



FLUSSREVITALISIERUNGS- FORSCHUNG

WISSENSCHAFTLICHE ERKENNTNISSE ZWEIER FORSCHUNGSPROJEKTE IM EINZUGSGEBIET DER THUR

Um das Wissen bezüglich der Auswirkung von Flussrevitalisierungen auf die aquatischen und terrestrischen Kompartimente zu verbessern, wurden die beiden interdisziplinären Forschungsprojekte **RECORD** und **RECORD Catchment** in den Jahren 2007 bis 2017 durchgeführt. Wesentliche Untersuchungen fanden im Einzugsgebiet der Thur statt. Hinweise lassen darauf schliessen, dass in revitalisierten Abschnitten der mikrobielle Abbau bei der Flusswasserinfiltration höher ist als in kanalisierten.

Dirk Radny; Mario Schirmer, Eawag; Jörg Luster, WSL; Claire Guenat, EPFL-WSL*

Paolo Perona, The University of Edinburgh, vormals EPFL; Peter Bayer, Technische Hochschule Ingolstadt, vormals ETHZ

Michael Stauffacher; Roman Seidl, ETHZ; Juliane Hollender, Eawag; Marco Baumann, AfU Kanton Thurgau

RÉSUMÉ

RECHERCHE EN MATIÈRE DE REVITALISATION DES RIVIÈRES DANS LE BASSIN VERSANT DE LA THUR – RÉSULTATS SCIENTIFIQUES

Afin d'améliorer les connaissances relatives aux effets des revitalisations des rivières sur les compartiments aquatiques et terrestres des écosystèmes concernés, les deux projets de recherche interdisciplinaires *RECORD* et *RECORD Catchment* ont été réalisés entre 2007 et 2017. D'importantes études ont été menées dans le domaine de la «élargissement» de la Thur près de Niederneunforn (TG)/Altikon (ZH), où se trouve également, côté thurgovien, «Schäffäuli», une forêt alluviale d'importance nationale. Concernant les conséquences de la revitalisation sur les nappes phréatiques, le projet de recherche semble indiquer que dans le cadre de l'infiltration des eaux de rivière, la dégradation microbienne des micropolluants se trouvant dans les eaux de surface est plus importante dans les sections revitalisées que dans les sections canalisées. Néanmoins, l'hétérogénéité de l'habitat dans le secteur du «Schäffäuli» entraîne en même temps des processus de nitrification et de dénitrification dans les sols alluviaux. En conséquence, il peut se produire de fortes émissions de protoxyde d'azote, un gaz à effet de serre très puissant, ou un lessivage trop important de nitrate qui s'infiltré dans les nappes phréatiques. Si l'on tient compte par ailleurs des vitesses d'écoulement en par-

EINLEITUNG

Das 2011 in Kraft getretene revidierte Gewässerschutzgesetz verpflichtet die Kantone, die Gewässer zu revitalisieren, um deren häufig verbauten und begradigten Verlauf wieder naturnäher zu gestalten [1, 2]. Hierbei soll ein «*naturnahe Wasserbau [...] den Schutz vor Hochwasser gewährleisten und gleichzeitig den ökologischen Zustand der Gewässer verbessern*» (aus [2]). Das Ziel ist anspruchsvoll: In den kommenden Jahrzehnten sollen etwa 4000 km Schweizer Fliessgewässer revitalisiert werden. Natürliche Gewässerstruktur sowie verlorengegangene Dynamiken und Längsnetzungen sollen so wiederhergestellt werden [3]. Dieses Ziel ist umso anspruchsvoller, wenn man die zahlreichen Nutzungen innerhalb vieler Schweizer Flusskorridore berücksichtigen muss, die zum Teil in Konflikt zueinander stehen können und somit vorsichtige Abwägungsprozesse erfordern. Neben dem steigenden Bedarf an Kulturland und der direkten Nutzung von Flussläufen für die Energiegewinnung sind dies insbesondere die grosse Anzahl der Trinkwassergewinnungsanlagen, die aufgrund der guten Ergiebigkeiten alluvialer Ablagerungen in Gewässernähe positioniert sind. (Bauliche) Veränderungen innerhalb des Flusskorridores könnten hier negative Auswir-

* Kontakt: mario.schirmer@eawag.ch

kungen auf die Grund- bzw. Trinkwasserqualität haben. Bereits 2004 wurde mit der «Wegleitung Grundwasserschutz» [4] die Anweisung herausgegeben, dass Revitalisierungen von Flussläufen in der Nähe von Trinkwasserfassungen nicht zugelassen sind. Diese Anweisung erfolgte im Zuge eines vorsorgenden Grundwasserschutzes. Wissenschaftliche Untersuchungen zur Oberflächenwasser-Grundwasser-Interaktion im Bereich von revitalisierten Flussläufen oder zu stofflichen Umsetzungen waren zu diesem Zeitpunkt jedoch kaum vorhanden. Vor diesem Hintergrund sollten innerhalb der nachfolgend vorgestellten interdisziplinären Forschungsprojekte *RECORD* und *RECORD Catchment* Wissenslücken im Zusammenhang mit Auswirkungen von Flussrevitalisierungen auf die aquatischen und terrestrischen Kompartimente der betroffenen Ökosysteme geschlossen werden. Ziel des vorliegenden Artikels ist es, eine Übersicht ausgewählter Ergebnisse und Erkenntnisse der Forschungsprojekte zu geben, um die Arbeiten einer breiteren Öffentlichkeit bekannt zu machen. Hierbei muss aufgrund der langjährigen und umfangreichen Arbeiten eine Fokussierung auf ausgewählte Teilaspekte erfolgen, denn als Ergebnis der beiden Forschungsprojekte *RECORD* und *RECORD Catchment* wurden insgesamt über 120 Fachpublikationen veröffentlicht, 23 Dissertationen zur Erlangung des Dokortitels erstellt und zahlreiche Master- und Bachelorabschlussarbeiten angefertigt. Eine Übersicht aller Publikationen aus beiden Projekten findet sich auf der Website der Hydrogeologie-Gruppe der Eawag (Abt. Wasserressourcen und Trinkwasser).¹

STANDORTBESCHREIBUNG

Untersuchungsgegenstand der beiden Forschungsprojekte war die Thur und ihr etwa 1700 km² grosses Einzugsgebiet in der Nordostschweiz (Fig. 1). Die Quelle der Thur liegt in den Appenzeller Alpen im Bereich des Säntis auf etwa 2500 m ü. M., bei Andelfingen ZH fliesst sie auf einer Höhe von etwa 340 m ü. M. dem Rhein zu. Besonderes Charakteristikum der Thur ist ihr dynamisches Abflussregime. Hat die Thur im Mittel einen Abfluss von etwa 50 m³/s und einen Ba-

sisabfluss von etwa 3 m³/s (Bafu-Station Andelfingen, Stations-ID 2044), so kann sie innerhalb von Stunden maximale Abflusswerte von bis 1100 m³/s erreichen. Dieses wildbachähnliche Abflussregime ist bedingt durch die Tatsache, dass die Thur auf ihrem etwa 130 km langen Weg durch das Einzugsgebiet keinerlei Seen durchströmt, die als Ausgleichsbecken dienen könnten.

