

Zeitschrift: Regio Basiliensis : Basler Zeitschrift für Geographie
Herausgeber: Geographisch-Ethnologische Gesellschaft Basel ; Geographisches Institut der Universität Basel
Band: 42 (2001)
Heft: 1

Artikel: Wiese-Revitalisierung : führen die Veränderungen der Sohlenstruktur zu einer Trinkwassergefährdung?
Autor: Huggenberger, Peter
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1088437>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 15.01.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Wiese-Revitalisierung: Führen die Veränderungen der Sohlenstruktur zu einer Trinkwassergefährdung?

Peter Huggenberger

Zusammenfassung

Fluss-Revitalisierungsprojekte erzeugen Zielkonflikte. Am Beispiel der Wiese wird gezeigt, welche Funktionen von Flüssen wieder etabliert werden können. Gegen eine Revitalisierung der Wiese spricht die Gefährdung der Grundwasserqualität. Ist die Filterwirkung von Flussohle, Uferbereich und Schotterkörper ausreichend gross, um bei unterschiedlichen Bedingungen, Mikroorganismen zurückzuhalten? Mit Experimenten konnten neue Erkenntnisse über die Prozesse an der Übergangszone Fluss-Grundwasser gewonnen werden. Die Konzentrationen an Mikroorganismen und Schadstoffen in der Wiese steigen bei starken Niederschlägen, infolge Mischwassereinleitungen im oberliegenden Siedlungsgebiet, um mehrere Grössenordnungen an und gefährden die wiesennahen Wasserfassungen. Die Resultate der bisherigen Modellrechnungen verdeutlichen, dass der Freiraum für die Wiese stromaufwärts nur vergrössert werden kann, wenn die Grundwasserdynamik in der Wieseebene bei unterschiedlichen hydrologischen Bedingungen verstanden und bei der langfristigen Planung berücksichtigt werden kann.

1 Einleitung

Die Nutzung von Landschaften steht heute, nicht zuletzt aufgrund neuer Erkenntnisse, in den Bereichen nachhaltige Ressourcennutzung, Biodiversität und Hochwasserschutz zur Diskussion. In der Region Basel sind Bestrebungen im Gange, die Entwicklung der Wieseebene zu einem Landschaftspark in einem Nutzungsplan festzulegen (Schwarze 1999). In den Langen Erlen sind in den letzten Jahren viele

Adresse des Autors: PD Dr. Peter Huggenberger, Geologisch-Paläontologisches Institut (GPI), Universität Basel, Bernoullistr. 16, CH-4056 Basel

Einzelbiotope entstanden. Ihr Charakter ist stark auf einzelne Arten und weniger auf dynamische Systeme ausgerichtet. Die langfristige Überlebensfähigkeit ist deshalb kaum gewährleistet. Konzepte mit landschaftsverbindenden, dynamischen Elementen sind in den letzten Jahren ebenfalls vorgeschlagen worden. Sie hatten jedoch bis vor kurzem meist nur geringe Realisierungschancen. Gründe liegen z.B. in den Vorschriften des Grundwasserschutzes.

Das auf Ministerebene beschlossene, prestigeträchtige Projekt "Lachs 2000", hat in den Rheinanliegerstaaten zu einem Boom von Diskussionen über zukünftige Anforderungen an Fließgewässer geführt. Verschiedene Vorstösse im Grossen Rat des Kantons Basel-Stadt veranlassten den Vorsteher des Baudepartements 1996, eine Kommission einzusetzen mit dem Auftrag, die Möglichkeiten der ökologischen Aufwertungen der Wiese im Bereich zwischen den Hochwasserdämmen der Wiese zu prüfen und allfällige Auswirkungen auf die Grundwasserqualität abzuschätzen.

Unter der Federführung des Tiefbauamtes wurde ein Revitalisierungsprojekt erarbeitet. Die Revitalisierungsmassnahmen beschränkten sich vorerst auf eine Distanz von 300 m. Um das neue Wieseuf der Bevölkerungsdruck zu entlasten, wurden im Jahr 2000 weitere 300 Meter flussabwärts revitalisiert. Die Beurteilung der Grundwasserverhältnisse und die gewässerbiologische Entwicklung waren Gegenstand einer wissenschaftlichen Begleitung.

2 Die Entkoppelung Fluss-Grundwasser und Fluss-Flussauen

Defizite in der Wiesebelebung können durch einen einfachen Vergleich mit dem weitgehend natürlichen, schotterführenden Fluss Tagliamento in Nord-Italien (Abb. 1) illustriert werden. Nur mit grosser Mühe kann beim Tagliamento angegeben werden, wo das Flussbett aufhört und die angrenzende Flussaue beginnt, die Flussbreite bei Hochwasser ist an verschiedenen Stellen grösser als 1 km und im Prinzip eine Funktion des Abflusses. Eine deutlich ausgeprägte Topographie im aktiven Kanalgürtel bewirkt vielfältige Austauschprozesse zwischen Oberflächengewässer und dem Porengrundwasserkörper, Prozesse, welche in einem korrigierten Fluss nur noch sehr beschränkt, wenn überhaupt, auftreten können.

