

# Revitalisierung von Fließgewässern

im Konflikt mit der Grundwassernutzung

Christian Regli



## Revitalisation des cours d'eau

Conflits d'intérêts avec l'utilisation des eaux souterraines

La revitalisation des cours d'eau fait apparaître des conflits d'intérêts toujours plus nombreux dans le domaine de la gestion durable des ressources d'eau. Dans son projet de guide sur la protection des eaux, l'OFEP formule des recommandations plus restrictives que celles de l'OEaux en ce qui concerne les mesures de revitalisation écologique. Ce nouveau guide ouvre néanmoins la voie à des solutions plus différenciées, ce qui permet de mieux remplir les objectifs de l'OEaux. La modélisation joue à cet égard un rôle essentiel, puisqu'elle permet d'évaluer et d'optimiser les mesures de revitalisation, voire même de prévoir les effets liés à certaines décisions.

## River Restoration

In Conflict with Utilization of Groundwater

The demand to restore watercourses clarifies the existing problems of sustainable management of water resources and leads to increased conflicts of interests: Recommendations concerning ecological measures of restoration are formulated more restrictive in the GSchV than in the draft of the new guidelines of groundwater protection of the BUWAL. The new guideline, however, should permit differentiated solutions in order to fulfill the goals of the GSchV with adequate methods. With help of scenarios, measures of restoration can be evaluated and optimized, and the expected consequences of the decisions can be assessed. As a consequence, calculation, uncertainty estimation, and assessment of operational alternatives can be separated, and the discussion in decision-making processes can be de-emotionalized.

**Die Forderung, Fließgewässer zu revitalisieren, verdeutlicht die bestehenden Probleme einer nachhaltigen Bewirtschaftung der Wasserressourcen und führt zu vermehrten Zielkonflikten. Im Entwurf der neuen Wegleitung Grundwasserschutz des BUWAL werden Empfehlungen bezüglich ökologischer Revitalisierungsmassnahmen restriktiver formuliert als in der GSchV. Die neue Wegleitung sollte jedoch differenzierte Lösungen zulassen, um mit geeigneten Methoden die Ziele der GSchV erfüllen zu können. Durch die Ausarbeitung von Modellszenarien können Revitalisierungsmassnahmen evaluiert und optimiert sowie erwartete Konsequenzen aus Entscheiden bewertet werden. Dadurch lassen sich Berechnung, Unsicherheit und Bewertung von Handlungsoptionen entflechten und die Diskussion in Entscheidungsprozessen versachlichen.**

## 1. Einleitung

**D**as Lebensmittel Trinkwasser wird aus Poren-, Kluft- oder Karstgrundwasserleitern, Oberflächengewässern oder aus Uferfiltrat gewonnen. In all diesen Wässern kommen natürlicherweise Mikroorganismen vor. Kritisch wird es dann, wenn pathogene Keime ins Trinkwasser gelangen oder wenn sie in grosser Anzahl im Rohwasser (Wasser vor der Aufbereitung zu Trinkwasser) auftreten und nachträglich keine Aufbereitung stattfindet. Die mikrobiologische Belastung von Grundwasser in Flussnähe kann grossen zeitlichen Schwankungen unterliegen, da der Transport



von Mikroorganismen in diesen Systemen von Niederschlagsereignissen und Hochwässern beeinflusst wird. Für die Wasserversorger stellen heute die mikrobiologischen Qualitätsschwankungen in der Rohwasserqualität neben Problemstoffen wie z.B. pharmakologische Substanzen, Plastik- und Benzinzusatzstoffe die wichtigsten Herausforderungen dar, welche in den nächsten Jahren gelöst werden müssen. Wasserversorger befürchten, dass durch die Revitalisierung von Flussläufen die Wasserwegsamkeit zwischen Oberflächengewässer und Grundwasser verbessert wird und dadurch Mikroorganismen vermehrt in flussnahe Trinkwasserfassungen gelangen können. Deshalb drängten sie bei der Erarbeitung der neuen Wegleitung Grundwasserschutz (im Folgenden «Entwurf

Wegleitung» genannt) auf ein Verbot von ökologischen Revitalisierungsmassnahmen innerhalb der Schutzzone S2 [1]. Die Schutzzone S2 soll gemäss Gewässerschutzverordnung (GSchV) unter anderem verhindern, dass Keime und Viren in eine Grundwasserfassung oder -anreicherungsanlage gelangen (Anh. 4 Ziff. 123 Abs. 1 Bst. a GSchV). Das Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL) hat den Entwurf dieser Wegleitung am 22. Oktober 2003 den Vertretern der kantonalen Gewässerschutzfachstellen vorgestellt.

In diesem Artikel soll auf die Konsequenzen der oben erwähnten Vorschrift für Revitalisierungsprojekte hingewiesen werden. In den letzten Jahren wurde diese Problematik in zahlreichen Projekten vertieft untersucht [z.B. 2, 3, 4, 5]. Heu-

te stehen durchaus geeignete Methoden und Werkzeuge zur Verfügung, um den Transport von Partikeln und Mikroorganismen im Grundwasser zu beurteilen. Mit ausgewählten Szenarien lassen sich massgeschneiderte und nachhaltige Lösungen erarbeiten. Aufgrund des sich abzeichnenden Zielkonflikts Revitalisierung/Grundwassernutzung wird klar, dass ein Verbot von Revitalisierungsmassnahmen in der Schutzzone S2 die nachhaltige Entwicklung von regionalen Fließgewässerökosystemen wesentlich einschränkt oder gar verhindert. Letztlich würden damit die Zielsetzungen der Nachhaltigkeit von regionalen Gewässerökosystemen unterlaufen.

Der Entwurf der Wegleitung liefert einen wichtigen Beitrag für den künftigen Schutz des Grundwassers. Um zu vermeiden, dass sich gewisse Vorschriften in ihrer Wirkung kontraproduktiv auf regionale Gewässerökosysteme auswirken, wird versucht, die Problematik differenziert darzustellen. Es werden zudem Ansätze skizziert, wie der Zielkonflikt Revitalisierung/Grundwassernutzung regional und unter Einbezug der verschiedenen Akteure, der Wasserversorger gleichermaßen wie der Wasserbauingenieure und der kantonalen Fachstellen auf Ebene Vollzug, angegangen werden könnte.

## Nachhaltiger Gewässerschutz

Die Politik des Bundes in den Bereichen Hochwasserschutz, Fischerei, Gewässerschutz, Natur- und Landschaftsschutz, Wasserkraftnutzung, Landwirtschaft sowie Forstwirtschaft wird laufend harmonisiert. Der zentrale Gedanke dabei ist die Nachhaltigkeit [7]. Die Forderung nach Revitalisierung der Fließgewässer verdeutlicht die bestehenden Probleme einer nachhaltigen Bewirtschaftung der Wasserressourcen und führt zu vermehrten Zielkonflikten. Dadurch stellt sich auch die Frage nach der Gewichtung der Nutzungsansprüche respektive die Frage, wer darüber entscheidet. Private ökonomische und öffentliche Interessen stehen sich gegenüber [6].

### Ziele

Durch den Gewässerschutz soll sowohl die Sicherstellung von Trink- und Brauchwasser als auch die Erhaltung der natürlichen Lebensräume für die einheimische Tier- und Pflanzenwelt und letztlich die Erholung der Menschen gewährleistet werden (Art. 1 GSchG). Der zeitgemässe Hochwasserschutz hat nicht mehr das Ziel, Wasser rasch und schadlos, sondern kontrolliert abzuleiten. Hochwasserspitzen sind gemäss Wasserbaugesetz (WBG) nach Möglichkeit durch einen verzögerten Abfluss zu entschärfen. Im Vordergrund stehen dabei nicht technische, sondern ökologische

und raumplanerische Massnahmen (Art. 3 und 4 WBG). Kontrollierte Überschwemmungen sind auch eine unabdingbare Voraussetzung zur langfristigen Erhaltung von Auenlandschaften. Das Schutzziel für Auenlandschaften beinhaltet gemäss Auenverordnung (AuenV) sowohl die Erhaltung und Verbesserung der autotypischen Pflanzen- und Tierwelt und ihrer ökologischen Voraussetzungen sowie die Erhaltung und Wiederherstellung der natürlichen Dynamik des Gewässer- und Geschiebehaushaltes (Art. 4 AuenV).

### Probleme

Diese Ziele sind einleuchtend, werden sie jedoch in der Praxis auch umgesetzt? Durch die historisch gewachsenen Nutzungen und Ansprüche an die Landschaft und die Fließgewässer wurde in der Vergangenheit sektorielles Denken und Handeln geprägt. Dies zeigt sich auch beim Lösen anstehender Wassernutzungsprobleme. Die Beziehungen zwischen der natürlichen Ressource Wasser und dem Menschen, der sie nutzt und braucht, sind jedoch vielfältig. Fast alle komplexen Probleme besitzen sowohl eine naturwissenschaftliche wie eine humanwissenschaftliche Dimension. Für Interessenabwägungen fehlen in der Regel die Strukturen, um übergeordnete Ziele und eine ganzheitliche Betrachtungsweise durchzusetzen [6].



