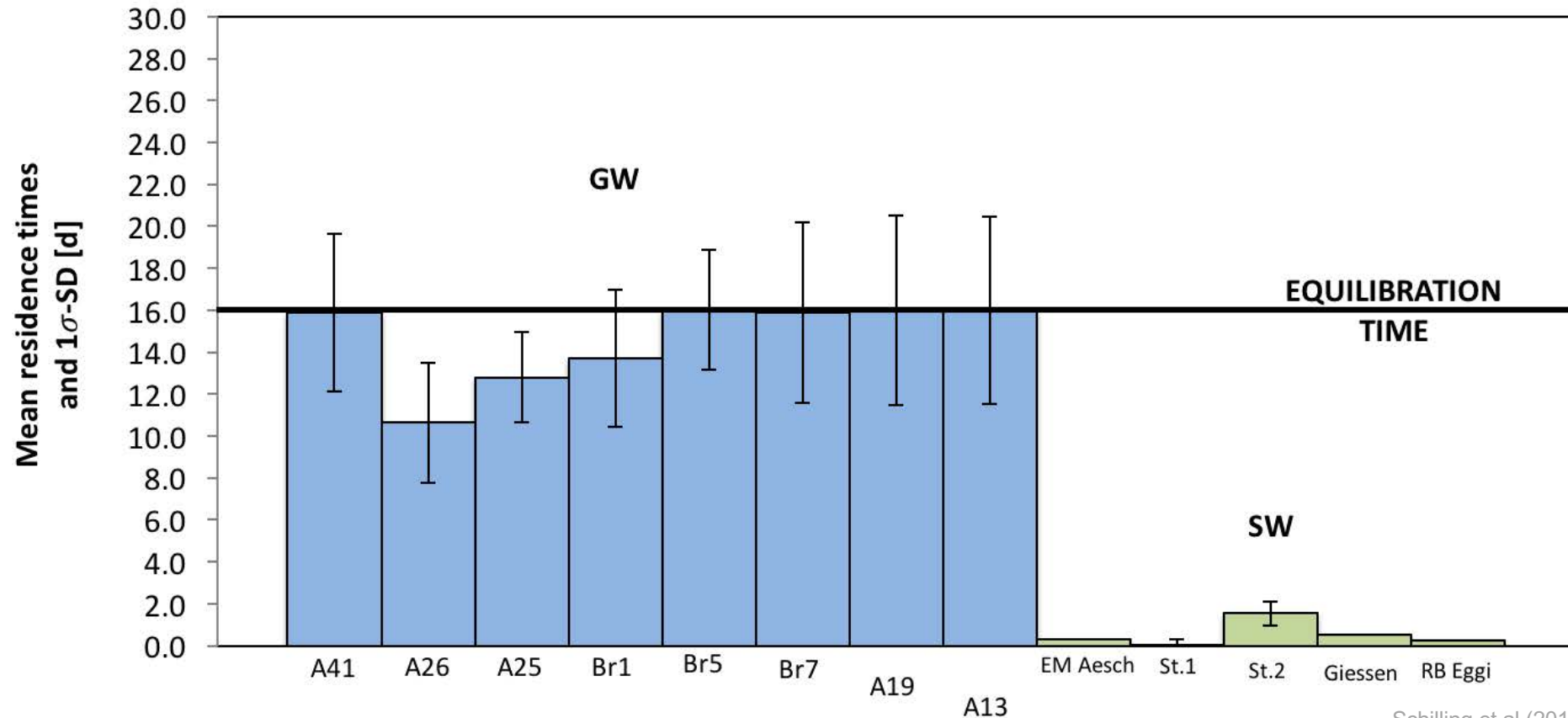


Schilling et al (2017)