Historisch hat die Thur zwei wesentliche wasserbauliche Eingriffe erlebt. Während der sogenannten 1. Thurkorrektur wurden ab etwa 1870 mittels künstlicher Durchbrüche enge Flussmäander durchschnitten, Dämme erhöht und Binnenkanäle gebaut. Die wasserbaulich eingegengte Thur floss nun nicht nur schneller, sondern grub sich in der Folge immer tiefer in das Flussbett ein. Ökomorphologische Defizite im korrigierten Thurkorridor sowie wiederkehrende, zum Teil verheerende Überflutungen führten schliesslich Ende der 1970er-Jahre zu einem Umdenken und die 2. Thurkorrektur wurde beschlossen. Die 2. Thurkorrektur sollte vornehmlich einem verbesserten Hochwasserschutz und somit dem Schutz des Menschen und

des Kulturlandes dienen, aber es sollte auch wieder eine natürliche Flussdynamik zugelassen werden, die dem Fluss nicht nur mehr Platz gibt, sondern die auch Lebensräume im und am Fluss aufwertet und ökologisch verträgliche Naherholungsgebiete schafft. Im Zuge der 2. Thurkorrektur erfolgte insbesondere die «Grosse Aufweitung» der Thur bei Niederneunforn TG/Altikon ZH, die im Jahre 2002 abgeschlossen wurde. Im Bereich der «Grossen Aufweitung» speist die Thur den Grundwasserleiter. Weiterhin kann der untersuchte Flussabschnitt in zwei Teilbereiche unterteilt werden: Oberstrom gibt es einen kanalisierten Abschnitt, wo sich auch ein Förderbrunnen namens «Inseli» befindet (Fig. 2), der Trinkwasser für die Gemeinde Neunforn TG produziert. Unterstrom gibt es einen revitalisierten Bereich, wo sich ein Auengebiet von nationaler Bedeutung befindet, das «Schäffäuli». Die Zielformulierung vor Durchführung der Revitalisierung in diesem Thurabschnitt sah vor, dass das «Schäffäuli» wieder an die Thur angebunden wird. Weiterhin sollte durch die Revitalisierung eine naturnahe Flussdynamik geschaffen werden,

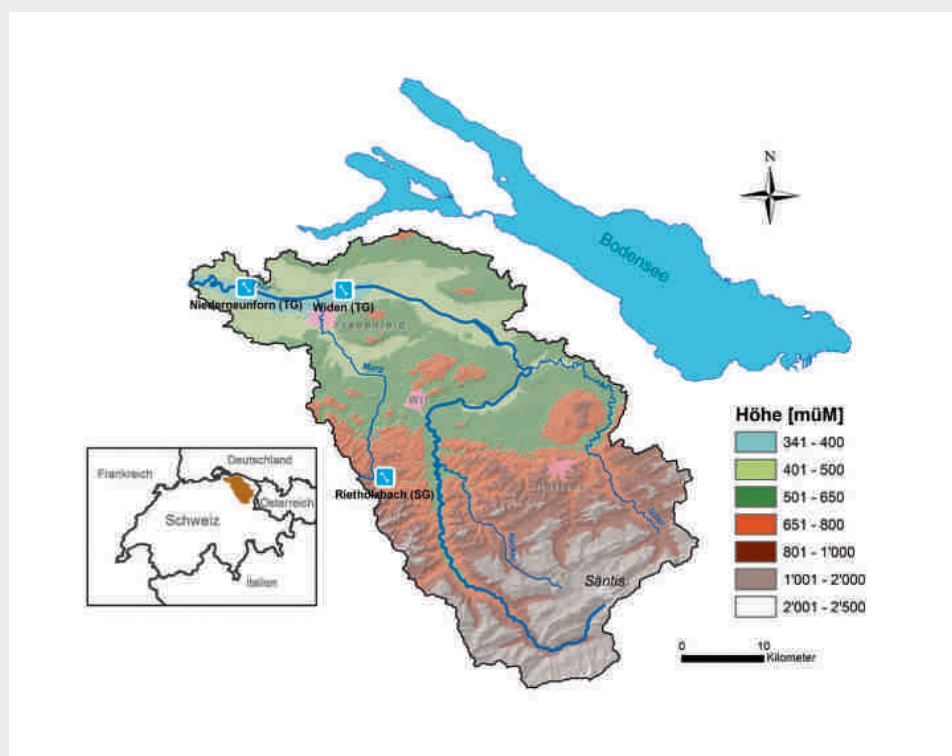


Fig. 1 Das Einzugsgebiet der Thur im Nordosten der Schweiz. Markiert sind die drei Fokus-Standorte in *RECORD* und *RECORD Catchment*: Rietholzbach (St. Gallen), Widen (Thurgau) und Niederneunforn (Thurgau)/Altikon (Zürich).

Le bassin versant de la Thur, au nord-est de la Suisse. Les trois principaux sites de *RECORD* et *RECORD Catchment* sont signalés: Rietholzbach (Saint-Gall), Widen (Thurgovie) et Niederneunforn (Thurgovie)/Altikon (Zurich).

¹ www.eawag.ch/abteilung/wut/schwerpunkte/hydrogeologie/

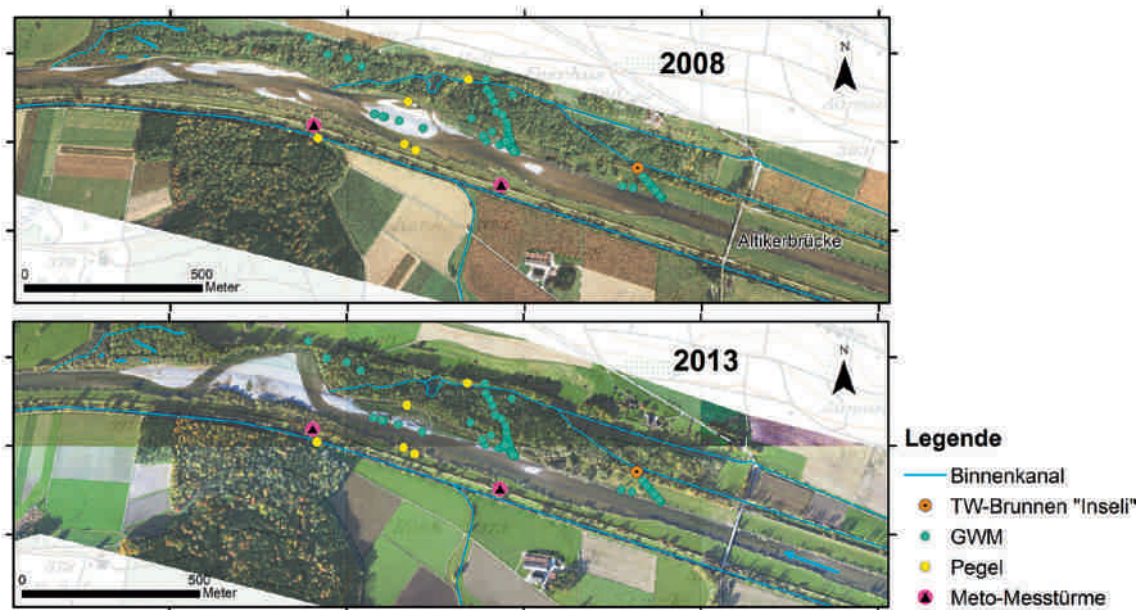


Fig. 2 Untersuchungsstandort Niederneunforn/Altikon mit Lage der Infrastruktur, die im Zuge der Projekte installiert wurde. Auffällig ist die Veränderung des Flusslaufes, der sich unterstromig (links im Bild) von einem eher vernetzten System mit kleineren Kiesbänken (oben, Stand 2008) zu einem klassischen Mäander entwickelte, bei dem vornehmlich zwei grosse Kiesbänke den Flussverlauf einfassen (unten, Stand 2013).