Nach einer Häufung von katastrophalen Hochwässern Ende des 19. Jahrhunderts herrschte gesellschaftlich ein Konsens, dass Flüsse die Errungenschaften der industriellen Entwicklung gefährden und einzig die ihr zugeteilten Funktionen (landwirtschaftliche Nutzung, Energienutzung, Abfallentsorgung) erfüllen sollten. Eine Korrektur der Flüsse wurde zudem durch siedlungshydrologische Überlegungen – möglichst rasches Abführen des Wassers aus Siedlungsgebieten – und die eher dürftige Wasserqualität in den 50er und 60er Jahren begünstigt. Aus der Sicht des damaligen Grundwasserschutzes wurde die fast vollständige Entkoppelung der Wiese von der Flussaue und dem darunter liegenden Grundwasserkörper begrüßt. Das Verständnis des Systems Fluss-Flussaue-Grundwasser ging dabei sukzessive verloren. Entsprechend ist bis vor kurzem die Dynamik des Grundwasserfließfeldes im Zuströmbereich von Wasserfassungen zwar erahnt (Zechner 1996), jedoch nicht im Massstab, der für die Wiese nahen Brunnen relevant ist, systematisch über-



Abb. 1 Flusslandschaften waren früher die artenreichsten Gebiete in unserer Landschaft. Sie bildeten ein Netzwerk von Korridoren, entlang derer ein grosser Teil unserer einheimischen Fauna und Flora sich ausbreiten konnte (Fluss Tagliamento, Nordostitalien).

Photo: Daniel Küry

prüft worden. Dafür wurde das Fliessgewässersystem einfach im Unterhalt und vor allem kontrollierbar und damit für verschiedenste Aktivitäten zugänglich. Diese Entkoppelung des Flusses von der Flussebene führte zum Verlust an Vielfalt an natürlichen Lebensräumen und an der notwendigen Dynamik.

3 Anstrengungen zur Rückgewinnung der Vielfalt an Lebensräumen

Um eine Verbesserung dieser anerkannten Defizite herbeizuführen, wird heute, ausgehend von Leitideen, in der Wiesebebe ein Landschaftspark vorgeschlagen. Eine gestaltete Landschaft, welche weder Naturraum, d.h. der Natur überlassene Wildnis, noch Grün- oder Erholungsanlage ist. Leitideen sollen den Einstieg in die Diskussion über die Landschaft der Wiese von morgen erleichtern. Bei der Festlegung von Leitideen sollte man sich jedoch bewusst sein, dass unsere kulturelle Vorstellung von Landschaft von dem geprägt ist, was wir kennen. Die Frage, was Landschaft sei und woran man sich orientiere, wenn man die Landschaft intakt halten will, ist nach Burckhardt (1993) historisch bedingt und vorwiegend eine Integrationsleistung der Wahrnehmung. Diese Auffassung steht im Gegensatz zu den An-sätzen des Landschaftsschutzes, der das Landschaftsbild als typisch schützen will. Für Burckhardt existiert dieses typische Landschaftsbild nicht, weil es ein Kon-

strukt der Imagination darstelle. Auch wenn der Naturwissenschaftler im Prinzip diese Meinung, insbesondere was die Konstruktion von Einzelobjekten betrifft, teilt, würde er dennoch viele Anliegen, die von Landschaftsschützern eingebracht werden, unterstützen, und zwar diejenigen, die sich als eindeutige Funktionen von Landschaften naturwissenschaftlich begründen lassen (*Huggenberger et al. 1998*). Wichtige Funktionen von Landschaften sind z.B.: regionale hydrologische Kreisläufe, Austauschprozesse von Wasser und gelösten oder partikulären Wasserinhaltsstoffen zwischen dem Fluss, der angrenzenden Flussebene und dem darunter liegenden Grundwasser oder Prozesse des Zusammenwirkens von Erosion, Transport und Ablagerung von Geschiebe.

Umgesetzt auf die Wieseebene bedeutet dies eine Rückbesinnung auf die wesentlichen Funktionen von Flusslandschaften, z.B. das Herstellen von Verbindungen wie der Verbesserung der Durchgängigkeit zwischen Haupt- und Nebenflüssen, inklusive deren Oberläufe, und der Veränderung der Vielfalt an Lebensräumen (*Ward et al. 1998*). In diesem Punkt leistet das neue Gewässerschutzgesetz dem Naturwissenschaftler Schützenhilfe, indem eine gesamtheitliche Betrachtung von Fliessgewässer-Ökosystemen die bisherige enge, auf Teilbereiche konzentrierte Betrachtungsweise schrittweise ersetzen soll. Wichtige Funktionen von Fliessgewässern sollen wieder zum Tragen kommen. Die Kenntnisse der Prozesse an der Übergangszone Fluss-Grundwasser erlangen wegen der bestehenden Nutzung der Ebene als Grundwasseranreicherungsgebiet eine besondere Bedeutung.

Die Prozesse im Grundwasser sind nicht an Planungsgrenzen gebunden und deshalb potentiell Ursache von Nutzungskonflikten (z.B. Grundwasserschutz). In diesem Beitrag soll gezeigt werden, dass Zuströmbereiche von Wasserfassungen ihre Richtung und Geometrie in einem dynamischen System mit überlagerten Grundwasserentnahmen und Anreicherungen stark ändern können. Es ist deshalb klar, dass die Kenntnisse der Grundwasserverhältnisse (Wasserbilanzen und Strömungsmuster bei unterschiedlichen hydrologischen Verhältnissen) einen Schlüssel bei der Erarbeitung von planerischen Grundlagen darstellen. Dass die Erarbeitung solcher Grundlagen komplex ist, wird anhand des Pilotprojektes des Geologisch-Paläontologischen Institutes (*Huggenberger et al. 2000*) im Bereich des Erlenparksteges illustriert.