## 2. Grundwasser als Bestandteil der Fließgewässerökosysteme

**W**asser ist ein öffentliches Gut und der allgemeine Zugang zu qualitativ einwandfreiem Wasser eine Aufgabe der öffentlichen Hand. Unabhängig von der heutigen oder künftigen Rechtsform der Wasserversorger und Abwasseraufbereiter muss die öffentliche Hand Lösungen für eine effiziente und insgesamt nachhaltige Bewirtschaftung der Wasserressourcen finden, sei es für die Trinkwassernutzung, den Hochwasserschutz, die Siedlungswasserwirtschaft oder die Energiegewinnung [6] (Kasten 1/I-II).

### 2.1 Charakter von Fließgewässerökosystemen

Etwa 40–45% aller Fließgewässer in der Schweiz, inklusive derjenigen im alpinen Bereich, werden intensiv genutzt und sind begräbt oder eingedolt (A. Peter, EAWAG, persönliche Mitteilung). Sie haben ihre ökologische Vielfalt und landschaftliche Eigenart weitgehend verloren und sind oft reine Abflussgerinne. Konsequenzen sind eine Verschärfung des Hochwasserrisikos, eine verminderte Grundwasserneubildung, eine negative

Beeinträchtigung der Grundwasserqualität, eine geringere Artenvielfalt, aber auch eine Verminderung des Naherholungswertes. Durch den Verbau der Fließgewässer wurden die aquatischen Lebensräume auf das kanalisierte Gerinne reduziert und die Dynamik von Flussauen fast vollständig unterbunden. In den vielerorts künstlich etablierten Biotopen bestehen kaum natürliche oder zumindest naturnahe Verhältnisse. Deshalb haben diese Biotope keine Chance, ohne massiven Aufwand an Pflege und Unterhalt, langfristig zu überleben.

Die hohen Porositäten und im Allgemeinen guten Durchlässigkeiten der Flussablagerungen begünstigen den Wasseraustausch zwischen Oberflächengewässern und Grundwasser. Infiltration ins Grundwas-

ser und/oder Exfiltration vom Grundwasser finden in einem naturnahen Fließgewässer gleichermaßen statt. Die Flusswasserinfiltration liefert in den meisten Fällen einen wesentlichen Beitrag zum Grundwasserdargebot. Eine Trennung von Oberflächen- und Grundwasser ist besonders unter dem Aspekt der Fließgewässerbiologie willkürlich.

### 2.2 Ziele einer nachhaltigen Fließgewässerpolitik

Die Fließgewässer sollten Lebensraum einer vielfältigen, standortgebundenen Tier- und Pflanzenwelt sein. Zudem sind sie unerlässlich bei der 4-dimensionalen Vernetzung von Lebensräumen (drei Raumrichtungen und Zeit). Sie sollten (1) die Landschaft formen, (2) Raum für Erholungssuchende bie-

Die Forderung nach Erhaltung und Wiederherstellung der ökologischen Funktionsfähigkeit der Fließgewässer ist in der Schweiz gesetzlich verankert. Es fällt jedoch auf, dass es nicht spezifische Bestimmungen sind, die diesen Anspruch detailliert und gegenüber anderen Ansprüchen abgrenzend regeln, sondern dass die gesamte Gesetzgebung in ihrer jeweils neusten Fassung immer mehr davon durchdrungen wird. Dieses Regelwerk stösst jedoch bei neuen Nutzungsansprüchen wie der Revitalisierung der Fließgewässer, integralen Nutzungsformen (Wassermanagement), partizipativer Entscheidungsfindung (Mitwirkungsverfahren) oder neuen Aufgabenteilungen (Liberalisierung, Privatisierung) an Grenzen [6]:

- Das schweizerische Regelwerk hat sich sektoriell entwickelt und kann in sich auch nicht kohärent sein; deshalb müssen in diesem Regelwerk enthaltene Zielkonflikte im Einzelfall entschieden werden.
- Viele Regelungen enthalten einen Ermessensspielraum für die Behörden, wobei oft unklar ist, ob diese auch entscheidungsberechtigt sind.
- Das schweizerische Regelwerk ist de jure eine Verbundaufgabe zwischen Bund, Kantonen und Gemeinden. Wie weit die Kantone den Vollzug an die Gemeinden delegieren, ist sehr kantonsabhängig. Die regionale, gemeinde-

überschreitende Koordination ist vielerorts noch nicht gelöst. Für die Wassernutzung fehlt eine einheitliche Politik.

- Politische Grenzen und die Gemeindeautonomie erschweren oder verunmöglichen Problemlösungen, welche regional oder in Einzugsgebieten gefunden werden müssen.
- Bei der Wassernutzung gewinnen ökonomische Faktoren an Bedeutung.
- Bei Mitwirkungsverfahren sind Entscheidungsprozesse und -kompetenzen oft unklar, was zu kontraproduktiven Ergebnissen führen kann.
- Konflikte im Zusammenhang mit Massnahmen zum Schutz der Gewässer sind in der Regel verbunden mit langwierigen Entscheidungsprozessen und hohen Einigungs- und Informationskosten.

Hinsichtlich anstehender Zielkonflikte zeigen sich die Grenzen politischer Strukturen und direktdemokratischer Verfahren. Es besteht somit Handlungsbedarf in der Frage, welche Reformen für eine effiziente und nachhaltige Wassernutzung notwendig und geeignet sind.





Abb. 1 Natürliche Flusslandschaft der Sense, Freiburg (Foto P. Huggenberger).

ten, (3) so weit wie möglich zur Selbstreinigung des Wassers beitragen (gilt nicht für persistente Stoffe, die nur an der Quelle zurückgehalten werden können) und (4) einen wichtigen Beitrag zur Neubildung von Grundwasser liefern [3]. Als flächendeckendes, zusammenhängendes Netz von Lebensräumen sind sie deshalb auch am besten dazu geeignet, das Rückgrat einer überregionalen, in manchen Gebieten auch grenzüberschreitenden, ökologischen Vernetzung zu bilden. Natürliche Flusslandschaften, wie in *Abbildung 1* dargestellt, sind sehr diversifizierte und ästhetische Gebiete. Sie bildeten früher ein Netzwerk von Korridoren, entlang derer der grösste Teil unserer einheimischen Fauna und Flora sich ausbreiten konnte.

Für eine nachhaltige Entwicklung der Fließgewässer sollten wo irgend möglich ehemals vorhandene Funktionen und vielfältige Lebensräume wieder hergestellt werden. Deshalb stellt das «Leitbild Fließgewässer Schweiz» [8] der Bundesämter BUWAL und BWG (Bundes-

amt für Wasser und Geologie) für eine nachhaltige Gewässerpolitik drei Entwicklungsziele in den Vordergrund: (1) ausreichender Gewässer-raum, (2) ausreichende Wasserführung und (3) ausreichende Wasserqualität. Nachhaltig bedeutet dabei, dass soziale, ökologische und wirtschaftliche Aspekte eines Fließgewässers gleichwertig berücksichtigt werden. Nur so kann daraus langfristig die Erhaltung natürlicher Fließgewässer resultieren.

### 2.3 Probleme bei Revitalisierungsprojekten

In mehreren Pilotprojekten wurde beobachtet, dass bei flussnaher Grundwassernutzung und gleichzeitiger Revitalisierung, insbesondere bei Hochwasser, temporär eine Verschlechterung der Grundwasserqualität bezüglich Viren und Keimen auftreten kann [3] (Wasserversorgungen an der Aare bei Bern, B. Schudel, WEA, persönliche Mitteilung). Zudem führt die hohe Durchlässigkeit vieler Grundwasserträger der Schweiz und ein relativ starkes hydraulisches Gefälle zu

grossen bis sehr grossen Fließgeschwindigkeiten des Grundwassers. Damit lassen sich bei manchen flussnahen Wasserfassungen eine verstärkte Infiltration und die kurzen Aufenthaltszeiten zwischen Oberflächengewässern und Wasserfassungen erklären. Viele Wasserversorger kommen aus diesen Gründen zum Schluss, dass es innerhalb der Schutzzone S2 nicht möglich ist, Fließgewässer zu revitalisieren oder aufzuwerten. Aus den genannten Gründen wurde die Flussinfiltration in einigen Fällen durch Verbauung der Ufer und Flusssohlen sogar reduziert. Seit dem Inkrafttreten des Gewässerschutzgesetzes (GSchG) von 1991 ist dies jedoch verboten (Art. 37 Abs. 2 Bst. b GSchG).