GWM: Grundwassermessstelle

(Orthophotos: BSF-Swissphoto im Auftrag des Amts für Umwelt Thurgau)

Site d'étude Niederneunforn/Altikon avec emplacement de l'infrastructure installée dans le cadre des projets. Il convient de remarquer la modification du cours de la rivière, évoluant en aval (à gauche sur l'illustration) d'un système plutôt en réseau avec de petits bancs de graviers (en haut, état de 2008) vers un méandre classique principalement bordé de deux grands bancs de graviers (en bas, état de 2013).

bei der der Fluss innerhalb eines zuvor definierten Raumes seinen Weg selber suchen kann.

UNTERSUCHUNGSSCHWERPUNKTE DER FORSCHUNGSPROJEKTE

Als im Jahre 2007 der Startschuss zum Projekt *RECORD* – Akronym für *REstored CORridor Dynamics*, deutsch: Dynamiken innerhalb eines revitalisierten Flusskorridors (Projektdauer: 2007–2011) – erfolgte, lagen die Arbeiten zur Revitalisierung der Thur im Bereich Niederneunforn/Altikon bereits fünf Jahre zurück. Dennoch war das Ziel des Projektes, die Auswirkungen von Flussrevitalisierungen und – wenn möglich – die Quantifizierung relevanter Prozesse im Zusammenhang mit Grundwasser-Oberflächenwasser-Interaktionen zu identifizieren. Da eine Vorher-Nachher-Betrachtung des revitalisierten Flussabschnittes nicht möglich war, erfolgten zahlreiche Untersuchungen im Vergleich zu einem kanalisiertem Abschnitt etwa 1000 m oberstrom des revitalisierten Abschnitts im Bereich des bereits erwähnten Pumpwerks «Inseli» (Fig. 2). Die wis-

senschaftlichen Arbeiten behandelten dabei Themen wie die Heterogenität und Dynamik des Stickstoffkreislaufs in Auenböden, die Effektivität des mikrobiellen Abbaus von Mikroverunreinigungen bei der Flusswasserinfiltration (weitere Informationen zu diesen beiden Themen s. «Ausgewählte Ergebnisse»), die Dynamiken der Sauerstoffkonzentrationen im Oberflächen- und Grundwasser und deren Modellierung (u.a. [5, 6]), aber auch die Entwicklung von Methoden zur Ermittlung von hydraulischen Untergrundeigenschaften (u.a. [7, 8]) oder die Verwendung natürlicher Markierstoffe zur Bestimmung der Verweilzeiten von infiltrierendem Oberflächenwasser (u.a. [8, 9]). Ein weiterer Schwerpunkt lag auf der Ermittlung der Dynamik des Flussbettes und des Einflusses der Vegetation auf die Stabilität von Kiesbänken (u.a. [10, 11]) sowie der Bestimmung der Biodiversität terrestrischer Organismen im revitalisierten Flusskorridor (u.a. [12–14]). Im Nachfolgeprojekt *RECORD Catchment* (Projektdauer: 2012–2017) waren die oben genannten Forschungsthemen auch weiterhin Teil der wissenschaftlichen Ar-

beiten (u.a. [15]). Zusätzlich wurde jedoch auch der Einzugsgebietsmassstab betrachtet. Es wurden analytische Modelle entwickelt, die es ermöglichen, Abflusscharakteristiken der Thur auch für Orte abzuschätzen, an denen keinerlei weitere Informationen vorliegen als die Geländetopografie und ausgewählte Klimaparameter (u.a. [16, 17]). Diese analytischen Modelle können der Validierung numerischer Simulationen dienen, aber auch bei der Bemessung von Wasserkraftanlagen unterstützend eingesetzt werden. Ein integraler Bestandteil der zweiten Phase war zudem eine studentische Fallstudie der ETH Zürich, bei der unter anderem auch die Wahrnehmung der Bevölkerung zur «Grossen Aufweitung» untersucht wurde.

AUSGEWÄHLTE ERGEBNISSE

AUENBÖDEN ALS FILTER FÜR TRINKWASSER

Flussauen sind ein natürlicher Bestandteil von Flusskorridoren im Talraum, die sich infolge der Abflussdynamiken bei Hochwasser und den damit verbundenen flussmorphologischen Prozessen bilden

[18, 19]. Sie bieten dem Fluss im Fall von Hochwasser nicht nur Platz und stellen somit natürliche Retentionsbereiche dar, sondern beheimaten eine umfangreiche Flora und Fauna. Aufgrund der zahlreichen wasserbaulichen Massnahmen wurden viele Auen im Mittelland jedoch vom Fluss abgetrennt. Auch das «Schäffäuli» bei Niederneunforn war infolge der Kanalisierung von der Thur quasi isoliert. Ein Ziel der «Grossen Aufweitung» im relevanten Abschnitt war die Wiederanbindung des «Schäffäuli» an die Thur. Dieses Ziel wurde mit Erfolg umgesetzt und das «Schäffäuli» wird heute in regelmässigen Abständen ab einer Abflusshöhe der Thur von über 550 m³/s (Höhe Altikerbrücke, Fig. 1) überschwemmt (Fig. 3 und 4). Durch die periodisch wiederkehrenden und in ihrer Intensität variablen Überschwemmungen kehrte eine Habitatvielfalt innerhalb des «Schäffäuli» zurück, die sich in unterschiedlichem Alter, Überflutungsregime und Bodeneigenschaften äussert [20].

Es wurden nun sowohl im kanalisierten als auch im revitalisierten Abschnitt des Thur-Korridors bei Niederneunforn die Eigenschaften der Auenböden und ihre Rolle als Filter für flussnahes Grundwasser untersucht (u.a. [20]). Grundsätzlich werden mikrobielle Umsetzungen in den revitalisierten Abschnitten sowohl durch physikalisch-chemische Bodeneigenschaften als auch durch Störungen wegen Überflutungen beeinflusst. Im revitalisierten Abschnitt haben sich

aufgrund dieser unterschiedlichen Sedimentationsbedingungen ausgeprägte Korngrössen-Gradienten von lehmigem Sand auf den Kiesbänken bis zu siltigem

Lehm im Auenwald entwickelt. Die Untersuchungen ergaben, dass bei tiefem Grundwasserstand in der ungesättigten Zone der nährstoffreichen Böden örtlich

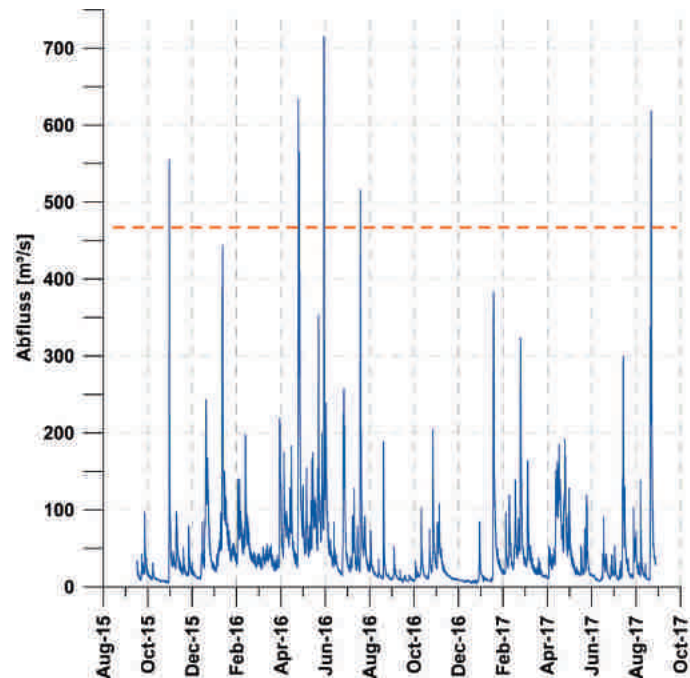


Fig. 3 Abflussganglinie der Thur zwischen September 2015 und August 2017. Gestrichelte rote Linie: Abflusshöhe von > 550 m³/s, bei der das «Schäffäuli» überschwemmt wird; Abflussmessungen des AfU Thurgau auf Höhe der Altikerbrücke.