4 Untersuchungsgebiet und Methoden

Im Vorfeld der Wiese-Revitalisierung erteilte die Wiesekommission dem Geologisch-Paläontologischen Institut (Abteilung Angewandte und Umweltgeologie) den Auftrag, einen geeigneten Streckenabschnitt der Wiese anzugeben, der im Zuströmbereich eines nur noch für die Notwasserversorgung gebrauchten Brunnens (Brunnen 8013) liegt. Mit einem Markierversuch (*Parriaux et al. 1988*) wurde im Gebiet des Erlenparksteges ein geeigneter Flussabschnitt gefunden (*Huggenberger & Regli 1998*). Parallel zu den Voruntersuchungen wurde ein 3-D Grundwassermodell aufgebaut, das eine Bestimmung der Verteilung der Aufenthaltszeit des Grundwassers zwischen Wiese und dem Brunnen 8013 erlaubt. Eine Serie von Grundwasserbeobachtungsrohren, angeordnet in Gruppen à drei Filterrohre mit Filterstrecken

in unterschiedlichen Tiefen (oberster, mittlerer und unterster Teil des Aquifers), zwischen der Wiese und dem Brunnen 13, entlang einer Stromlinie, erlaubt eine gezielte tiefenabhängige Beprobung von chemisch-physikalischen und mikrobiologischen Parametern. Die Filterstrecken wurden gegen oben mit Tonkugeln abgedichtet. Die Durchlässe des Filterrohrs wurden so gewählt, dass Grundwassertiere ins Filterrohr eindringen können (Lochdurchmesser 5 mm). Damit kann die Fauna des Porengrundwasserträgers ebenfalls beprobt werden (*Huggenberger et al. 1998*).

Zur Überwachung der Grundwasserqualität vor, während und nach der Realisierung des Pilotprojektes und zur Kalibration des GrundwassermODELLES wurde ein Untersuchungsprogramm initiiert, welches sowohl physikalisch-chemische als auch mikrobiologische und biologische Leitparameter (*Huggenberger et al. 2000*) umfasste.

Die Probenahme und die Bestimmung der mikrobiologischen Parameter (anaerobe mesophile Keime, *E. coli* und Enterokokken) erfolgte durch die Industriellen Werke Basel (IWB) nach den Vorschriften des Schweizerischen Lebensmittelbuches (1988, Kap. 56).

Die Modellierung der Interaktion Fluss-Grundwasser bei unterschiedlichen hydraulischen Randbedingungen (Abflusstiefen, mehrere Grundwasserentnahmestellen etc.) wurde mit Hilfe eines 3D Finite Differenzen Grundwasser- und Transportmodells (PMWIN, *Chiang & Kinzelbach 1996*) abgeschätzt (*Regli et al. in Bearb.*).

Die stationäre Grundwasserzirkulation wird durch folgende Gleichung beschrieben:

$$\vec{\nabla} \circ (\mathbf{K} \cdot \nabla h) + q = 0$$

wobei h die Druckhöhe (m),
 \mathbf{K} den Tensor der hydraulischen Leitfähigkeit (m/s) und
 q die spezifische Durchfluss- bzw. Anreicherungsrate pro Einheitsvolumen (s^{-1}) darstellt.

Die östlichen und westlichen Modellränder wurden als Festpotenziale, die nördliche und südliche Modellbegrenzungen als undurchlässig definiert. Die Felsoberfläche ergibt sich aus der Interpolation von den Felskoten aus den existierenden und den neuen Bohrungen und den Georadardaten aus der Diplomarbeit *Rohrmeier 1999*.

Der mittlere K-Wert wurde auf Grund der Pumpversuche von *Zechner 1996* und aus einer Anzahl von Simulationen mit den Daten vom 9.12.98 (*Regli et al. in Bearbeitung*) ermittelt (homogener K-Wert). Der mittlere K-Wert liegt bei $5.75 \times 10^{-3} m/s$. Für die Porosität wurde ein konstanter Wert von 0.15 verwendet. Das Längenprofil der Flusssohle der Wiese wurde als Stufenprofil (Längenprofil, Tiefbauamt BS, 1985) eingegeben. Der Leakage Faktor von Wiese und Vorland variieren je nach Szenarien (siehe Kapitel 5.4) in Abhängigkeit von Abfluss und Zustand der Flusssohle (*Regli et al. in Bearb.*). Die Abflusstiefe ergab sich aus dem gemessenen Wiesepiegel. Die hydrologischen Daten stammen von der SMA Station Binningen, die Pegelstände werden unterhalb der Schliesse (Leitstelle IWB) und der Abfluss an der Messstation LHG 2199 gemessen.

Das Modellgebiet umfasst einen Bereich von 1'800 m x 1'200 m (Ursprung oder südwestlichste Ecke: 612.200/ 268.900). Das Modell besteht aus einem regelmässigen Gitternetz mit Zellen von 20 m x 20 m x 5 m (vertikal) und einer Verfeinerung des Gitternetzes im Bereich der Revitalisierungsstrecke bis zu Zellenweiten von 5 m x 5 m x 5 m. Die totale Anzahl von Zellen des Modells beträgt 19'516.

5 Ergebnisse

5.1 Konzentration der Mikroorganismen im Flusswasser

Die Daten der Flusswasserentnahmen zeigen deutlich, dass Spitzenkonzentrationen von Mikroorganismen in der Wiese vorwiegend bei grossen Hochwässern auftreten. Die Spitzenkonzentrationen betragen dann bis zu 265'000 KBE/ml für aerobe mesophile Keime, 10'600 KBE/100ml für E-coli und 2'600 KBE/100ml für Enterokokken (Abb. 2). Diese hohen Konzentrationen werden im Normalfall von den wöchentlichen bis zweiwöchentlichen Beprobungsrhythmen nicht erfasst (*Huggenberger et al. 2000*).