Neuere Untersuchungen bei flussnahen Wasserfassungen zeigen, dass auch im nicht revitalisierten Zustand die gesetzlichen Anforderungen bezüglich der Ausdehnung der Schutzzone S2 (Gebiet mit einer Aufenthaltszeit des Grundwassers von zehn Tagen vom Rand der Schutzzone bis zum Grundwasserbrunnen, Anh. 4 Ziff. 123 Abs. 2 Bst. a GSchV) vielerorts nicht erfüllt werden können. Entsprechend werden gefährdete Brunnen in der Praxis bei Hochwasser teilweise oder vollständig ausser Betrieb genommen.

Schon heute sind bei vielen Wasserfassungen die geforderten Bedingungen einer Schutzzone S2 nicht erfüllt, weil die Schutzzone S2 zu klein dimensioniert sind oder die Fassungen zu nahe an Fließgewässern errichtet wurden. Es stellt sich die Frage nach einer gezielten regionalen Versorgungsplanung und einer raumplanerischen Verankerung des Grundwasserschutzes verbunden mit einer konkreten Standortplanung für Wasserfassungen, welche den Anforderungen einer nachhaltigen Ressourcennutzung nicht widerspricht. Es scheint nicht nur wünschenswert, sondern notwendige Voraussetzung für den Erfolg von Revitalisierungsprojekten, dass sich die Wasserversorger bei der Erarbeitung neuer regionaler Lösungen konstruktiv mitbeteiligen. Bei der Erarbeitung von tragfähigen Lösungen sollte dabei nicht ausser Acht gelassen werden, dass die Fluss-Grundwasser-Interaktion bezüglich Wasser, Wasserinhaltsstoffen und Biologie eine grundlegende Charaktereigenschaft von vitalen Fließgewässersystemen darstellt.

### 2.4 Rechtliche Aspekte der neuen Wegleitung bezüglich Revitalisierungsmassnahmen

Bei der Konkretisierung der GSchV im Entwurf der Wegleitung sind Revitalisierungs-



oder Aufwertungsmassnahmen in der Schutzzone S2 verboten (*Kasten 2*) und deshalb über grössere Flussabschnitte kaum mehr realisierbar. Die rechtsverbindliche GSchV ist bereits recht detailliert, schreibt aber an sich nicht nur eine bestimmte Lösung vor, die zur Erreichung der Ziele des Grundwasserschutzes führen soll. Im Entwurf der Wegleitung werden die Empfehlungen an die Anwender restriktiver formuliert. Es ist zu erwarten, dass sich die Verantwortlichen des Vollzugs des GSchG im Wesentlichen auf die Inhalte dieser Wegleitung stützen werden. Dies nicht nur weil sie praxisorientierte Handlungsanleitungen gibt, sondern auch weil Vollzugshilfen als im Normalfall richtige Anwendung des Bundesrechts gelten. Andere Lösungen sind zwar nicht ausgeschlossen, ihre Übereinstimmung mit den rechtlichen Vorgaben muss aber speziell nachgewiesen werden. Es besteht somit die Frage, welche Rahmenbedingungen differenzierte Lösungen in der Beurteilungs- und Bewilligungspraxis ermöglichen können.

### 3. Lösungsansätze

Zur Sicherung einer nachhaltigen Bewirtschaftung der Wasserressourcen und damit auch einer nachhaltigen Entwicklung der Fliessgewässer ist eine ganzheitliche Betrachtungsweise unabdingbar. Diese muss die natürlichen Funktionen aller relevanten hydrologischen Systeme sowie soziale, ökologische und wirtschaftliche Aspekte gleichwertig berücksichtigen. Der disziplinäre Ansatz ist für die Problemerkennung notwendig. Die Problemlösung hingegen ist eine gesellschaftliche, administrative und wissenschaftliche Querschnittsaufgabe und damit interdisziplinär anzugehen [6].

#### 3.1 Raumplanerische Instrumente

Für das Ziel der flächendeckenden Bezeichnung des Raumbedarfs der Schweizer Fliessgewässer kommt vor allem den klassischen raumplanerischen Instrumenten wie der Richt-, Sach- und Nutzungsplanung sowie, für den ländlichen Raum, den landwirtschaftlichen Fördermitteln für ökologische Massnahmen (Ökoqualitätsverordnung ÖQV) grösste Bedeutung zu. Als Ergänzung dienen (1) kommunale Überbauungsordnungen und Planungszonen, (2) der Landerwerb durch die öffentliche Hand im Zusammenhang mit Landumlegungen und Realersatzforderungen (allenfalls kombiniert mit der Landgewinnung

#### Aspekte der GSchV und der neuen Wegleitung Grundwasserschutz

Die Gewässerschutzgesetzgebung verfolgt unter anderem den planerischen Grundwasserschutz (Art. 19–21 GSchG, Art. 29–31 und Anh. 4 Ziff. 11–13 GSchV). Durch die Bezeichnung der Grundwasserschutzzonen und Zuströmbereiche sowie der Gewässerschutzbereiche und Grundwasserschutzareale werden unterschiedliche Schutzziele für das Grundwasser angestrebt. Damit verbunden sind Nutzungsbeschränkungen, die bei der Revitalisierung der Fliessgewässer zu Konflikten führen können:

- In den **Zuströmbereichen**  $Z_n$  und  $Z_o$  gelten Einschränkungen in der Bewirtschaftung oder die Verpflichtung der dauernden Bodenbedeckung, wenn die Gefahr besteht, dass Stoffe (z.B. Pflanzenschutzmittel, Dünger) abgeschwemmt oder ausgewaschen werden (Anh. 4 Ziff. 212 GSchV). Da durch Revitalisierungs- oder Aufwertungsmassnahmen kaum Abschwemmung oder Auswaschung von solchen Stoffen zu befürchten ist, sind diese Massnahmen ohne spezielle Einschränkung möglich.
- In der **engeren Schutzzone** (Zone S2) ist das Erstellen von Anlagen nicht gestattet (Anh. 4 Ziffer 222 Abs. 1 Bst. a GSchV). Die Behörde kann aber aus wichtigen Gründen Ausnahmen bewilligen, wenn eine Gefährdung der Trinkwassernutzung ausgeschlossen werden kann. Zudem sind Grabungen untersagt, welche die schützende Deckschicht nachteilig verändern (Anh. 4 Ziff. 222 Abs. 1 Bst. b GSchV).
- Der Entwurf der neuen Wegleitung Grundwasserschutz [1] verbietet jegliche Revitalisierungsmassnahmen im **Fassungsbereich** (Zone S1) und der **engeren Schutzzone** (Zone S2). In der **weiteren Schutzzone** (Zone S3), dem **Zuströmbereich**  $Z_n$  und dem **Gewässerschutzbereich**  $A_n$  können Revitalisierungen fallweise durch die zuständige Behörde zugelassen werden. Eine Bewilligung nach Art. 32 GSchV ist dabei erforderlich. In **Grundwasserschutzarealen** gelten für ausnahmsweise bewilligte Bauten und Anlagen die Nutzungsbeschränkungen der zukünftigen Zonen (Anh. 4 Ziff. 23 Abs. 2 GSchV).
- Bei der Bezeichnung der Schutzzone wird die natürliche **Dynamik der hydrologischen Systeme** meist nicht vollumfänglich berücksichtigt. Zudem erschliessen oft mehrere, relativ nahe beieinander liegende Grundwasserfassungen dieselbe Grundwasser führende Formation. Folglich konkurrenzieren sich die Einzugsgebiete und sind damit zusätzlich einer gegenseitigen zeitlichen und räumlichen Dynamik unterworfen [3].
- Die **qualitativen Aspekte von Fliessgewässern** werden dem Gewässerschutzbereich  $A_o$  und dem Zuströmbereich  $Z_o$  zugeordnet. Damit ändern in der Vollzugspraxis nicht nur Zuständigkeiten innerhalb der jeweiligen kantonalen Fachstellen, sondern auch die Möglichkeiten der zu treffenden Massnahmen.