Alternativen: ^{222}Rn für Aufenthaltszeiten von 0.5 – 14 Tagen

Dank ^{222}Rn sehen wir, dass in einigen Messstellen sowie in Brunnen 1 auch junge Anteile an lokal infiltriertem Flusswasser ankommen müssen (und dass Grundwasser angereichert mit Radon in die Emme exfiltriert)

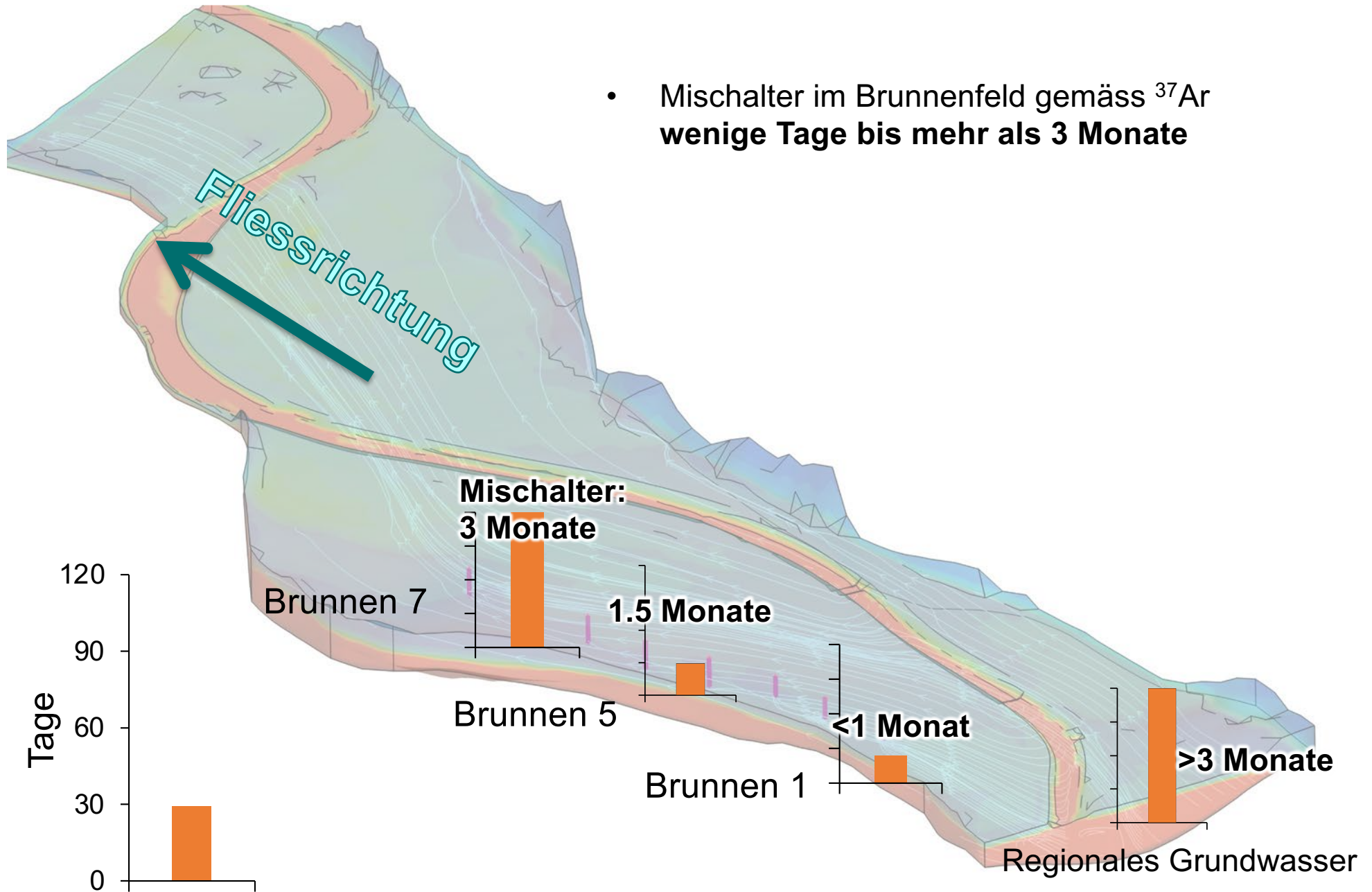
Mean residence times by Location



Schilling et al (2017)