Courbe d'écoulement de la Thur entre septembre 2015 et août 2017. Ligne rouge en pointillés: débit > 550 m³/s, avec lequel le cours d'eau «Schäffäuli» est inondé; mesures d'écoulement réalisées par l'office de l'environnement (TG) à hauteur du pont «Altikerbrücke».



Fig. 4 Aufnahmen der Oberstrom installierten Webcam (rechter Meteorturm; Lage s. Fig. 2; Blickrichtung von der linken Uferseite auf die rechte Uferseite Richtung «Schäffäuli»). Links: Aufnahme vom 19.11.2015; Abflusshöhe an der Altikerbrücke: 6 m³/s; rechts: Aufnahme vom 21.11.2015; Abflusshöhe an der Altikerbrücke: 554 m³/s.

Prises de vue de la webcam installée en amont (tour météo de droite; emplacement voir Fig. 2; direction du regard de la rive de gauche vers la rive de droite en direction de «Schäffäuli»). À gauche: prise de vue du 19.11.2015; débit au niveau du pont «Altikerbrücke»: 6 m³/s; à droite: prise de vue du 21.11.2015; débit au niveau du pont «Altikerbrücke»: 554 m³/s.

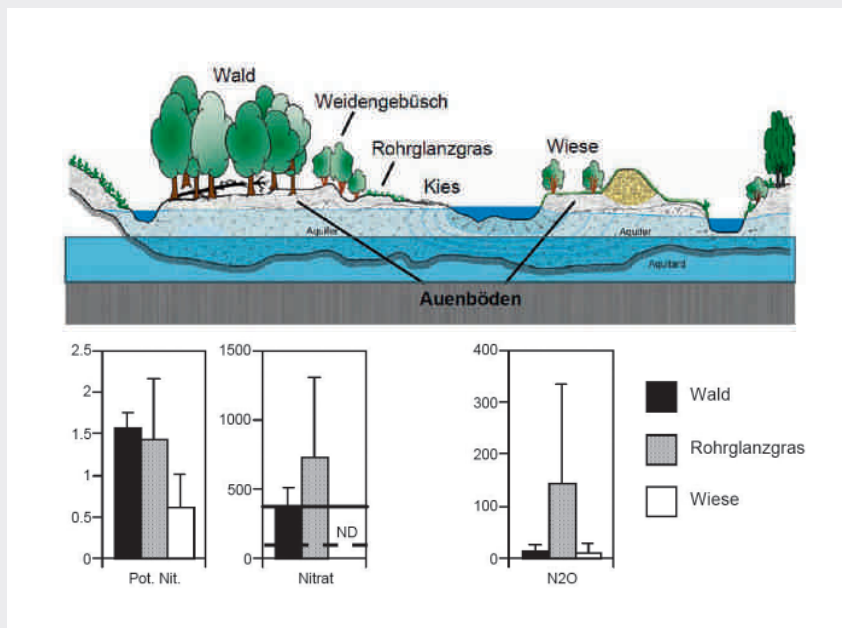


Fig. 5 Oben: Querschnitt durch den Thurkorridor bei Niederneunforn/Altikon mit verschiedenen Bereichen im revitalisierten Abschnitt (links) und Dammvorland mit Wiese (rechts), welche charakteristisch für kanalisierte Flussabschnitte ist (aus [20]). Unten: Stickstoff-Parameter im Oberboden verschiedener Bereiche der Thuraue bei Niederneunforn am 4.8.2009 (kurz nach Hochwasser, das alle Bereiche überflutete): Potenzielle Nitrifikation [$\mu\text{g N h}^{-1} \text{g}^{-1}$]; Nitrat in der Bodenlösung [$\mu\text{mol/l}$]; ausgezogene Linie: Trinkwasser-Grenzwert; gestrichelte Linie: mittlere Konzentration im Fluss; Lachgas-Emission [$\mu\text{mol m}^{-2} \text{Tag}^{-1}$] (aus [20], verändert).

En haut: section transversale à travers le corridor de la Thur, près de Niederneunforn/Altikon, avec différentes zones dans la section revitalisée (à gauche) au niveau des contreforts de la digue avec prairie (à droite), caractéristique des sections de cours d'eau canalisées (de [20]). En bas: paramètres d'azote dans la terre végétale de différentes zones alluviales de la Thur près de Niederneunforn le 04.08.2009 (juste après une crue ayant inondé toutes les zones): nitrification potentielle [$\mu\text{g N h}^{-1} \text{g}^{-1}$]; nitrate dans la solution du sol [$\mu\text{mol/l}$]; ligne continue: valeur seuil eau potable; ligne en pointillés: concentration moyenne dans le cours d'eau; émission de protoxyde d'azote [$\mu\text{mol m}^{-2} \text{jour}^{-1}$] (de [20], modifié).

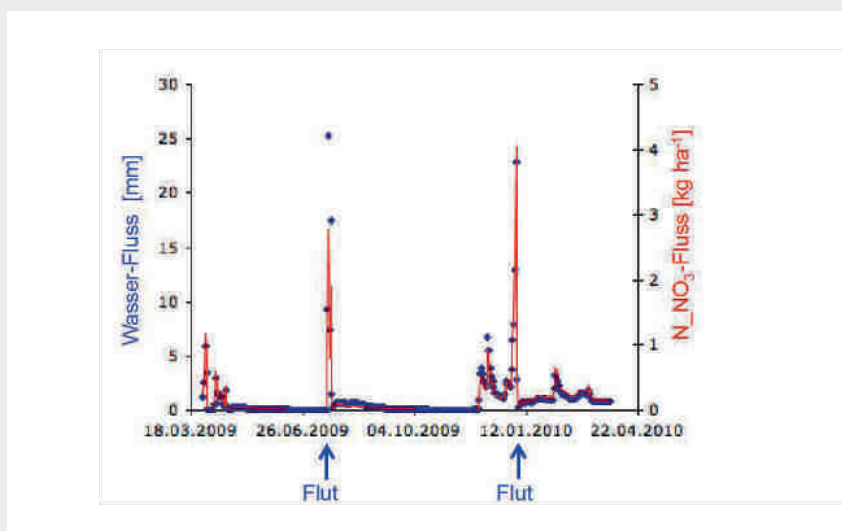


Fig. 6 Auswaschung von Nitrat ins Grundwasser, berechnet aus modelliertem Wasserfluss und gemessenen Nitrat-Konzentrationen in der Bodenlösung, beides in 100 cm Tiefe; Nitrat-daten aus [21].

Lessivage de nitrate dans les nappes phréatiques, calculé à partir du flux d'eau modélisé (en bleu) et des concentrations de nitrate mesurées (en rouge) dans la solution du sol, tous deux à 100 cm de profondeur; données de nitrate de [21].

viel Nitrat produziert wird. Dies wird durch eine hohe Nitrifikation und durch lokal hohe Nitratkonzentrationen in der Bodenlösung angezeigt (Fig. 5, aus [20]). Dem stehen lokal und temporär vor allem während der Trocknungsphase nach Überflutungen hohe Lachgasemissionen gegenüber, die einen Hinweis auf Denitrifikations-Hotspots geben.

Die hohe Nitratproduktion in den Auenböden kann zeitweise zu einer starken Auswaschung von Nitrat ins Grundwasser führen. Modellrechnungen zeigen, dass dies vor allem nach Überflutungen (Ausspülen von akkumuliertem Nitrat) und im Winter (weitgehend fehlende Nährstoffaufnahme durch Pflanzen und Mikroorganismen) geschieht (Fig. 6).