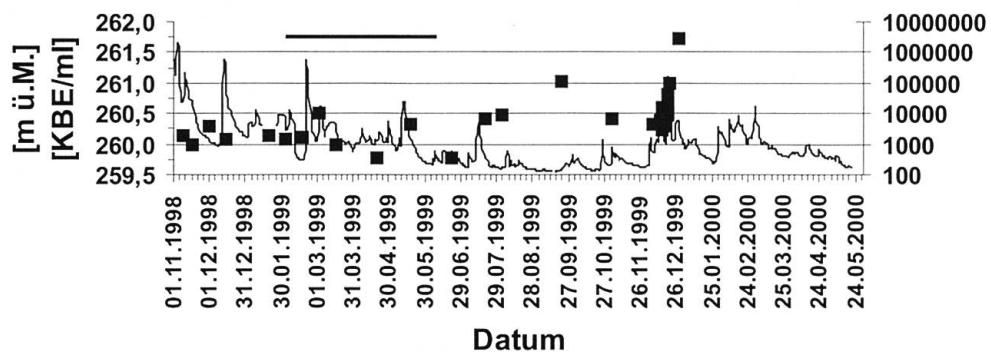
5.2 Transport von Mikroorganismen vom Fluss zum Grundwasserbrunnen

Der Transport von Mikroorganismen auf makroskopischer Ebene setzt sich aus mehreren Prozessen zusammen: Advektion und Dispersion von suspendierten Partikeln, reversible und irreversible Sorption sowie Koloniebildung an irreversibel sorbierten Partikeln (*Nieren 1997*). Die für die Beschreibung notwendigen Parameter werden üblicherweise in Säulenexperimenten bestimmt. Für geologische Körper, die über grössere Distanzen ähnliche hydraulische Kennwerte und ähnliche Oberflächeneigenschaften aufweisen, mögen Labordaten genügen. Eine Anwendung in heterogenen Systemen ist jedoch umstritten. In solchen Systemen wird ein Zusammenhang zwischen Partikeltransport und der Varianz der hydraulischen Leitfähigkeit vermutet (*Rehmann et al. 1999*). Im Fall der Wieseschotter variiert die hydraulische Leitfähigkeit über 3-4 Grössenordnungen (10^{-1} - 10^{-5} m/s, *Regli et al. in Bearb.*). Aufgrund unserer Beobachtungen an der Wiese müssen wir annehmen, dass mehrere Prozesse zur Gesamtfilterwirkung beitragen: die Filterwirkung von Flussohle und Vorland, die hydraulischen Randbedingungen (Wasserstände, Oberflächenabfluss und Grundwasserentnahmen) und die Inhomogenitäten des Untergrundes.

5.3 Filterwirkung von Flussohle (K-Wert der Flussohle) und Vorland

Die Filterwirkung der Geländeoberfläche (Flussohle und Vorland) ist durch ein komplexes Zusammenwirken von (a) biologischen Prozessen, z.B. Filtration von Partikeln durch Algen und Bewuchs auf den Gesteinskomponenten der Flussohle, Biofilme, (b) der Kolmation der Flussohle und (c) der Infiltration durch das Wiese-vorland charakterisiert (*Brunke & Gonser 1997*).

Pegel - Aerobe mesophile Keime, Wiese



Pegel - E-coli, Wiese

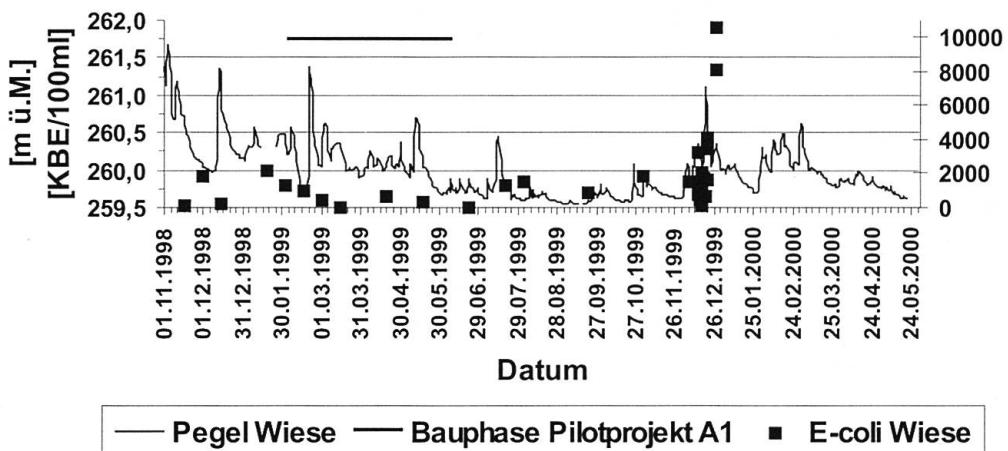


Abb. 2 Relativer Pegelstand, aerobe mesophile Keime und E-coli in der Wiese vor, während und nach der Wiese-Revitalisierung.

Die Kolmation der Flusssohle (=Ablagerung von Schwebstoffen in oder auf der Fliessgewässersohle, *Schälchli 1993, Müller & Huggenberger 1992*) bewirkt eine Verringerung des Porenraums bei gleichzeitiger Verfestigung des Sohlensubstrates und eine Reduktion der Sohlendurchlässigkeit. Kolmatierte Fliessgewässersohlen verringern die Grundwasserneubildung via Flusssohle und führen zu einer Monotonisierung des Lebensraums der Lebensgemeinschaften im Fliessgewässer.

Die Abbildung 3, unmittelbar in der Anfangsphase der Bauarbeiten aufgenommen, zeigt ein Baggerloch von 2 m Tiefe, direkt neben der Wiese. Die Schotter, die im Baggerloch angetroffen wurden, sind durchlässig (K-Werte in der Grössenordnung von $3.0 \cdot 10^{-3}$ m/s), einzelne Zonen mit extrem durchlässigen Rollkieslagen (= Openframework Zonen, K-Wert bis zu 10^{-1} m/s, *Siegenthaler & Huggenberger*