#### Kasten 2

durch Rodung) sowie (3) die Bezeichnung der Bauabstände zu Gewässern in und ausserhalb von Siedlungsgebieten, welche im Sinne einer allgemeinen Bauvorschrift Freiräume im Gewässerumfeld sichern [7]. Zudem verlangt die regionale Entwässerungsplanung (REP)



### Modellierungstechniken

Vorhersagen über das Verhalten von natürlichen Systemen beruhen auf Modellen. Deshalb können Vorhersagen streng genommen nur für das Verhalten von Modellen und nicht von natürlichen Systemen gemacht werden. Wie gut eine Vorhersage ist, hängt davon ab, wie gut das Modell das Systemverhalten tatsächlich wiedergibt. Je mehr gute Reproduktionen des beobachteten Systemverhaltens vorliegen, desto grösser ist das Vertrauen, dass das Modell die Mechanismen des Systems richtig beschreibt, dass also das System verstanden wird [11]. Die relative Unzugänglichkeit des Untergrundes, die relative Langsamkeit von Prozessen im Untergrund als auch die oft finanziellen Grenzen lassen einerseits den Einsatz von Modellen als attraktiv erscheinen, beeinflussen andererseits aber auch stark die Qualität der mit Modellen durchgeführten Berechnungen. Um trotzdem eine Entscheidungsfindung auch mit unsicheren Modellen zu ermöglichen, wurden eine Reihe von Techniken entwickelt [12]:

- Die **Worst Case Technik** besteht darin, bei der Parameterwahl innerhalb des möglichen Parameterintervalls immer die Werte zu wählen, die zu den ungünstigsten Resultaten führen. Dadurch sind Entscheidungen möglich, die auf der sicheren Seite liegen. Um herauszufinden, welche Richtung der Parametervariation zu ungünstigeren Ergebnissen führt, ist eine Sensitivitätsanalyse notwendig. Der Nachteil dieser Methode ist, dass sich bei Häufung von ungünstigen Parameterwerten eine Kombination ergibt, die in Realität sehr unwahrscheinlich und extrem konservativ ist.
- Die **Szenarietechnik** demgegenüber versucht verschiedene, von den Parameterwerten her in sich konsistente Abbilder der Wirklichkeit beziehungsweise geplanter Massnahmen zu entwerfen, die obere und untere Schranken sowie mittlere Fälle des Geschehens aufzeigen können. Die verschiedenen Szenarien lassen sich durch die Gegenüberstellung ihrer Vor- und Nachteile grob beurteilen und mit Hilfe geeigneter Entscheidungswerkzeugen evaluieren.
- Die **stochastische Modellierung** geht davon aus, dass die Eingabeparameter lediglich als Wahrscheinlichkeitsverteilungen bekannte Grössen sind. Damit ist auch die Lösung (z.B. Zuströmbereich einer Grundwasserfassung) eine Wahrscheinlichkeitsverteilung, die nach statistischen Methoden untersucht werden kann. Die Lösung gibt also im Gegensatz zur deterministischen Modellierung (Worst Case und Szenarietechnik) nicht nur einen Erwartungswert (wahrscheinliche Lösung), sondern auch einen wahrscheinlichen Schwankungsbereich des Ergebnisses an [3, 13]. Diese Methode ist sehr Datenintensiv; sie eignet sich z.B. für Detailabklärungen bei einzelnen Grundwasserbrunnen als Teil von Szenarien im regionalen Massstab.

#### Kasten 3

im Sinne einer ganzheitlichen Gewässerplanung nicht nur die Berücksichtigung der Abwasserbehandlung, sondern auch die Berücksichtigung des Raumbedarfs

der Gewässer, des Hochwasserschutzes und andere Massnahmen zum Schutz der Gewässer.

In Zukunft dürften aber auch neue Ansätze wie Landschaftsentwick-

lungs- oder Lebensraumkonzepte zunehmende Bedeutung erlangen. Sie stellen eine Vernetzung der verschiedenen Interessen sicher, bewirken eine grosse Identifikation aller Betroffenen und sind Voraussetzung für eine sinnvolle Priorisierung und Etappierung [9]. Die Sicherung einer nachhaltigen Bewirtschaftung der Wasserressourcen umfasst aber nicht nur gesetzliche oder planerische Aspekte. Die Kenntnisse der ortsspezifischen und regionalen Grundwasserverhältnisse bilden die Grundlage für eine Entscheidungsfindung.

### 3.2 Fluss- und Grundwassermodelle

Im Zusammenhang mit der Revitalisierung der Fließgewässer im Nahbereich von Grundwasserfassungen ist es wichtig, die Austauschprozesse zwischen Fließgewässer und Grundwasser sowie das Fließverhalten des Grundwassers und die Konzentrationsverteilung von Wasserinhaltsstoffen im Untergrund unter verschiedenen hydrologischen und betriebstechnischen Bedingungen der Wasserversorgung möglichst gut zu kennen [10]. Im Zielkonflikt Revitalisierung / Grundwassernutzung zeigen sich die Lücken bezüglich dem Verständnis der Fluss-Grundwasser-Interaktion drastisch. Gründe dafür sind die Dynamik der Gewässersysteme sowie die Heterogenität des Untergrundes.

Abklärungen diesbezüglich können im Allgemeinen nur teilweise mit Feldexperimenten gemacht werden, da sie lediglich den Ist-Zustand unter gegebenen hydrologischen und betriebstechnischen Bedingungen der Wasserversorgung aufzeigen. Gewässerschutzmassnahmen, wie die Revitalisierung der Fließgewässer, aber auch Fragen der nachhaltigen Nutzung des Grundwassers verlangen den Einbezug eines immer breiteren Umfeldes. Deshalb gewinnen Methoden an Bedeutung, die eine vergleichende Bewertung verschiedener Handlungsoptionen erlauben [11]. Die mögliche Beeinträchtigung der Grundwasserqualität durch Revitalisierungsmassnahmen kann durch Methoden abgeschätzt werden, die Vorhersagen des zukünftigen Verhaltens der Fluss-Grundwasser-Interaktion zulassen (Kasten 3): Flussmodelle zeigen, wo Aufweitungen aufgrund der natürlichen Flussdynamik vorkommen würden und bilden die Auswirkungen eines Hochwassers nach. Die Ergebnisse helfen, notwendige Hochwasserschutzmassnahmen ausreichend zu dimensionieren. Grundwassermodelle liefern die Grundlagen für das Verständnis der Strö-



mungs- und Transportvorgänge im Untergrund. Resultate von Modellrechnungen dienen z.B. als Grundlage für die Bezeichnung der Schutzzonen und für die betriebliche Optimierung von Grundwasserfassungen. Grundwassermodelle spielen deshalb sowohl für die Verbesserung der Systemkenntnisse als auch für die Beurteilung verschiedener Szenarien der Fluss-Grundwasser-Interaktion eine wichtige Rolle [11].

4. Szenarien

Modelle erlauben, Auswirkungen geologischer, hydraulischer und betriebstechnischer Eingabeparameter auf die Wasserqualität besser zu verstehen und zu visualisieren, um z.B. Revitalisierungsmassnahmen evaluieren und optimieren sowie erwartete Konsequenzen von Entscheidungen bewerten zu können. Dadurch können Berechnung, Unsicherheit und Bewertung von Handlungsoptionen entflochten und die Diskussion in Entscheidungsprozessen versachlicht sowie Unstimmigkeiten lokalisiert werden [11].

4.1 Erhöhung des Freiheitsgrades für Revitalisierungen

Um den Freiheitsgrad von Revitalisierungen zu erhöhen, können verschiedene Massnahmen ergriffen werden. Die meisten Massnahmen beinhalten konzeptionelle, technische und hydraulische Aspekte (Abbildung 2): Beispiele konzeptionell ausgerichteter Ziele und Massnahmen sind (1) die Erkundung, Planung und Dimensionierung von Wasserentnahmegebieten auf Grund aktueller Kenntnisse, (2) die Verbesserung der Qualität der Oberflächengewässer, z.B. durch die Einleitung von Kläranlageausläufen in grössere Vorfluter, (3) die Optimierung der regionalen Siedlungsentwässerung, z.B. durch die Reduktion des Wasserverbrauchs und damit auch die Möglichkeit der Aufgabe flussnaher Grundwasserbrunnen sowie (4) die Planung und Erkundung alternativer Brunnenstandorte. Beispiele hydraulisch ausgerichteter Massnahmen und deren Auswirkungen auf die Fluss-Grundwasser-Interaktion sind in Abbildung 3 dargestellt. Durch die geeignete Anordnung und den Betrieb von Anreicherungs-feldern bilden sich hydraulische Barrieren, die den Schutz von flussnahen Grundwasserbrunnen sicherstellen. Naturnahe Anreicherungs-felder, wie in Abbildung 4 dargestellt, können viele Funktionen von Überschwemmungs-

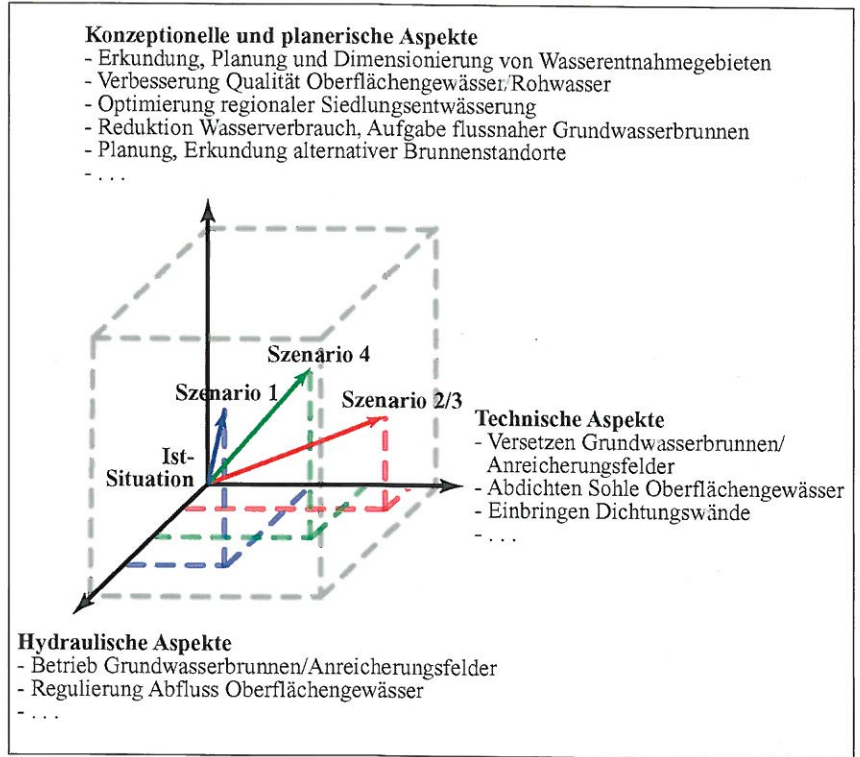


Abb. 2 Aspekte von Massnahmen, die den Freiheitsgrad von Revitalisierungen erhöhen.