Alternativen: ^{37}Ar für Aufenthaltszeiten von 7 – 110 Tagen

- Mischalter im Brunnenfeld gemäss ^{37}Ar wenige Tage bis mehr als 3 Monate



Alternativen: ^4He als Mischungsindikator

Annahme: Regionals Grundwasser ist mit Helium-4 (~ein alpha-Teilchen) aus radioaktivem Zerfall angereichert. Aber **innerhalb der Aufenthaltszeiten, wie wir sie im Brunnenfeld vorfinden, bleibt der Anteil an He constant**. Dadurch verändert sich He nur aufgrund von Mischung mit Flusswasser, welches atmosphärische Konzentrationen aufweist.

Ort	Flusswasseranteil ^4He - basiert
regionales GW	0 %
Emme	100%
Brunnen 1	60%
Brunnen 5	26%
Brunnen 7	83%

Aber:

Sind diese punktuelle Messungen nicht zu aufwendig?

TENDENZIEL JA!

Genügen diese punktuellen Messungen um die verschiedenen hydrologischen Zustände des Systems abzubilden?

NEIN!

Neue Perspektive: online Messungen mit feldbasierten Geräten



RAD7/RAD8
(DurrIDGE Inc.)

- Misst ^{222}Rn **kontinuierlich, direkt im Feld**
- Messfrequenz: 2 min; Gerätekosten: ~8'000 CHF
- Kritisches Alter von jungem Grundwasseranteil bestimmen



GE-MIMS
(Gasometrix GmbH)