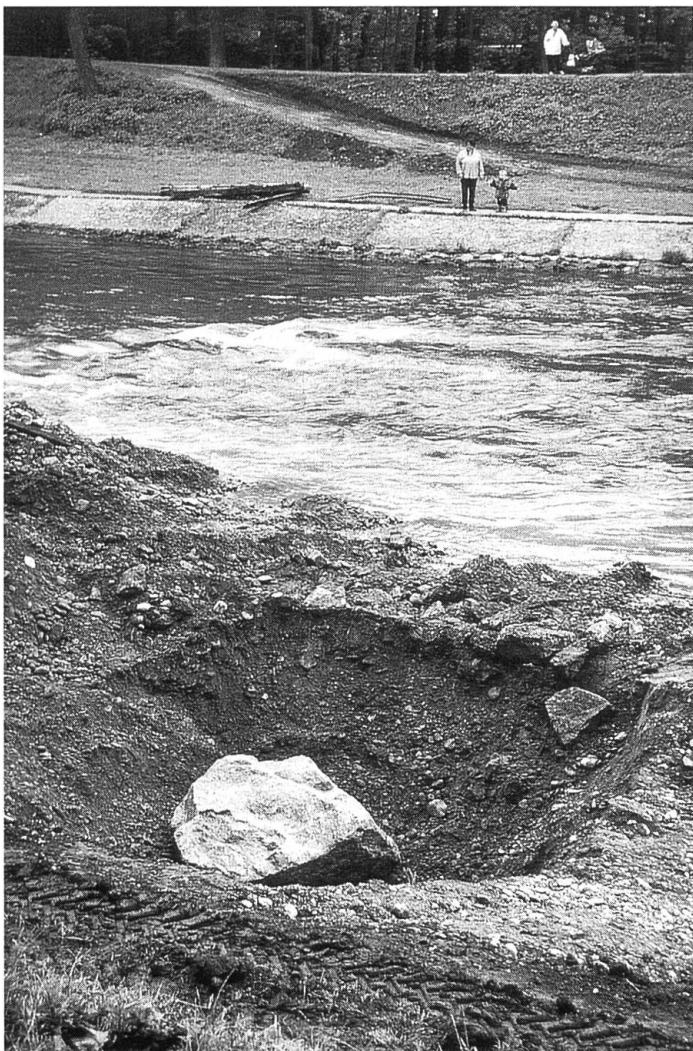


Abb. 3 Das 2 m tiefe Baggerloch beim Bau von Buhnen bei der Revitalisierungsstrecke zeigt, dass infolge Kolmatierung der Flussohle kein Wasser von der Wiese ins Baggerloch gelangt.

1993) können eindeutig identifiziert werden. Erstaunlich ist, dass kein Wasser vom Flussbett in das unmittelbar neben der Wiese gelegene Baggerloch eindringen konnte. Beim Hochwasserereignis vom Dezember 1999 wurde die Flussohle entweder nicht aufgerissen oder sie kolmatierte sogleich bei abnehmendem Abfluss. Im Gegensatz dazu ist die Durchlässigkeit des Vorlandes sehr gross (Kies, praktisch ohne Schluff und Tonanteil). Durch die geringe Bodenmächtigkeit und die relativ hohe Bodendurchlässigkeit (oberste Lage besteht vorwiegend aus Sand), wird verständlich, dass bei Hochwässern (Abfluss Wiese $> 60 \text{ m}^3/\text{s}$) die Infiltration vorwiegend auf dem Vorland erfolgt.

5.4 Hydraulische Randbedingungen

Die Abbildung 4 zeigt die Resultate von Simulationen bei grossen und kleinen Abflüssen sowie vor und nach der Revitalisierung. Die Resultate illustrieren, wie sich der Zuströmbereich des Brunnens 8013 in Abhängigkeit des Wieseabflusses und ändernder Sohlendurchlässigkeit (die Sohlendurchlässigkeit der Wiese wurde für Hochwässer jeweils um den Faktor 10 erhöht) verändern kann. Insbesondere entsteht im Modell bei Hochwasser ein Kurzschluss zwischen Wiese und Brunnen 8013. Deshalb ist zu erwarten, dass sich nach der Revitalisierung der Anteil an Uferinfiltrat mindestens anfänglich erhöht. Erfahrungen bei anderen Flüssen zeigen, dass sich mit der Zeit wieder eine Kolmation der Flussohle einstellt und damit bei Niedrigwasser den Eintrag von Mikroorganismen limitiert. Im Zustand vor der Revitalisierung kann eine Erhöhung der Anzahl an Keimen nur durch Versickerung

 Zuströmbereich
Brunnen 8013

 künstliche
Anreicherung

 Zeitschritt
(10 Tage, 1 Tag)