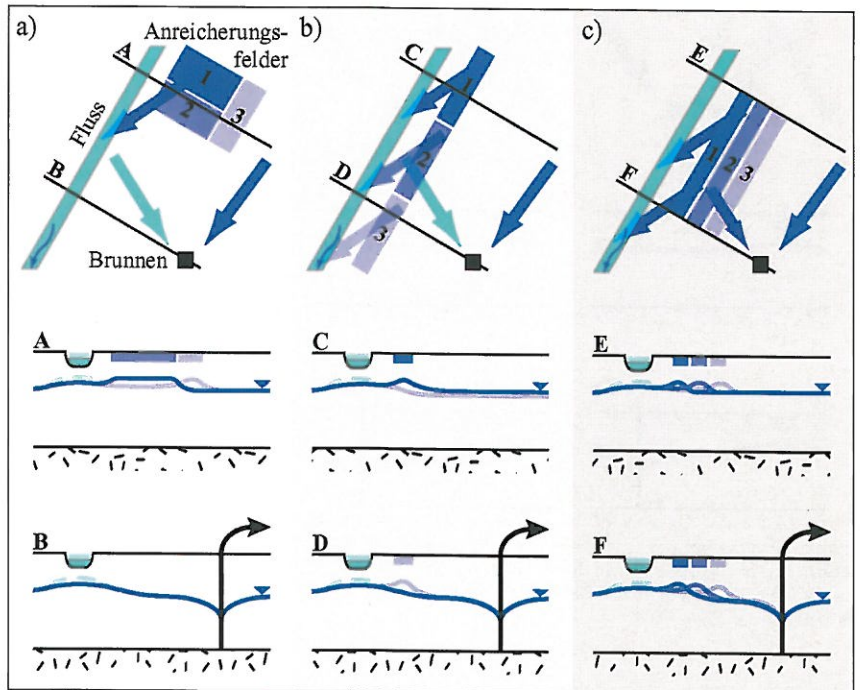


Abb. 3 Hydraulische Massnahmen und Auswirkungen auf die Fluss-Grundwasser-Interaktion: a) Ist-Situation Lange Erlen, Basel-Stadt; b) Anreicherungs-felder parallel zum Fließgewässer; c) Anreicherungs-felder senkrecht zum Fließgewässer. Nummern der Anreicherungs-felder dokumentieren abwechselnde Zeitperioden des Betriebs der Anreicherungs-felder.





Abb. 4 Grundwasser-Anreicherungs-feld Hintere Stellmatten, Lange Erlen, Basel-Stadt (Foto U. Geissbühler).

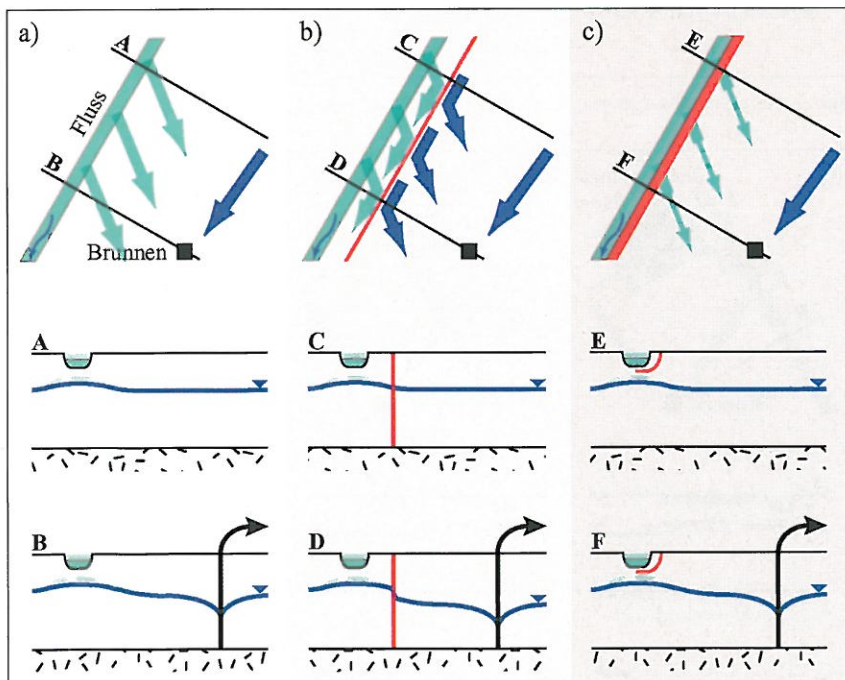


Abb. 5 Technische Massnahmen und Auswirkungen auf die Fluss-Grundwasser Interaktion: a) Ist-Situation Lange Erlen, Basel-Stadt; b) vertikale Barriere parallel zum Fliessgewässer; c) horizontale Barriere einzelner Teilbereiche von Flussarmen.

und Auengebieten wieder etablieren oder wahrnehmen. Durch die Einleitung von Oberflächenwasser in solche künstlich angelegte Anrei-

cherungsfelder wäre auch eine naturnahe Dynamik von Feuchtgebieten möglich. Damit liessen sich die Biodiversität steigern und unter-

schiedliche Lebensräume vernetzen. Versuche zeigen, dass eine bezüglich Trübung (Anlagerung von Bakterien und Schadstoffen an Trübstoffen) und UV-Extinktion (Nachweis für Doppelbindungen von im Wasser gelösten organischen Verbindungen) überwachte Einleitung von Flusswasser ohne Aufbereitung möglich ist, ohne dass die Grundwassernutzung gefährdet wird [5].

Beispiele technisch ausgerichteter Massnahmen und deren Auswirkungen auf die Fluss-Grundwasser-Interaktion sind in *Abbildung 5* dargestellt. Durch das Einbringen von Dichtungswänden könnten vertikale Barrieren erstellt werden, die in der Nähe von Entnahmehäusern Flusswasser an der Infiltration ins Grundwasser hindern und dadurch den Schutz von flussnahen Grundwasserfassungen sicherstellen. Eine ökologisch sinnvollere Alternative wäre die teilweise Abdichtung von Sohle- und Uferpartien einzelner Flussarme z.B. durch geeignete Geotextilien. Dadurch würde die Fluss-Grundwasser-Interaktion nicht vollständig unterbunden, sondern lediglich um eine gewisse Grössenordnung verzögert.

4.2 Beispiel Lange Erlen, Basel-Stadt

Die Szenarientechnik (*Kasten 3*) wird am Beispiel der Langen Erlen illustriert. Der Fluss Wiese durchfliesst dieses Gebiet auf den letzten Kilometern vor der Einmündung in den Rhein. Der nahezu unverbaute Raum der Wieseebene umfasst eine Fläche von ca. 700 ha und ist einem starken Nutzungsdruck ausgesetzt. Einerseits sind die Langen Erlen durch die unmittelbare Nachbarschaft zu den dicht besiedelten urbanen Zentren Basel, Riehen, Weil am Rhein und Lörrach als Naherholungsgebiet für die Bevölkerung von herausragender Bedeutung. Andererseits dient dieses Gebiet dem städtischen Wasserversorger (Industrielle Werke Basel; IWB) zur Trinkwassergewinnung (*Abbildung 6*).