Diese stark heterogene und teilweise negative Filterwirkung der Böden bezüglich Nitrat ist eher ungünstig für die Gewinnung von Trinkwasser aus flussnahen Grundwasserleitern. Zusammen mit den variablen, teilweise sehr raschen Grundwasser-Fließgeschwindigkeiten [22] bedeutet dies, dass die Grundwasserqualität in revitalisierten Flussauen im Gegensatz zu homogenen, kanalisierten Abschnitten schwer vorhersehbar ist [20]. Daraus liess sich schlussfolgern, dass zumindest in Flussauen, die aus frisch abgelagerten Sedimenten aus ehemaligen, gut gedüngten Landwirtschaftsböden bestehen – wie bei der Thur – ein Verbot einer Revitalisierung in der Nähe einer Trinkwasserfassung sinnvoll sein kann [20].

EFFIZIENZ DES MIKROBIELLEN ABBAUS VON SPURENSTOFFEN

Aufgrund der hohen Ergiebigkeiten liegen Trinkwasserfassungen oft in Fluss-tälern bzw. in der Nähe von Flussläufen, da hier ein bedeutender Anteil des entnommenen Grundwassers durch Infiltration von Oberflächenwasser nachgeliefert wird [23]. Das sogenannte Uferfiltrat ist vielfach wegen der im Untergrund stattfindenden natürlichen Reinigung (u. a. Filtration, mikrobieller Abbau, Sorption) direkt nutzbar und kann ohne Aufbereitung ins Verteilernetz gespeist werden. Gleichwohl finden sich sogenannte Mikroverunreinigungen im Oberflächen- und teilweise auch im Grundwasser, die diffus über die Landwirtschaft (z. B. Pflanzenschutzmittel) oder punktuell über die Abwassereinigungsanlagen (z. B. Humanpharmaka, Biozide) in das aquatische System eingetragen werden. Ziel der nachfolgend zitierten Studie war es, die

Effektivität des mikrobiellen Abbaus von Mikroverunreinigungen bei der Infiltration von Flusswasser in den Grundwasserleiter zu untersuchen [24]. Es wurden Probennahmen der Thur und flussnaher Grundwassermessstellen durchgeführt, wobei die Grundwassermessstellen sowohl im revitalisierten als auch im kanalisierten Abschnitt positioniert waren. Die Proben wurden auf ausgewählte Mikroverunreinigungen analysiert. *Figur 7* zeigt die Abflussganglinie der Thur im Versuchszeitraum sowie die Analysergebnisse für das Herbizid MCPA (2-Methyl-4-chlorphenoxyessigsäure; *Fig. 7B*) und das Pharmazeutikum Carbamazepin (*Fig. 7C*) (weitere Versuchsergebnisse s. [24]).

Das Ansteigen der Herbizid-Konzentration (*Fig. 7B*) mit steigendem Abfluss der Thur lässt sich auf Oberflächenabfluss von landwirtschaftlichen Flächen bei stärkeren Niederschlägen zurückführen, die zu einer Maximalkonzentration in der Thur von etwa 680 ng/l führten. Mit abnehmender Abflusshöhe nahmen die Konzentrationen des Herbizids durch Verdünnung wieder ab. Die MCPA-Konzentrationen, die im Grundwasser nachgewiesen wurden, bewegten sich dagegen nur an wenigen Stellen oberhalb der Bestimmungsgrenze, und der durchgeführte Versuch bestätigte, dass MCPA – insbesondere unter aeroben Bedingungen, wie sie bei einer Flusswasserinfiltration in der Schweiz meist vorliegen – sehr gut mikrobiell umgesetzt wird.

Ein anderes Bild ergaben dagegen die Analysergebnisse für das bekannterweise schlecht mikrobiell abbaubare Pharmazeutikum Carbamazepin. Im Gegensatz zum Herbizid wird das Pharmazeutikum punktuell über die Auslässe der Abwasserreinigungsanlagen in die Gewässer eingetragen. Bei einem Niederschlagsereignis werden diese Konzentrationen im Oberflächengewässer verdünnt und in der Folge ist eine Abnahme der Carbamazepin-Konzentration in der Thur feststellbar, die nach Durchgang des Abflussscheitels wieder allmählich ansteigt (*Fig. 7C*). Anders als das Herbizid konnte Carbamazepin aufgrund seiner Persistenz in allen Grundwasserproben deutlich oberhalb der Bestimmungsgrenze nachgewiesen werden. Bezüglich der mikrobiellen Reinigungsleistung im revitalisierten und kanalisierten Flussabschnitt weisen die oben gezeigten Ergebnisse keine klaren Unterschiede auf.

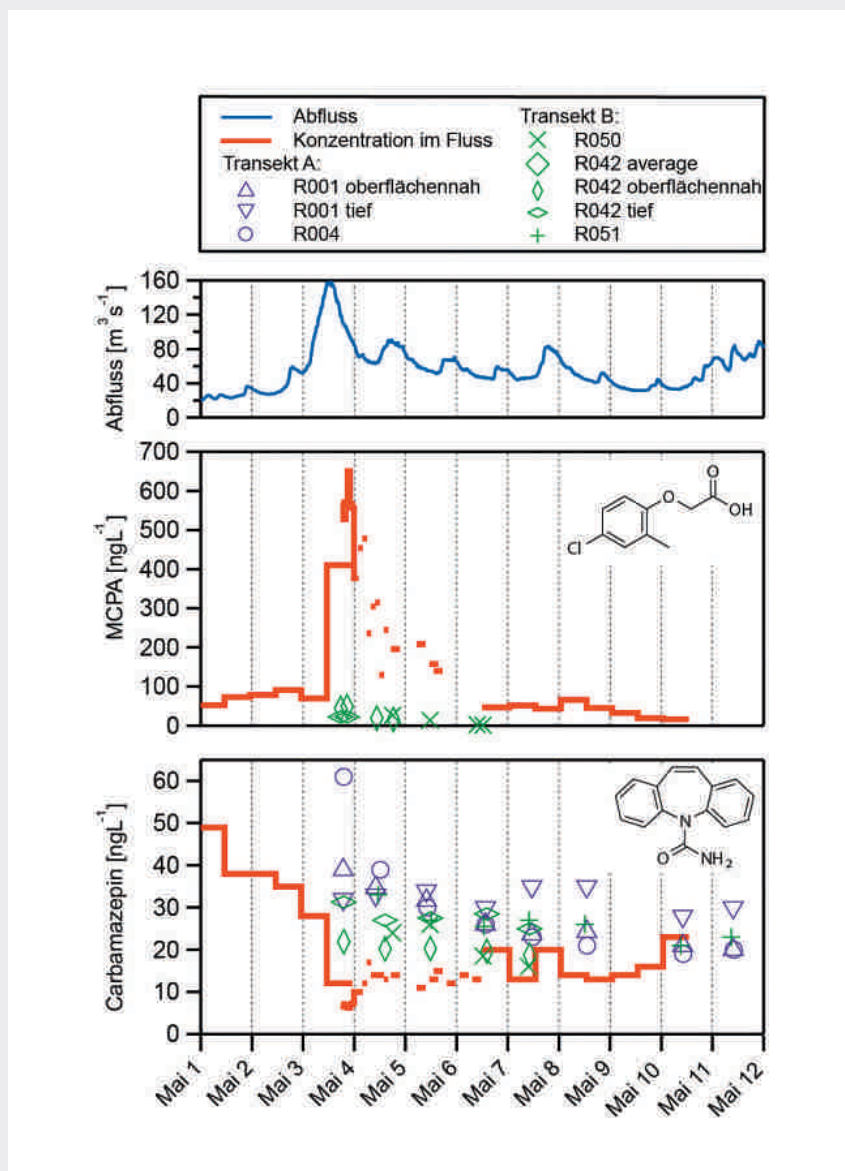


Fig. 7 Stoffkonzentrationen der Thur (rote Linien) und von flussnahen (max. 20 m Entfernung) Grundwassermessstellen vor, während und nach einem Abflussereignis. Oben: Abflussganglinie der Thur für den Beprobungszeitraum vom 1.5. bis 12.5.2012; Mitte: Konzentrationen des Herbizids MCPA; unten: Konzentrationen des Pharmazeutikums Carbamazepin. Transekt A (lila-farbene Datenpunkte): kanalisierte Thur-Abschnitt; Transekt B (grüne Datenpunkte): revitalisierte Thur-Abschnitt (aus [24], verändert).