 Grundwasser-
entnahmen

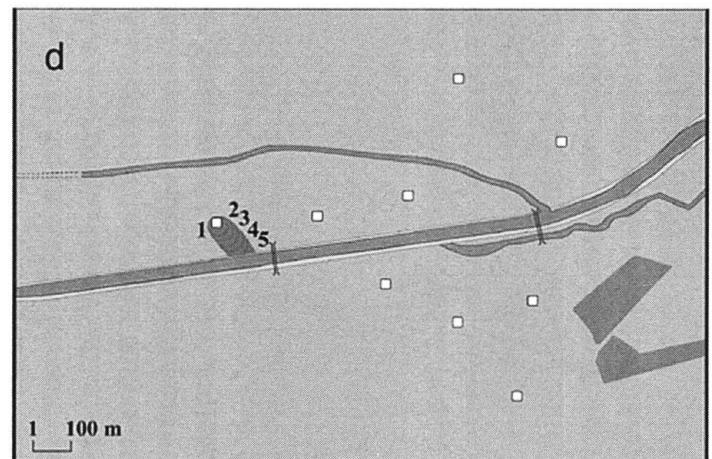
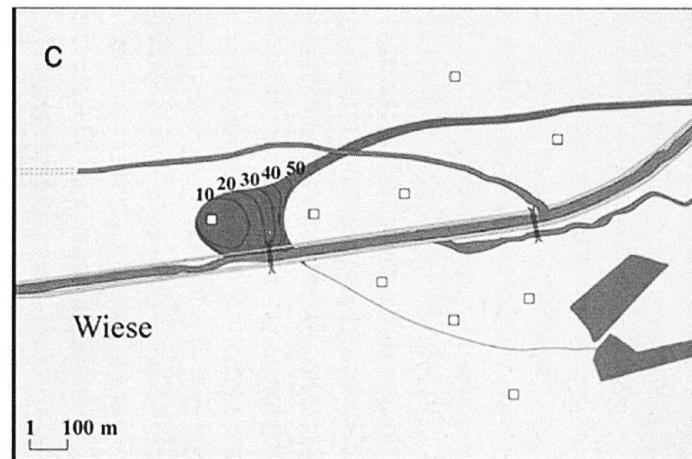
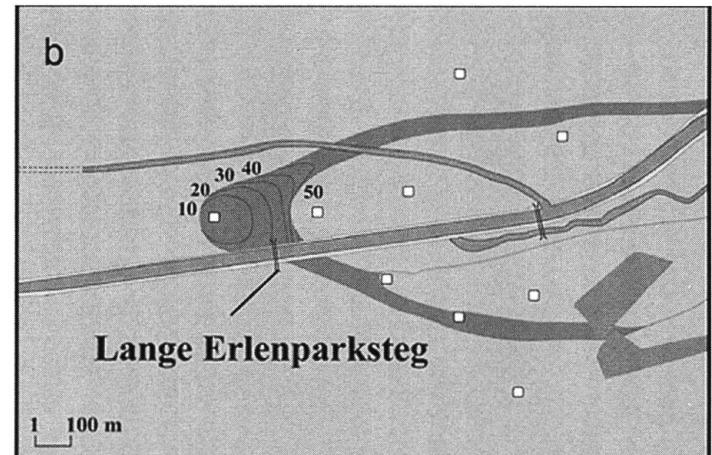
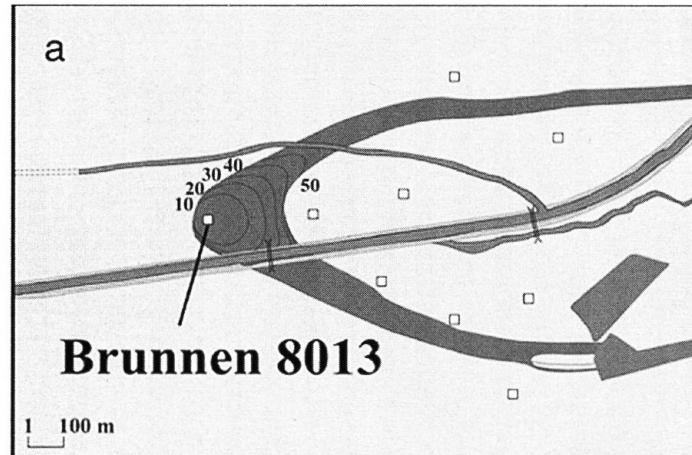


Abb. 4 Einfluss der unterschiedlichen hydraulischen Randbedingungen auf die Zuströmbereiche der Wasserfassungen.
a, b) vor der Revitalisierung, c, d) nach der Revitalisierung, erhöhte Durchlässigkeit der Flusssohle, a,c) kleine Abflüsse, b,d) hohe Abflüsse.

auf dem Vorland erklärt werden. Die Daten eines Markierversuchs (Uranin) und von Radonmessungen zeigen (Huggenberger et al. 2000), dass die erwarteten Phänomene entlang der Revitalisierungsstrecke tatsächlich auftreten und mit den Resultaten der Modellierung gut übereinstimmen (berechnete mittlere Aufenthaltszeit von der Wiese zum Brunnen 8013 beträgt bei Hochwasser = 5 Tage, dieser Wert entspricht den aufgrund der Radonkonzentrationen berechneten Aufenthaltszeiten, Tab. 1). Generell wird erwartet, dass aufgrund der neuen Strukturierung der Flusssohle die Dekolmation nicht überall gleichzeitig und gleich intensiv erfolgt. Die K-Wert-Verteilung der Flusssohle wird in Zukunft bei Hochwässern, insbesondere in der ersten Zeit stärker variieren als bisher.

Tab. 1 Aufenthaltszeit des Wassers im Grundwasser bis zum Erreichen des Brunnens 8013.

Aufenthaltszeit Wiese-Brunnen 8013		
Vor der Revitalisierung	Niedrigwasser ca. 20 Tage	Hochwasser <13 Tage
Nach der Revitalisierung	Niedrigwasser < 12 Tage	Hochwasser ca. 5 Tage

5.5 Rolle der Inhomogenitäten des Aquifers

Geologische Aufschlüsse in Kiesgruben oder im Gebiet der Nordtangentialbaustelle geben einen guten Einblick in den strukturellen Aufbau von Grundwasserleitern (Siegenthaler & Huggenberger 1993). Von Bedeutung sind Zonen ohne Anteil an Feinsediment, deren Durchlässigkeiten in der Größenordnung von bis zu 10^{-1} m/s liegen können. Analysen von Korngrößenverteilungen aus zahlreichen Kiesgruben zeigen, dass in den Rheinschottern nur eine beschränkte Anzahl von Schottertypen auftreten (Jussel et al. 1994). Diese Schottertypen zeigen einzeln betrachtet eine charakteristische Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion, die bei den einzelnen Schottertypen überlappen. Eine wichtige Ausnahme stellen die bereits erwähnten, stark durchlässigen Rollkieslagen (Openframework Zonen, Jussel et al. 1994) dar. Die Häufigkeit und die Ausdehnung der “Openframework Zonen” bestimmt die Varianz der hydraulischen Leitfähigkeit und die Korrelationslänge, ein Mass für die Korrelation der K-Werte von Proben in Abhängigkeit der Separationsdistanz (Pannatier 1996). Damit sind sie verantwortlich für die Ausbildung von schnellen Wasserwegen. Die Openframework Zonen haben jedoch nur einen geringen Einfluss auf das mittlere Ausbreitungsverhalten eines Stoffes im Grundwasser (Rauber et al. 1998).