Prognosen bei veränderten Randbedingungen und Massnahmen

Für das Gebiet der Langen Erlen wurde ein numerisches Finite-Differenzen-Grundwasser-Fließmodell erstellt [14] (*Kasten 4*). Ausgehend vom kalibrierten Modell wurden verschiedene Szenarien für die Revitalisierung der Wiese angenommen. Dabei wurde die Wiese innerhalb eines Pendelbereichs bis auf maximal 4 stabile Flussarme aufgeteilt und deren Infiltrationskapazität entsprechend angepasst. Die Szenarien erfassen ein mittleres



Hochwasser in der Wiese (Abb. 7). Der zeitliche Betrieb der Brunnen, die Gesamtmenge an angereichertem und entnommenem Grundwasser sowie die Randbedingungen 1. und 2. Art wurden nicht verändert. Die Auswirkungen dieser Szenarien auf die Anströmbereiche der Grundwasserbrunnen wurden mit dem Modell berechnet. Die Charakteristiken der einzelnen Szenarien wie z.B. versetzte Anreicherungsfelder oder umverteilte Grundwasserentnahmen auf andere Brunnen sind in *Abbildung 8* aufgeführt. Dargestellt mittels Stromlinien sind zudem die 10-Tages-Anströmbereiche der Brunnen für verschiedene Zeitperioden.

Die vorliegenden Szenarien dienen vorerst der Illustration der Auswirkungen unterschiedlicher Grundwasser-Entnahme- und Anreicherungsstrategien unter veränderten Bedingungen. Sie entsprechen jedoch zurzeit keinem realen Planungsvorhaben. Trotzdem lassen sich bereits in dieser Phase Trends ableiten.

*Abbildung 8a* zeigt den aktuellen Zustand beim mittleren Hochwasser vom März 2002. Die klare Überlappung der 10-Tages-Anströmbereiche mit Oberflächengewässern wird durch die teilweise erhöhte Konzentration an Mikroorganismen in einzelnen Brunnen bestätigt [16]. Beim hydraulisch ausgerichteten Szenario (*Abb. 8b*) wurden die An-

### Grundwasserverhältnisse und -modell Lange Erlen

Die Mächtigkeit des Aquifers variiert zwischen 7 m und 20 m, die des Grundwassers zwischen 5 m und 12 m. Der Flurabstand beträgt maximal 10 m, meistens jedoch 4 m bis 6 m, im Bereich von Anreicherungsfeldern kann der Grundwasserspiegel zuweilen bis wenige Meter unter die Erdoberfläche ansteigen. Die aus Pumpversuchen ermittelten hydraulischen Leitfähigkeiten ( $k_f$ -Werte) liegen im Bereich von  $3.0E-3$  m/s bis  $7.5E-3$  m/s, die ermittelten nutzbaren Porositäten ( $n_e$ ) schwanken zwischen 0.08 und 0.15. Oligocaene Tone und Mergel bilden den Grundwasserstauer. Diese Formationen können mit einem geschätzten  $k_f$ -Wert im Bereich von  $1E-7$  bis  $1E-8$  m/s als undurchlässig betrachtet werden [15].

Das Modell wurde automatisch auf hydraulische Potenziale mittels UCODE kalibriert, basierend auf 14 Zonen der hydraulischen Durchlässigkeit. Die ermittelten horizontalen  $k_f$ -Werte liegen zwischen  $2.2E-3$  m/s und  $7.0E-3$  m/s. Generell sind die  $k_f$ -Werte entlang der Wiese höher als gegen die Ränder des Modells (Niederterrassenablagerungen). Die ermittelten spezifischen Speicherfähigkeiten ( $n_e$ ) liegen zwischen 0.06 und 0.13. Die Durchlässigkeit der Wiesesohle wurde mit  $4.2E-6$  m/s ermittelt. Daraus ergibt sich ein Leakage Faktor von  $1.4E-5$  1/s, bei Annahme einer Mächtigkeit der kolmatierten Wiesesohle von 0.3 m [14].

Das Modell wurde für die instationäre Simulation der Grundwasserströmung vom 13. März bis 10. April 2002 sowie des Stofftransports eines Markierversuches angewandt [16]. Dieser Zeitraum erfasst das mittlere Hochwasser in der Wiese vom 20. März 2002 (*Abb. 7*). Die Wasserbilanz zeigt, dass über den betrachteten Zeitraum vom Wiesetal mit rund 55 l/s weit weniger Grundwasser zufließt, als mit rund 785 l/s gegen Basel abfließt. Dem Aquifer werden zudem mittels Brunnen rund 562 l/s Grundwasser entnommen. Dieses Wasserdefizit wird untergeordnet durch die Randzuflüsse des Dinkelberges mit rund 73 l/s und des Tüllinger Hügels mit rund 2 l/s sowie hauptsächlich durch

die künstliche Anreicherung mit rund 280 l/s und vor allem über die Infiltration der Wiese mit rund 700 l/s kompensiert. Die Infiltration von 700 l/s Wiesewasser ins Grundwasser über den betrachteten Zeitraum entspricht einem Wert von rund  $13.8$  m<sup>3</sup>/Tag und Laufmeter der Wiese.

- Software: GMS 3.1 [17]
- Quasi 3D Finite-Differenzen Grundwasser Fließmodell: MODFLOW 96
- Anzahl Schichten: 1, ungespannter Aquifer
- Räumliche Diskretisierung:
  - Ausgangssituation: Zellengröße 20 m × 20 m (204 Zellen × 176 Zellen)
  - Szenarien: Zellengröße 10 m × 10 m (408 Zellen × 352 Zellen)
- Orientierung des Grids: ausgerichtet nach Landeskoordinaten
- Zeitliche Diskretisierung:
  - Instationäres Modell mit 44 Berechnungsperioden vom 13.03.02 00:00:00 bis 10.04.02 12:00:00 (mittleres Hochwasser in der Wiese am 20.03.02)
  - Unterteilung der Berechnungsperioden in 3–10 Zeitschritte
- Randbedingungen:
  - Grundwasserstrom ins Modellgebiet hinein (Lörach, Birsfelden) sowie aus dem Modellgebiet heraus (Basel, Weil am Rhein) als Randbedingung 1. Art (vorgeschriebenes Festpotenzial, variabel über die Zeit)
  - Ränder gegen Nordwesten (Tüllinger Hügel) sowie gegen Südosten (Dinkelberg) als Randbedingung 2. Art (vorgegebener Zu-/Abfluss, variabel über die Zeit)
  - Wiese und Kanäle als Randbedingung 3. Art (halbdurchlässiger Rand, variabel über die Zeit)
- Automatische Kalibrierung auf hydraulische Potenziale mittels UCODE



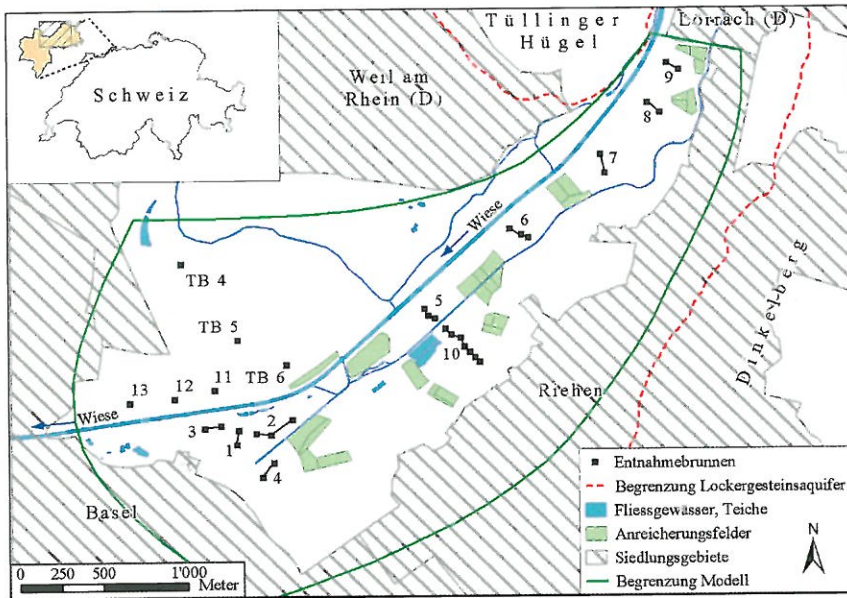


Abb. 6 Übersicht des Grundwasser-Anreicherungs- und Entnahmegebiets Lange Erlen, Basel-Stadt.