Concentrations de substances de la Thur (lignes rouges) et des stations de mesure des nappes phréatiques proches de la rivière (max. 20 m de distance) avant, pendant et après un écoulement. A: Courbe d'évolution de l'écoulement de la Thur pour la durée d'échantillonnage du 01.05.2012 au 12.05.2012; B: Concentration de l'herbicide MCPA; C: Concentration du produit pharmaceutique carbamazépine. Transekt A (violet): section canalisée de la Thur; Transekt B (vert): section revitalisée de la Thur (de [24], modifié).

Weitere Versuche innerhalb der Studie [24] legen jedoch nahe, dass die mikrobielle Reinigungsleistung in revitalisierten Flussabschnitten bei einer Flusswasserinfiltration höher sein kann als in kanalisierten Bereichen. Es wird vermutet, dass dies auf die räumliche Heterogenität zurückzuführen ist, die in revitalisierten Bereichen festzustellen ist, welche potenziell zu einer erhöhten Diversität spezi-

alisierter, schadstoffabbauender Mikroorganismen führt [24]. Eine Validierung dieser Hypothese steht jedoch noch aus, da sie im Feld mit so vielen verschiedenen Einflussfaktoren schwierig zu verifizieren ist.

ÖFFENTLICHE WAHRNEHMUNG DER FLUSS-REVITALISIERUNG IM BEREICH SCHÄFFÄULI
Neben naturwissenschaftlichen Arbeiten

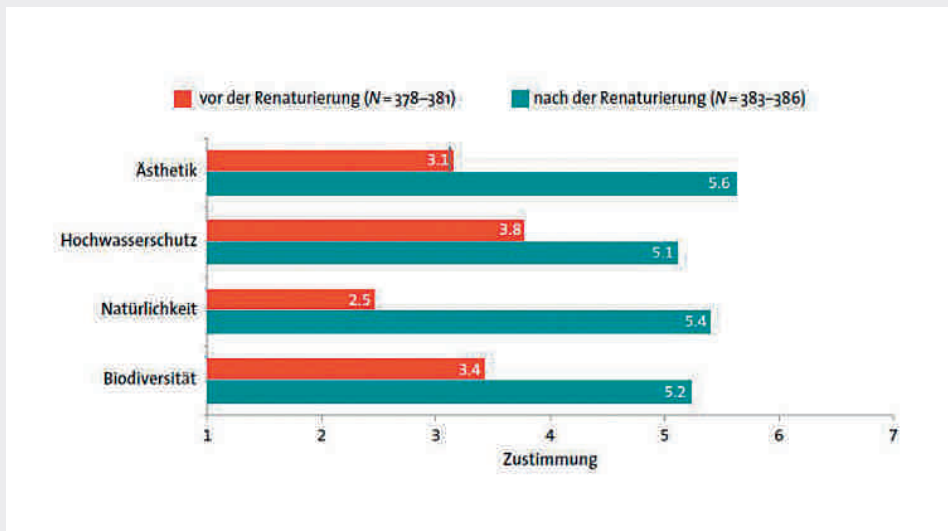


Fig. 8 Einschätzung der Situation vor bzw. nach der Revitalisierung der Thur (Mittelwerte, die Skala reicht von 1 für «stimme überhaupt nicht zu» bis 7 für «stimme völlig zu») (aus [25]).

Évaluation de la situation avant (rouge) et après (bleu) la revitalisation de la Thur (valeurs moyennes, l'échelle va de 1 pour «pas du tout d'accord» à 7 pour «tout à fait d'accord») (de [25]).

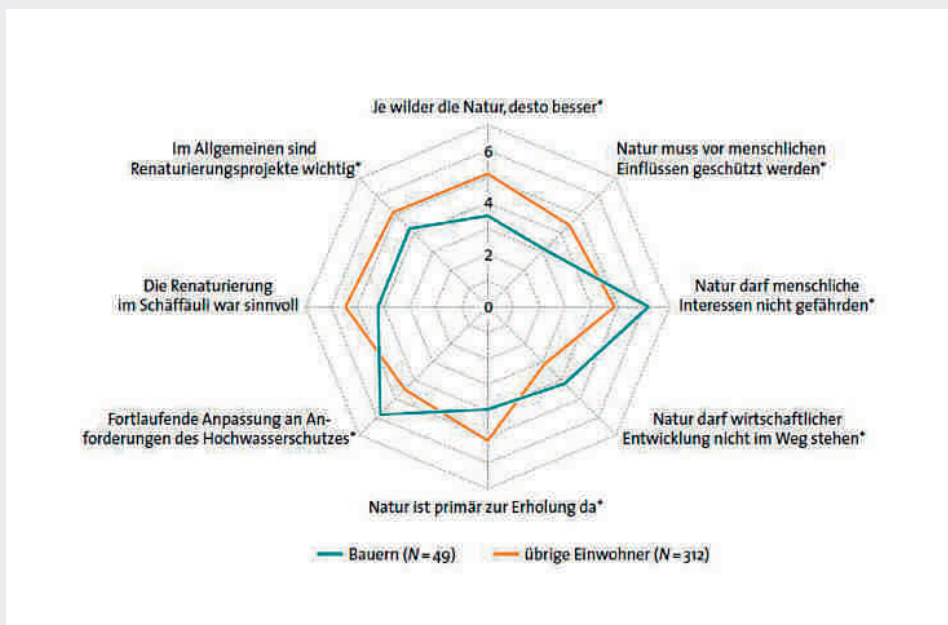


Fig. 9 Mittelwerte für die Gruppen «Bauern» und «übrige Einwohner» für sieben verschiedene, hauptsächlich auf die Natur bezogene Fragen und Aussagen aus dem Fragebogen; Bewertung von 1 («stimme überhaupt nicht zu») bis 7 («stimme völlig zu»). Sämtliche mit einem * markierten Aussagen sind statistisch signifikant (aus [25]).

Valeurs moyennes pour les groupes «Paysans» (bleu) et «autres habitants» (orange) pour sept questions et affirmations différentes du questionnaire portant principalement sur la nature; évaluation de 1 («pas du tout d'accord») à 7 («tout à fait d'accord»). Toutes les affirmations marquées d'un * sont statistiquement significatives (de [25]).

erfolgte in den Projekten auch die Bearbeitung sozialwissenschaftlicher Aspekte. So wurde unter anderem innerhalb einer studentischen Fallstudie der ETH Zürich untersucht, wie die Revitalisierung der Thur von den Bewohnern in den umliegenden Gemeinden Altikon und Thalheim (beide Kanton Zürich) sowie Neunforn (Kanton Thurgau) wahrgenommen wird [25]. Um

die öffentliche Wahrnehmung der Flussrevitalisierung im «Schöffäuli» zu erfassen, wurde ein Fragebogen mit insgesamt 58 Fragen entwickelt. Es wurden 1000 Fragebögen versendet, wovon 40% zurückgeschickt wurden und auch auswertbar waren. Insgesamt war das Meinungsbild positiv gegenüber der Revitalisierung und aus Sicht der Gemeindebewohner hat sich

die Ästhetik, der Hochwasserschutz, die Biodiversität als auch die Nähe des Gebietes hin zu einem natürlicheren, vom Menschen wenig beeinflussten Zustand deutlich verbessert (Fig. 8, aus [25]).