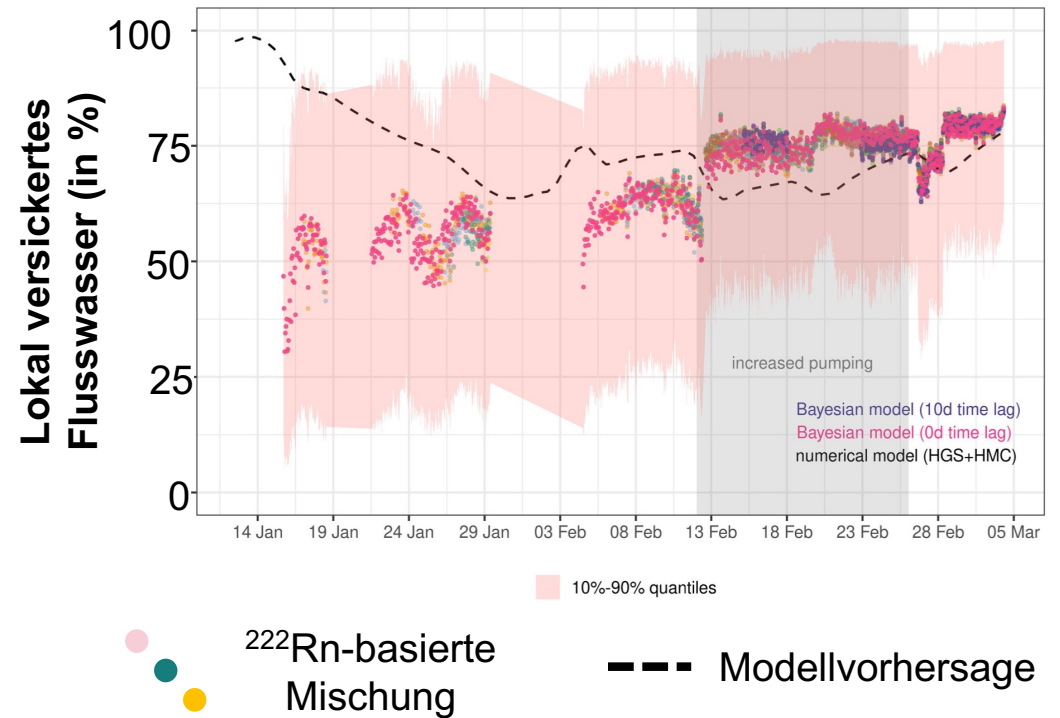
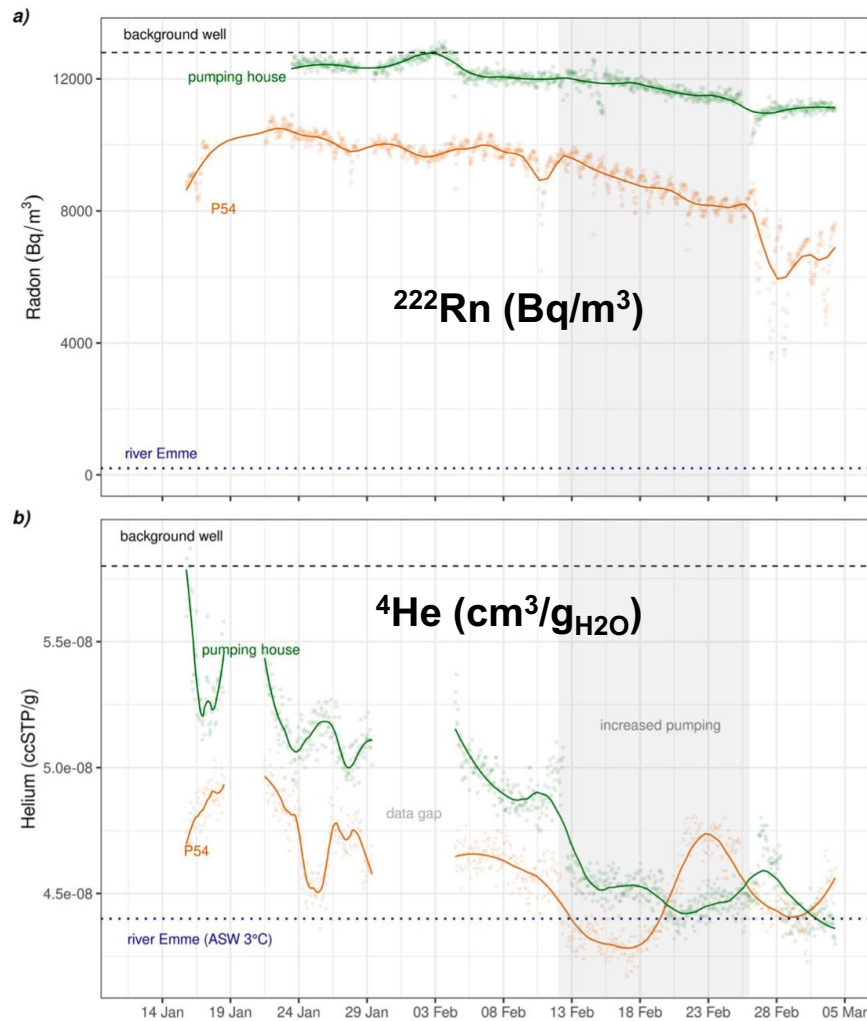
- Misst gelöste Gase (u.A. He) **kontinuierlich, direkt im Feld**
- Messfrequenz: 10 min; Gerätekosten: ~55'000 CHF
- Mischung zwischen regionalem GW und lokal infiltriertem FW (+Edelgasthermometrie, Biogeochemie, und und und)



Bactosense
(bNovate SA)

- Misst Mikroben (Zellzahl & DNA Aspekte) **kontinuierlich, direkt im Feld**
- Frequenz: 20 min; Gerätekosten: ~60'000 CHF
- Wasserqualität, FW-GW Interaktionen, Biogeochemische Prozesse