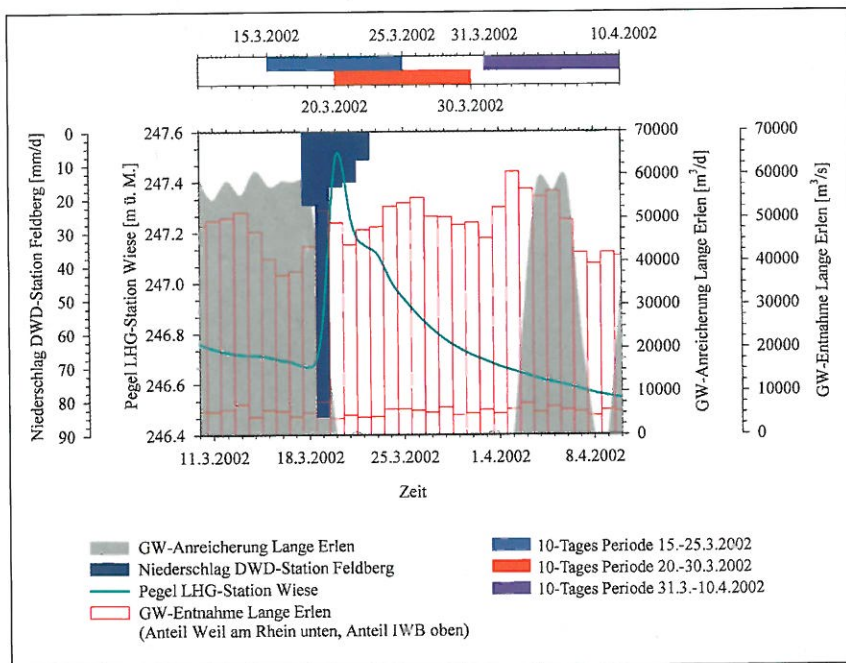


Abb. 7 Hydrologie und Grundwassernutzung vom 10. März bis 10. April 2002 im Gebiet der Langen Erlen, Basel-Stadt. 10-Tages-Perioden beziehen sich auf die Zeitabschnitte, für die Anströmbereiche mittels Stromlinien in Abb. 8 dargestellt sind.

reicherungsfelder entlang der Wiese angelegt und abwechselnd betrieben (Abb. 3b). Als Folge sind zu gewissen Zeitperioden hydraulische Verbindungen zwischen der

Wiese und den Grundwasserbrunnen möglich, welche im Modell eine geringere Aufenthaltszeit als zehn Tage aufweisen. Optimierungsmöglichkeiten bestehen in der Anord-

nung und im Betrieb der Anreicherungsfelder und Grundwasserbrunnen (Abb. 3c), ausgerichtet auf die Gefährdung bei Hochwasserereignissen.

Beim technisch ausgerichteten Szenario mit vertikalen Barrieren (Abb. 8c) wurden bis zur Basis des Aquifers reichende Dichtungswände eingefügt ( $k_f$ -Wert  $3E-10$  m/s; Abb. 5b). Bei genügend grosser Dimensionierung der Dichtungswände wird der 10-Tages-Anströmbereich von der Wiese entkoppelt. Beim technisch ausgerichteten Szenario mit horizontalen Barrieren (Abb. 8d) wurde die Infiltrationskapazität linksseitiger Flussarme der revitalisierten Wiese verringert ( $k_f$ -Wert  $1E-7$  m/s; Abb. 5c). Der 10-Tages-Anströmbereich reicht jedoch unter diverse Flussarme. Um die Ausdehnung einer solchen Massnahme zu optimieren und gleichzeitig die Qualitätssicherheit des geförderten Grundwassers zu gewährleisten, ist die Kenntnis der Heterogenität des Untergrundes von Bedeutung.

Beim konzeptionell ausgerichteten Szenario (Abb. 8e) wurden zahlreiche flussnahe Brunnen aufgegeben und dafür drei neue Brunnen an anderen Standorten eingefügt. Dadurch wird die Wahrscheinlichkeit des Anströmens von infiltriertem Flusswasser minimiert.

## 5. Schlussfolgerungen

Die neue Wegleitung Grundwasserschutz sollte bezüglich Revitalisierungen in der Schutzzone S2 differenzierte Lösungen zulassen, um mit geeigneten Methoden die Ziele der GSchV erfüllen zu können. Entsprechend müssten die erwähnten Punkte in der neuen Wegleitung angepasst werden. Für Fälle, wo heute schon die Anforderungen an die Schutzzone S2 nicht erfüllt werden können, sollten ebenfalls, in Abstimmung mit den jeweiligen Verhältnissen, Lösungen gefunden werden, welche den Anforderungen der Wasserversorger und der Fließgewässerökologie gleichermassen entgegenkommen. Damit würden optimale Rahmenbedingungen für nachhaltige Revitalisierungsprojekte geschaffen. Insbesondere ist darauf zu achten, dass sich die ganzheitliche Betrachtungsweise auch in der neuen Wegleitung verstärkt abzeichnet. Die integrierten Ansätze sollten z.B. ein umfassendes Management ganzer Flusseinzugsgebiete umfassen, d.h. sowohl Oberflächengewässer, Grundwasser, Feuchtgebiete und angrenzende terrestrische Ökosysteme als auch die Wasserqualität, Wassermenge und Gewässerstrukturen berücksichtigen.



HAUPTARTIKEL | ARTICLE DE FOND

In regionalen Fließgewässerkonzepten müssten die Entwässerungsplanung sowie die fluss-spezifischen Nutzungsziele und vorgesehenen Renaturierungs- und Aufwertungsmaßnahmen abschnittsweise klar definiert werden, wobei der Status quo selbst in den wenigsten Fällen eine nachhaltige Lösung darstellt. Aufweitungen einzelner Flussabschnitte repräsentieren punktuelle ökologische Aufwertungen

und damit erste Schritte einer ökologischen Vernetzung von Lebensräumen. Es gilt aber, auf dem gesamten Gewässernetz nach ökolo-

gischen, sozialen und wirtschaftlichen Synergieeffekten zu suchen. Die Anliegen des Grundwasserschutzes und der Grundwasserbewirtschaftung müssen vorausschauend mit den anderweitigen raumplanerischen Interessen abgestimmt und in Richt- und Nutzungsplänen verankert werden (Art. 46 GSchV). Die Grundwasserbewirtschaftung soll auf regionaler Ebene durch umsichtige Versorgungsplanung sichergestellt werden, welche sowohl die Erfordernisse als auch die Möglichkeiten der zukünftigen Grundwasserernutzung aufzeigt. Generell müsste die öffentliche Hand die Wasserversorger verpflichten, sich an den Zielen der nachhaltigen Ressourcenbewirtschaftung in einem regionalen Kontext zu orientieren. Damit würden die Wasserversorger im Prinzip in den Prozess der Lösungsfindung eingebunden.

Die gesetzlichen Aspekte und die Konzepte sind eine Sache, eine sinnvolle Umsetzung setzt im Allgemeinen jedoch fundierte Kenntnisse der lokalen und regionalen hydrogeologischen Verhältnisse voraus. Es ist notwendig, in Abhängigkeit der Bedeutung einer Wasserversorgung und der Vielfalt bestehender, allenfalls konkurrierender Nutzungen, geeignete Werkzeuge, wie z.B. Fluss- und Grundwassermodelle, aufzubauen. Solche Modelle erlauben, der Komplexität der Wechselwirkungen Fluss-Grundwasser in Abhängigkeit der Wasserführung von Oberflächengewässern und der Grundwasser-Anreicherung und -Entnahme Rechnung zu tragen. Mit den zu erarbeitenden Grundwassermodellen soll insbesondere auch die Dynamik der Anströmbereiche von Wasserfassungen bei verschiedenen Zuständen erfasst und optimiert werden. Damit sollen mögliche Konsequenzen von Änderungen infolge Revitali-