Der Vergleich zwischen «Bauern» und «übrigen Einwohnern» ergab ein paar bemerkenswerte Unterschiede (vgl. Fig. 9). Es zeigte sich, dass Bauern grundsätzlich den Wert der Natur anerkennen und sie für schützenswert halten, allerdings nur, solange wirtschaftliche Interessen nicht gefährdet werden bzw. finanzielle Anreize bestehen (z.B. Direktzahlungen für ökologische Ausgleichsflächen) [25]. Die übrigen Einwohner schätzten Renaturierungsprojekte als wichtiger als die Bauern ein und wollten auch eher eine wilde Natur, die vor menschlichen Einflüssen geschützt ist. Abschliessend wird in der Studie geschlossen, dass sich die Qualität des Wohn- und Lebensraumes durch die Revitalisierung des «Schöffäuli» verbessert und sich zudem die Furcht vor Überschwemmungen reduziert hat [25]. Negativ wurde von der Bevölkerung gesehen, dass es keine wirkliche Vorher-Nachher-Betrachtung gab, da keine Situationsanalyse des «Vor-Revitalisierungs-Zustands» vorlag. Insbesondere in Bezug auf eine Erfolgsbewertung einer Revitalisierungsmassnahme ist eine vorgängige Situationsanalyse notwendig und wurde bzw. wird in nachfolgenden Revitalisierungsprojekten im Kanton Thurgau auch umgesetzt.

ZUSAMMENFASSUNG UND DISKUSSION

Flussrevitalisierungen erfolgen im Spannungsfeld verschiedener Nutzungen wie der Landwirtschaft, der Forstwirtschaft, aber vor allem auch der Trinkwassergewinnung (insbesondere im Bereich der Talgrundwasserleiter des Mittellands). Um diesen unterschiedlichen Nutzungen und den hieraus resultierenden Interessen gerecht zu werden, ist es notwendig, ein möglichst umfassendes Verständnis der (Aus-)Wirkungen von Flussrevitalisierungen zu entwickeln. Nur hierdurch kann eine nachhaltige Planung und Umsetzung weiterer Revitalisierungsprojekte erfolgen. Die beiden Forschungsprojekte *RECORD* und *RECORD Catchment* untersuchten zwischen 2007 und 2017 solche (Aus-)Wirkungen, unter anderem im Bereich der «Grossen Aufweitung» im Bereich Niederneunforn/Altikon. Die

Ziele, eine Wiederanbindung des «Schäffäuli» Auenwaldes an die Thur als auch die Schaffung eines Flussraumes mit naturnaher Dynamik, wurden erreicht. Das «Schäffäuli» wird in regelmässigen Abständen überschwemmt und neue, kleinräumige Habitate entstanden, welche mit einer deutlich höheren Biodiversität einhergehen. Die Thur selbst weist im ihr zugestandenem Gewässerraum im Bereich der «Grossen Aufweitung» bei Niederneunforn mittlerweile einen mäandrierenden Charakter auf. Mächtige bewachsene Kiesbänke haben sich etabliert, die auch einer Hochwasserwelle widerstehen können. Zudem ermöglichen sie, dass geschützte Tiere wie der Flussregenpfeifer neue Lebensräume erobern. Auch die Bevölkerung schätzt die Revitalisierung deutlich positiv ein, es wurde ein Ort mit verbesserter Aufenthaltsqualität geschaffen. Im Hinblick auf Auswirkungen der Revitalisierung auf das Grundwasser ergaben sich im Zuge der Forschungsprojekte zwar Hinweise, dass in revitalisierten Abschnitten der mikrobielle Abbau von im Oberflächenwasser befindlichen Mikroverunreinigungen bei der Flusswasserinfiltration höher ist als in kanalisierten Abschnitten. Jedoch führt die Habitatheterogenität im Bereich des «Schäffäuli» gleichzeitig auch zu räumlich und zeitlich variablen Stickstoff-Umsetzungsprozessen (Nitrifikation, Denitrifikation). Berücksichtigt man zudem die teilweise sehr raschen Grundwasser-Fließgeschwindigkeiten in diesem Bereich, lässt sich die Grundwasserqualität nur schwer vorhersehen.

VERDANKUNG

Die Projekte *RECORD* und *RECORD Catchment* wurden durch das *Competence Center Environment and Sustainability* (CCES) massgeblich finanziert. Ein besonderer Dank geht hier an René Schwarzenbach, Nikolaus Gotsch und das CCES-Team. Weitere finanzielle Unterstützung erfolgte durch die ETH-Einrichtungen Eawag, WSL, ETHZ, EPFL, das Bundesamt für Umwelt sowie weitere Drittmittel. Allen an den Projekten Beteiligten gebührt Dank für die umfangreiche Unterstützung. Ohne die zahlreichen Studenten, Techniker, Amtskollegen vom AfU (TG) und AWEL (ZH) hätten die Projekte nicht so erfolgreich abgeschlossen werden können.

WISSENSCHAFTLICHE PUBLIKATIONEN ZU DEN FORSCHUNGSPROJEKTEN

In der Bibliographie ist die im Text genannte Literatur aufgeführt. Eine vollständige Liste aller wissenschaftlichen Publikationen aus den beiden Forschungsprojekten sind der Webseite der Hydrogeologie-Forschungsgruppe der Eawag zu entnehmen:

www.eawag.ch/abteilung/wut/schwerpunkte/hydrogeologie/

Gerne stehen die Autoren Interessierten direkt für die Beantwortung von Fragen zur Verfügung. Im Zuge der Projekte wurden auch mehrere *Aqua & Gas*-Artikel publiziert. Insbesondere auf [17] sei an dieser Stelle hingewiesen (Übersicht zum Projekt *RECORD*).

Nach aktuellem Wissensstand ist aufgrund dieser bislang nur bedingt prognostizierbaren Auswirkungen auf das Grundwasser eine Trinkwassergewinnung in revitalisierten (Auen-)Bereichen, die regelmässig überschwemmt werden, nicht anzuraten. Derzeit finden sich Flussrevitalisierungen an einzelnen, diskreten Flussabschnitten. Auch wenn noch Fragen offen sind – insbesondere auch zur langfristigen Entwicklung von revitalisierten Standorten –, zeigen die Forschungsergebnisse insgesamt den grundsätzlich positiven Effekt von Flussrevitalisierungen auf Flora, Fauna und das aquatische System auf. Diese Effekte sind jedoch lokal, eine (positive) Beeinflussung des Flusskorridors unterstromig lässt sich kaum nachweisen. Hierfür sind die revitalisierten Abschnitte im Vergleich zu den verbauten Abschnitten zu kurz. Es stellt sich allerdings die Frage, was passiert, wenn mehrere grössere Revitalisierungsprojekte innerhalb eines Flusskorridores umgesetzt werden. Aufgrund des dann für den Fluss vorhandenen grösseren Platzes würden Hochwasserspitzen noch effektiver gedämpft werden können. Hiervon unabhängig ist davon auszugehen, dass natürliche bzw. naturnah revitalisierte Gewässer eine höhere Infiltrationsleistung in Richtung des Grundwassers aufweisen als dies bei kanalisierten Abschnitten der Fall ist [26] und somit die Grundwasser-Oberflächenwasser-Interaktion langfristig erhöht wird. Vor dem Hintergrund, dass in den nächsten Dekaden etwa 4000 km Schweizer Flüsse revitalisiert werden sollen, ist es eine wesentliche Aufgabe für die Zukunft, die in der Schweiz grundsätzlich gute Oberflächenwasserqualität weiter zu verbessern, um die wichtigste Trinkwasserressource – das Grundwasser – langfristig zu schützen.