Die Sedimentanalysen bei den neuen Bohrungen und die geophysikalischen Messungen im Zuströmbereich von Brunnen 8013 (Rohrmeier 1999) zeigen eine Varianz der hydraulischen Leitfähigkeiten (σ_{lnk}) in der Größenordnung von 1.8 bis 2.3. Die Schwankungsbreite der K-Werte beträgt mehrere Größenordnungen. Diese grosse Streuung liefert eine plausible Erklärung für das rasche Auftreten von Mikroorganismen im Brunnen 8013 bei grossen Hochwässern.

Da wir in unseren Experimenten keine Mikroorganismen verwendeten (denkbar wären z.B. marine Phagen), sind wir für die Abschätzung des Zusammenhangs Inhomogenitäten-Partikeltransport auf Literaturdaten angewiesen (z.B. *Rehmann et al. 1999*). Durchbruchskurven (Step-Funktion) von Transport-Experimenten mit Mikroorganismen zeigen die Abhängigkeit des Mikroorganismen-Transports von der Varianz der hydraulischen Leitfähigkeit des Schottergrundwasserleiters σ_{lnk} (*Rehmann et al. 1999*). In diesen Experimenten wurde erkannt, dass in inhomogenen Systemen der Durchbruch der Mikroorganismen rascher erfolgt als der Durchbruch von konservativen Markierstoffen. Dies kann nur damit erklärt werden, dass die wenigen Mikroorganismen, die nicht schon an der Oberfläche oder vom porösen Medium (Aquifer) herausgefiltert werden (z.B. an einer Mineraloberfläche zurückgehalten werden), bis zum Ziel (Grundwasserbeobachtungsrohr oder im konkreten Fall Brunnen 8013) im Wesentlichen die schnellen Wasserwege (d.h. die grösseren und durchgängigen Poren) benutzt haben. Inhomogene fluviale Schotter weisen dabei merklich grössere Häufigkeiten an stark durchlässigen Zonen auf als vergleichsweise homogene Systeme. Diese Erkenntnisse stehen bezüglich Filtrationsvorgänge und dem raschen Auftreten von Mikroorganismen beim Brunnen 8013 in guter Übereinstimmung (s. Abb. 4).

5.6 Die Grundwasserqualität nach der Revitalisierung

Die Grundwasserqualität im Brunnen 8013 pendelt sich nach der Revitalisierung bei Niedrigwasser relativ rasch auf die Situation vor der Revitalisierung ein. Kritisch ist die Grundwasserqualität bei Hochwässern, die im vergangenen Jahr viermal aufgetreten sind (Häufigkeit im Durchschnitt 1-4-mal jährlich). Die Anzahl an mesophilen aeroben Keimen, *E. coli* und Enterokokken im Wiesewasser war während der grossen Hochwasserereignisse um Grössenordnungen höher als bei kleinen bzw. mittleren Abflüssen (s. Abb. 5).

6 Diskussion und Fazit

Die Qualitätssicherheit bei mittleren Hochwässern ist noch nicht eindeutig geklärt. Aufgrund ihrer Häufigkeit (maximal 10-12-mal pro Jahr) spielen diese Ereignisse für die Betriebssicherheit eine grosse Rolle (zu häufiges Abstellen von Brunnen ist nicht möglich). Entsprechend wird dieser Teil der Überwachung (Indikatorkeime) von den Industriellen Werken Basel (IWB) weitergeführt und die Daten vom GPI zusammen mit den Abflussdaten und den Modellrechnungen ausgewertet.

Aus der Sicht des Grundwasserschutzes liefern die vorliegenden Untersuchungen neue Erkenntnisse über die Zuströmbereiche von wiesenahen Grundwasserfassungen. Die mittlere Verweilzeit des Grundwassers liegt unterhalb der Grössenordnung der Erwartungen basierend auf früheren Untersuchungen. Die schnellen Wasserwege hingegen und die markanten Infiltratmengen bei grossen Hochwässern via Vorland ins Grundwasser machen klar, dass die ufernahen Wasserfassungen vor einer Revitalisierung sorgfältig beurteilt werden müssen. Dabei spielen Niedrigwasser-Situationen eine eher untergeordnete Rolle. Das Hauptaugenmerk sollte in Zu-

kunft den mittleren und grossen Hochwässern gelten. Bei grossen Hochwässern war für verschiedene Grundwasser-Entnahmestellen die Situation ohnehin schon kritisch. Diesen eher seltenen Ereignissen wurde im Betrieb jeweils durch Ausserbetriebnahme einzelner Brunnengruppen begegnet.

Mit der Revitalisierung in der Pilotstrecke konnte Folgendes bewirkt werden: Verbesserung der Strukturvielfalt (Morphologie und Strömung), Verbesserung der Durchgängigkeit in Längsrichtung mit dem Ersetzen der Schwellen durch Blockrampen, unterschiedliche Sedimentbeschaffenheit der Flusssohle (unterschiedliche Lebensräume für Bodenbewohner), Verbesserung der Randbedingungen für die biologischen Prozesse an den Übergangszonen Fluss-Flussufer und Fluss-Grundwasser. Nicht möglich ist hingegen in diesem Wieseabschnitt die natürliche Dynamik der Erosion von Flussufern, die Bildung neuer Kanäle und die Wiederherstellung natürlicher Auenlandschaften mit Überschwemmungsebenen und Ausbildung von Auenwäldern.