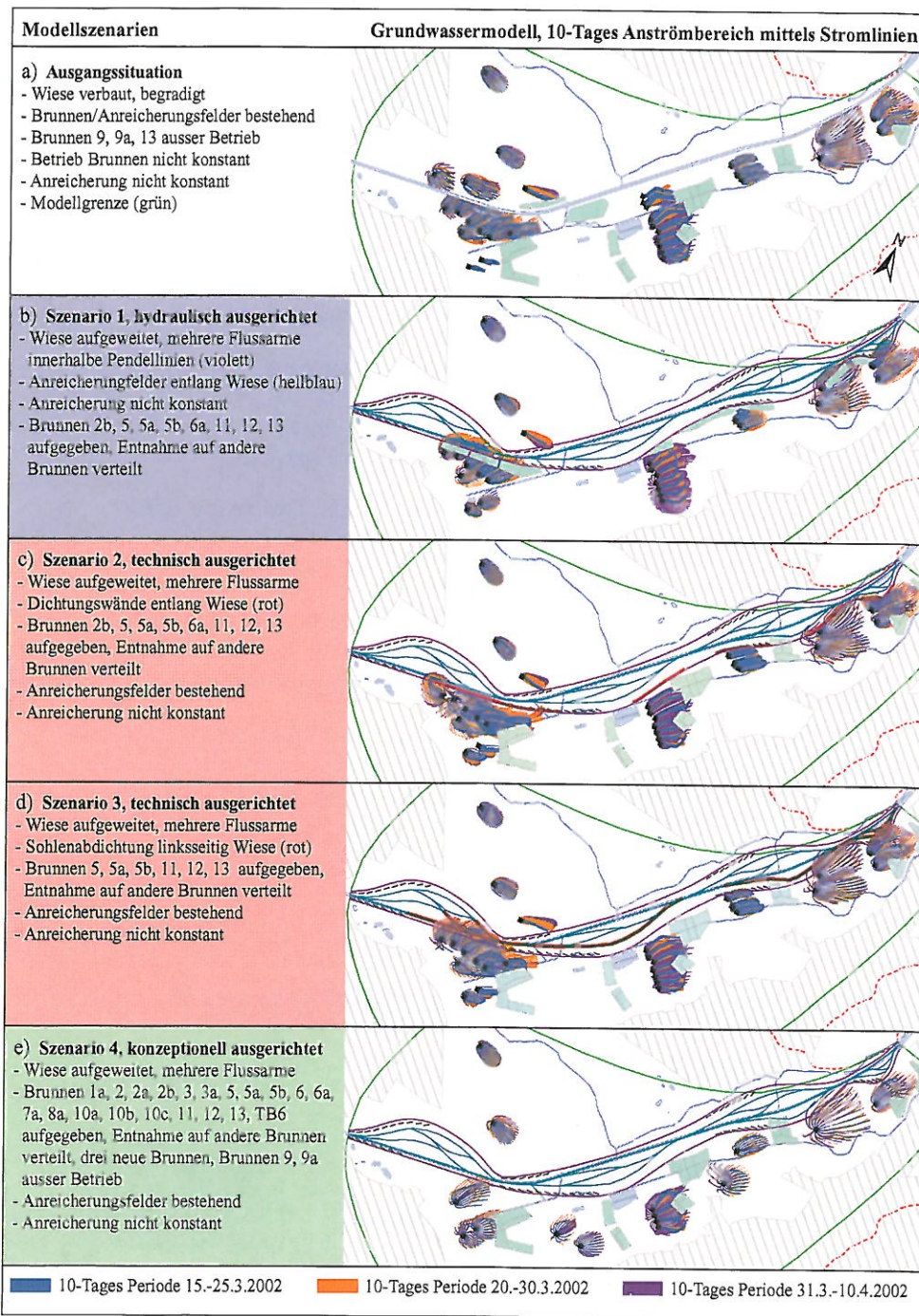


Abb. 8 Modellszenarien und Anströmbereiche von Grundwasserbrunnen für verschiedene 10-Tages-Perioden zwischen Mitte März und Mitte April 2002; a) Ausgangssituation; b) hydraulisch ausgerichtetes Szenario; c) und d) technisch ausgerichtetes Szenario; e) konzeptionell ausgerichtetes Szenario.



sierung oder Auenrenaturierung vorgängig erkannt werden. Die Komplexität von solchen Werkzeugen erfordert eine Eichung und Überprüfung mit Daten aus Feldexperimenten. Unter diesen Voraussetzungen lassen sich unterschiedliche Szenarien erarbeiten. Diese liefern mindestens einen Teil der Entscheidungsgrundlagen für die Lösung der Zielkonflikte Revitalisierung/Grundwassernutzung.

#### Literaturverzeichnis

- [1] *BUWAL* (Hrsg.; 2003): Wegleitung Grundwasserschutz – Konsultationsentwurf Oktober 2003. Vollzug Umwelt. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern, 135 Seiten.
- [2] *Oplatka, M.* (2000): Die teilweise befreite Töss gestaltet ihr Flussbett. In: Wasserbau im Kanton Zürich – Ökologie, Hochwasserschutz, Wiederbelebung, Unterhalt. AWEL, Zürich, 49–52.
- [3] *Regli, Ch., Rauber, M., Huggenberger, P.* (2003): Analysis of aquifer heterogeneity within a well capture zone, comparison of model data with field experiments: A case study from the river Wiese, Switzerland. *Aquatic Sciences*, 65, 111–128.
- [4] *Rheinaubund* (2003): Fallstudie Thur, Perspektive einer Flusslandschaft. *Natur und Mensch*, 5, 46 Seiten.
- [5] *Wüthrich, Ch., Huggenberger, P., Gurtner, A., Geissbühler, U., Stucki, O., Zechner, E., Kohl, J.* (2003): Machbarkeit, Kosten und Nutzen von Revitalisierungen in intensiv genutzten, ehemaligen Auenlandschaften (Fallbeispiel Lange Erlen). Schlussbericht zum MGU-Forschungsprojekt F2.00. Universität Basel, 156 Seiten.

- [6] *Scheurer, Th., Pieren, K., Gutscher, H.* (2002): Problemfelder der transdisziplinären Zusammenarbeit in der Wasserforschung: Eine Bilanz der ICAS/IHDP-Tagungen. In: Gutscher, H., Werlen, I., Pieren, K., Scheurer, Th., Reynard, E., Kaufmann, V. (Hrsg.). *Das Wasser der Alpen, Nutzungskonflikte und Lösungsansätze*. Interakademische Kommission Alpenforschung, Bern, 9–13.
- [7] *Willi, H.P.* (2001): Fließgewässer brauchen mehr Raum. *Thema Umwelt* 1, 4–5.
- [8] *BUWAL/BWG* (Hrsg.; 2003): *Leitbild Fließgewässer Schweiz*. Für eine nachhaltige Gewässerpolitik. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft / Bundesamt für Wasser und Geologie, Bern, 12 Seiten.
- [9] *Diethelm, K., Bundi, U., Baumann, St.* (2001): Raumsicherung im ländlichen Raum. *Thema Umwelt*, 1, 17–20.
- [10] *Huggenberger, P.* (2003): Transport von Mikroorganismen. In: Auckenthaler, A., Huggenberger, P. (Hrsg.). *Pathogene Mikroorganismen im Grund- und Trinkwasser, Transport – Nachweismethoden – Wassermanagement*. Birkhäuser, Basel, 55–77.
- [11] *Reichert, P., Pahl, C.* (1999): Wie können Modelle zu Umweltentscheidungen beitragen? *EAWAG news*, 47d, 3–5.
- [12] *Kinzelbach, W., Rausch, R.* (1995): *Grundwassermodellierung*. Eine Einführung mit Übungen. Gebrüder Bornträger, Berlin, 283 Seiten.
- [13] *Vassolo, S., Kinzelbach, W., Schäfer, W.* (1998): Determination of a well head protection zone by a stochastic inverse modeling. *Journal of Hydrology*, 206, 268–280.
- [14] *Geologisch-Paläontologisches Institut der Universität Basel* (2003): *Lange Erlen – Grundwassermodell 2002*. Technischer Bericht. Baudepartement Basel-Stadt, 42 Seiten.
- [15] *Zechner, E.* (1996): *Hydrogeologische Untersuchungen und Tracertransport – Simulation zur Validierung eines Grundwassermodells der Langen Erlen (Basel-Stadt)*. Dissertation. Universität Basel, 156 Seiten.

[16] *Geologisch-Paläontologisches Institut der Universität Basel* (2003): *Austauschprozesse Fluss-Grundwasser – Markierversuch und begleitende Feldexperimente*. Bericht und Auswertung. Baudepartement Basel-Stadt, 72 Seiten.

[17] *Environmental Modeling Systems Inc.* (2002): *GMS: Groundwater Modeling System, EMS-I, South Jordan, Utah*.

#### Verdankung

Für die kritische Durchsicht des Manuskriptes bedanken sich die Autoren bei Ursula Brunner, Veronika Huber, Martin Rauber und Eric Zechner. Ein besonderer Dank gilt der Stiftung Mensch – Gesellschaft – Umwelt (MGU) für die finanzielle Unterstützung dieser Arbeit sowie dem Baudepartement des Kantons Basel-Stadt für die Erlaubnis, die Ausgangsdaten für die Berechnung der Modellszenarien verwenden zu dürfen.

#### Keywords

Fließgewässer – Revitalisierung – Gewässerschutz – Grundwassernutzung

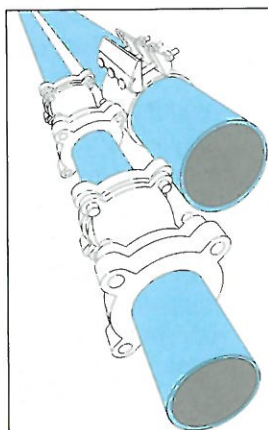
#### Adresse der Autoren

Christian Regli, Dr.  
Tel. +41 61 267 34 47  
christian.regli@unibas.ch

Lorenz Guldenfels, Dipl. Natw. ETH  
Tel. +41 61 267 34 47  
lorenz.guldenfels@unibas.ch

Peter Huggenberger, Prof. Dr.\*  
Tel. +41 61 267 35 92  
peter.huggenberger@unibas.ch

Geologisch-Paläontologisches Institut der Universität Basel  
Angewandte und Umweltgeologie  
Bernoullistrasse 16  
CH-4056 Basel  
\* Kontaktperson



## Leitungsbruch? – Rupture de tuyau? RepaFlex + Leya

Die Lösung für alle Rohrtypen von 46–700 mm  
La solution pour tout les types de tuyaux de 46–700 mm

Verlangen Sie den Katalog – Demandez le catalogue



Aquaform AG

Gewerbestrasse 16, 4105 Biel-Benken, Tel. 061 726 64 00,  
Fax 061 726 64 11, info@aquaform.ch, www.aquaform.ch