BIBLIOGRAPHIE

[1] Gewässerschutzverordnung (GSchV), Änderung vom 04.05.2011

- [2] Schaffner, M.; Pfändler, M.; Göggel, W. (2013): *Fließgewässertypisierung der Schweiz – Eine Grundlage für Gewässerbeurteilung und -entwicklung*. Bundesamt für Umwelt, Bern; Umwelt-Wissen Nr. 1329, 63 S.
- [3] Bammatter, L. et al. (2015): *Renaturierung der Schweizer Gewässer – Die Sanierungspläne der Kantone ab 2015*. Bundesamt für Umwelt, Ittigen, 13 S.
- [4] BUWAL (2004): *Wegleitung Grundwasserschutz*. Vollzug Umwelt, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern, 141 S.
- [5] Hayashi, M. et al. (2012): *Diurnal fluctuations of electrical conductivity in a pre-alpine river: Effects of photosynthesis and groundwater exchange*. *Journal of Hydrology*, Nr. 450–451, S. 93–104
- [6] Diem, S.; Cirpka, O. A.; Schirmer, M. (2013): *Modeling the dynamics of oxygen consumption upon riverbank filtration by a stochastic-convective approach*. *Journal of Hydrology*, Vol. 505, S. 352–363
- [7] Somogyvári, M.; Bayer, P.; Brauchler, R. (2016): *Travel time based thermal tracer tomography*. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, Nr. 20, S. 1885–1901
- [8] Cirpka, O. A. et al. (2007): *Analyzing bank filtration by deconvoluting time series of electric conductivity*. *Ground Water*, Vol. 45, Nr. 3, S. 318–328
- [9] Vogt, T.; Schirmer, M.; Cirpka, O. A. (2012): *Investigating riparian groundwater flow close to a losing river using diurnal temperature oscillations at high vertical resolution*. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, Nr. 16, S. 473–487
- [10] Gorla, L. et al. (2015): *Effects of hydropeaking waves offsets on growth performances of juvenile Salix species*. *Ecol. Engineering*, Nr. 77, S. 297–306
- [11] Pasquale, N. et al. (2011): *Modern comprehensive approach to monitor the morphodynamic evolution of a restored river corridor*. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, Vol. 15, Nr. 4, S. 1197–1212
- [12] Bullinger-Weber, G. et al. (2014): *Carbon storage and organic matter stabilisation in near-natural, restored and embanked Swiss floodplains*. *Geoderma, Special issue: Wetland, paddy and floodplain*, Nr. 28, S. 122–131
- [13] Samaritani, E. et al. (2011): *Heterogeneity of soil carbon pools and fluxes in a channelized and a restored floodplain section (Thur River, Switzerland)*. *Hydr. Earth Syst. Sci.*, Vol. 15, S. 1757–1769
- [14] Fournier, B. et al. (2012): *Toward the use of testate amoeba functional traits as indicator of floodplain*

- restoration success. *European Journal of Soil Biology*, Nr. 49, S. 85–91
- [15] Liernur, A. et al. (2017): Coupling X-ray computed tomography and freeze-coring for the analysis of fine-grained low-cohesive soils. *Geoderma*, Nr. 308, S. 171–186
- [16] Basso, S.; Schirmer, M.; Botter, G. (2016): A physically based analytical model of flood frequency curves. *Geophys. Res. Lett.*, Nr. 43, S. 9070–9076
- [17] Doulatyari, B. et al. (2017): Patterns of streamflow regimes along the river network: The case of the Thur river. *Environmental Modelling & Software*, Nr. 93, S. 42–58
- [18] Schirmer, M. (2013): Das RECORD-Projekt – Flussrevitalisierung, eine ökologische Massnahme in einem komplexen Umfeld. *Aqua & Gas*, Nr. 3, S. 22–28
- [19] Schenker, A.; Zumsteg, M. (2001): Flussskorridore und Auenstrukturen im schweizerischen Mittelland (nördliches Alpenvorland). *Schweiz. Z. Forstwes.*, 152 (9), S. 394–399
- [20] Luster, J. et al. (2011): Auenböden als Filter für Trinkwasser: Erkenntnisse aus kanalisierten und revitalisierten Abschnitten der Thur. *Bulletin BGS*, Nr. 32, S. 53–56
- [21] Huber, B. (2012): Nitrate leaching from short-hydroperiod floodplain soils. *Biogeosciences*, Nr. 9, S. 4385–4397
- [22] Vogt, T. et al. (2010): Fluctuations of electrical conductivity as a natural tracer for bank filtration in a losing stream. *Advances in Water Resources*, Nr. 33, S. 1296–1308
- [23] Cirpka, O. A.; Höhn, E. (2008): Flussrevitalisierung und Grundwasserschutz. *Eawag News*, Nr. 65, S. 12–15
- [24] Huntscha, S. et al. (2013): Degradation of polar organic micropollutants during riverbank filtration: Complementary results from spatiotemporal sampling and push-pull tests. *Environmental Science & Technology*, Nr. 47, S. 11512–11521
- [25] Rösch, A.; Seidl, R.; Stauffacher, M. (2013): Nachhaltige Flussrevitalisierung – Der Fall Thur in Niederneunforn. *ETH-UNS TdLab*, 36 S.
- [26] Buchs, U. (2013): Revitalisierung von Fliessgewässern – Eine Chance für Wasserversorger. *Aqua & Gas*, Nr. 3, S. 30–34

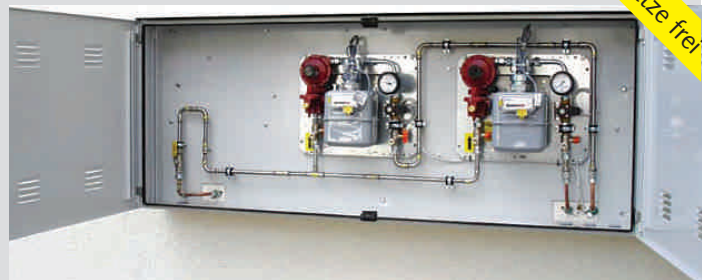
> SUITE DU RÉSUMÉ

tie très élevées des nappes phréatiques dans ce secteur, la qualité des nappes phréatiques est difficilement prévisible. C'est pourquoi en raison de ces effets pronosticables en partie seulement sur les nappes phréatiques, une production d'eau potable dans des zones alluviales revitalisées régulièrement inondées n'est pas conseillée. D'une manière générale, la revitalisation des cours d'eau augmente l'interaction entre les eaux de surface et les nappes phréatiques et on peut s'attendre à une infiltration accrue entraînant une augmentation de la sensibilité des nappes phréatiques aux substances (indésirables) présentes dans les eaux de surface. Si l'on considère que la revitalisation d'environ 4000 km de cours d'eau suisses est prévue au cours des prochaines décennies, il en résulte qu'une des tâches essentielles à l'avenir consistera à améliorer encore davantage la qualité des eaux de surface, fondamentalement bonne en Suisse, afin de garantir durablement la plus importante ressource d'eau potable, à savoir les nappes phréatiques.

SVGW-Kurs Arbeitssicherheit TISG 010

Flüssiggaskurs Brandschutzfachleute

SVGW-Aussenstelle Schwerzenbach ZH
18. April 2018



www.svgw.ch/TISG-Kurse