Die Resultate der Experimente im Zuströmbereich des Brunnens 8013 deuten an, dass eine Verbesserung der Platzverhältnisse für die Wiese, eine Grundvoraussetzung für vermehrte Dynamik der vielfältigen Interaktionen Fluss-angrenzende Gebiete und Fluss-Grundwasser, bei gleichzeitigem Schutz der Qualität des Grundwassers, nur erzielt werden kann, wenn die Dynamik der Grundwasserzirkulation im Gebiet der Wiese verstanden ist. Mit Hilfe von kombinierten Grundwasser- und Optimierungsmodellen und einer Kalibration mit Hilfe von gezielten Markierversuchen sollte eine Optimierung Grundwassernutzung/Grundwasserschutz im Kontext einer vermehrten Berücksichtigung der ökologischen Anforderungen an die Fliessgewässer erzielt werden können. Entsprechende Überlegungen sind Bestandteil der aktuellen Planung der Wiesekommission.

Danksagung

Die vorliegenden Untersuchungen wurden vom Baudepartement Basel und vom Schweizerischen Nationalfonds (Projektnr. 2000-056628.99) finanziert. Die Industriellen Werke Basel (IWB) haben die Mikrobiologie und die chemischen Parameter bestimmt. Den Mitarbeitern der Abteilung Angewandte und Umweltgeologie und den Studenten des Geologisch-Paläontologischen Institutes sei für die Mitarbeit bei den Feldexperimenten herzlich gedankt.

Literatur

Brunke M. 1998. *The influence of Hydrogeological Exchange Patterns on Environmental Gradients and Community Ecology in Hyporheic Interstices of a Peri-alpine River*. Diss. ETH No. 12734, 1-213.

Brunke M. & Gonser T. 1997. The ecological significance of exchange processes between rivers and ground-water. *Freshwater Biology* 37: 1-33.

- Burckhardt L. 1993. Es geht um das Sehen und Erkennen, Spaziergangswissenschaft, Interview, *WasserKultur* 1: 16-18.
- Chiang W.H. & Kinzelbach W. 1996. *Processing Modflow, A Simulation System for modelling Groundwater Flow and Pollution*. Software Manual.
- Huggenberger P., Küry D. & Regli Ch. 2000. *Revitalisierung Wiese, Austauschprozesse Fluss-Grundwasser und Auswirkungen auf die Lebensgemeinschaften*. Auftraggeber: Wiesekommission, Baudepartement: 1-94.
- Huggenberger P. & Regli Ch. 1998. *Pilotprojekt Revitalisierung Wiese, Voruntersuchungen Grundwasser, Markierversuch Lange Erlen, Brunnen 8013*. Wiesekommission Baudepartement BS, Bericht GPI BS 94, 1-14, Beilagen.
- Huggenberger P., Höhn E., Beschta R. & Woessner W. 1998. Riparian Ecology, chapt 2, Ground-water Control on Riparian/Fluvial Systems. *Freshwater Biology* 40 (3): 407-427.
- Jussel P., Stauffer F. & Dracos Th. 1994. Transport modeling in heterogeneous aquifers: 1. Statistical description and numerical generation of gravel deposits. *Water Resources Research* 30 (6): 1803-1817.
- Müller R. & Huggenberger P. 1992. *Verlandungsausräumung Eugenisee 1990, Bericht über die Untersuchungen im Zusammenhang mit der Spülung des Eugenisees OW*, Auftrag des Baudepartements des Kt. OW, Sarnen, Bericht EA-WAG, Auftrag Nr. 4725, 1-112.
- Nieren S.B. 1997. *Neue Methoden zur Grundwassermarkierung: Entwicklung eines feldtauglichen Mikrosphärenzählers*. Diss. ETH Zürich, Nr. 12710, 1-93.
- Parriaux A., Liszkay M., Müller I. & della Valle G. 1988. *Leitfaden für den Gebrauch künstlicher Tracer in der Hydrogeologie*. Schweizerische Geologische Gesellschaft, Gruppe der Hydrogeologen. GEOLEP EPFL, Lausanne, 1-49.
- Pannatier Y. 1996. *Variowin, Software for Spatial Data Analysis in 2D*. Springer, 1-91.
- Rauber M., Stauffer F., Huggenberger P. & Dracos TH. 1998. Remediation well efficiency: Numerical experiments using a conditioned/unconditioned stochastic facies type approach. *Water Resources Research* 34 (9): 2225-2233.
- Regli Ch., Huggenberger P. & Rauber M. Interpretation of drill core and georadar data of coarse fluvial deposits, *Sedimentary Geology*, in prep.
- Rehmann L.L.C., Welty C. & Harvey R.W. 1999. Stochastic analysis of virus transport in aquifers. *Water Resources Research* 35 (7): 1987-2006.
- Rohrmeier M. 1999. *Geologische Modelle im Anströmbereich von Wasserfassungen*. Diplomarbeit Geologisch-Paläontologisches Institut, Universität Basel, 1-104.
- Schälchli U. 1993. *Die Kolmation von Fließgewässersohlen: Prozesse und Berechnungsgrundlagen*. Mitteilungen VAW 124: 1-273.

- Schwarze M. 1999. *Landschaftspark Wiese, Leitideen, Kanton Basel-Stadt und Stadt Weil am Rhein*. Stand Mai 1999, Hesse+Schwarze+Partner, Büro für Raumplanung AG, 1-36.
- Siegenthaler C. & Huggerberger P. 1993. Pleistocene Rhinegravel: Deposition of a braided river system with dominant pool preservation. In: Best J.L. & Bristow C.S. (eds.), *Braided rivers: form, processes and economic application*. Geological Society Special Publication No. 75: 147-162.
- Ward J.V., Bretschko G., Brunke M., Danielopol D., Gilbert J., Gonser T. & Hildrew A.G. 1998. The boundary of river systems: the metazoan perspective. *Freshwater Biology* 40 (3): 531-571.
- Zechner E. 1996. *Hydrogeologische Untersuchungen und Tracertransport-Simulationen zur Validierung eines Grundwassерmodells der Langen Erlen (Basel-Stadt)*. Dissertation am Geologisch-Paläontologischen Institut, Universität-Basel, 1-154.