Back to the future: He+²²²Rn-Messungen für zeitliche aufgelöste Informationen zur Mischung in PW



Popp et al (2021)

Take Home

- **Klassische Messungen sind generell NICHT für die Detektion präferentieller Fließpfade geeignet.** Grund: Geologische Komplexität alluvialer Schotter und (Vor-)Alpiner Regionen.
- **Neue analytische Verfahren und portable Messsystem bergen ein riesiges Potential** für die verbesserte Detektion präferentieller und dynamischer Fließpfade.
- **Gelöste Gase und mikrobielle Informationen sind höchst komplementär zu den klassischen Messmethoden.** Sie bieten neue Einsichten und stellen daher eine ideale Ergänzung dar.
- **Die grössten Gewinne – aber oft auch die grössten Herausforderungen – liegen in neuen interdisziplinären Ansätzen,** welche die Fortschritte verschiedener Disziplinen zu vereinen vermögen

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

Ein grosses Dankeschön gilt unseren Partnern:



sowie unseren Gelbebern



Bibliografie

Besmer, M.D. et al. (2016). Online flow cytometry reveals microbial dynamics influenced by concurrent natural and operational events in groundwater used for drinking water treatment. *Sci. Rep.*, 6, 38462. <https://doi.org/10.1038/srep38462>

Cirpka, O.A., & Hoehn, E. (2008). Flussrevitalisierung und Grundwasserschutz. *Eawag News*, 65, 12-15. <https://www.dora.lib4ri.ch/eawag/islandora/object/eawag%3A9894>

Currle, F. et al. (2023). Tracing and quantifying microbes in riverbank filtration sites combining online flow cytometry and noble gas analysis. Presentation held at the JpGU Meeting 2023, 22-26 May 2023, Chiba, Japan.

Huggenberger, P., & Epting, J. (Eds.). (2011). *Urban Geology - Process-Oriented Concepts for Adaptive and Integrated Resource Management*. Basel, Switzerland: Springer Basel AG. <https://doi.org/10.1007/978-3-0348-0185-0>

Käser, D., & Hunkeler, D. (2016). Contribution of alluvial groundwater to the outflow of mountainous catchments. *Water Resour. Res.*, 52. <https://doi.org/10.1002/2014WR016730>

Pirot, G., et al. (2015). Influence of conceptual model uncertainty on contaminant transport forecasting in braided river aquifers. *J. Hydrol.*, 531, 124-141. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.07.036>

Popp, A.L., et al. (2021). A Framework for untangling transient groundwater mixing and travel times. *Water Resour. Res.*, 57(4), e2020WR028362. <http://doi.org/10.1029/2020WR028362>

Scheidler, S., et al. (2021). Regional groundwater flow and karst evolution-theoretical approach and example from Switzerland. *Environ. Earth Sci.*, 80(5), 201. <https://doi.org/10.1007/s12665-021-09471-3>

Schilling, O.S., et al. (2017). Advancing physically-based flow simulations of alluvial systems through observations of ²²²Rn, ³H/³He, atmospheric noble gases and the novel ³⁷Ar tracer method. *Water Resour. Res.*, 53(12), 10465-10490. <https://doi.org/10.1002/2017WR020754>

Schilling, O.S., et al. (2019). Beyond classical observations in hydrogeology: The advantages of including exchange flux, temperature, tracer concentration, residence time and soil moisture observations in groundwater model calibration. *Rev. Geophys.*, 57(1), 146-182. <https://doi.org/10.1029/2018RG000619>

Schilling, O.S., et al. (2022). Buried paleo-channel detection with a groundwater model, tracer-based observations, and spatially varying, preferred anisotropy pilot point calibration. *Geophys. Res. Lett.*, 49(14), e2022GL098944. <https://doi.org/10.1029/2022GL098944>