

# Wechselwirkungen zwischen Thur und Grundwasser

Autor(en): **Gmünder, Christian / Spring, Ulrich**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria**

Band (Jahr): **100 (2008)**

Heft 1

PDF erstellt am: **09.08.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-939683>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

# Wechselwirkungen zwischen Thur und Grundwasser

Christian Gmünder, Ulrich Spring

## Zusammenfassung

Bei der Planung von Hochwasserschutzmassnahmen an der Thur müssen die Wechselwirkungen zwischen der Thur und dem Grundwasser berücksichtigt werden. Im nachfolgenden Beitrag wird gezeigt, wie diese Wechselwirkungen als Randbedingung formuliert und in ein regionales Grundwassermodell integriert wurden. Im Randbedingungsmodell wird die wasserstandsabhängige Veränderung der benetzten Fläche und die zeit- und abflussabhängige Ausbildung der Kolmatation berücksichtigt. Die Parameter des Modells werden indirekt, über ihre beobachtete Reaktion in benachbarten Grundwasserpegeln, kalibriert. Mit dem Modell wurden die Auswirkungen einer in den Jahren 1998–1999 ausgeführten Thuraufweitung bei Neunforn quantifiziert. Die resultierende Erhöhung der Infiltrationsleistung der Thur wurde als Eingangswert für Prognoserechnungen im Raum Weinfelden–Bürglen eingesetzt.

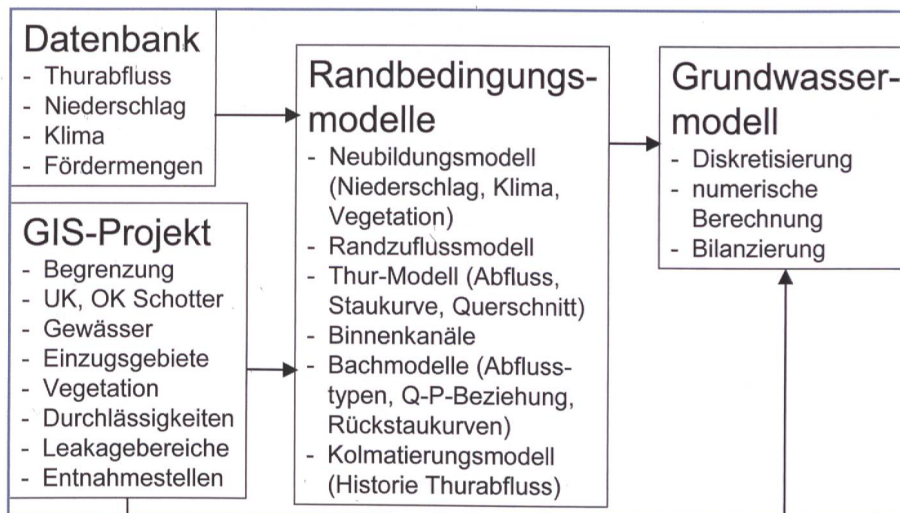


Bild 1. Aufbau des Grundwassermodells aus dem konzeptuellen Modell.

bei Hochwasser überflutet werden können. Die restliche Talebene wurde durch Hochwasserdämme geschützt. Die Dämme sind auf das hundertjährige Hochwasser (HQ100) bemessen. Höhere Hochwasser würden heute zu grossräumigen Überflutungen mit entsprechend grossen Schäden führen. Im Raum Weinfelden–Bürglen

sollen deshalb durch die 2. Thurkorrektur einerseits Rückhaltevolumen geschaffen und andererseits die Gerinnekapazität vergrössert werden.

Das Grundwasservorkommen des Thurtals wird zu einem grossen Teil durch die Thur gespeisen. Eingriffe in die Thur haben deshalb Auswirkungen auf das

## 1. Situation

Im Rahmen der 1. Thurkorrektur im 19. Jahrhundert wurde die Thur über weite Strecken kanalisiert. Seitlich der Thur wurden Vorlandbereiche eingerichtet, welche

### Legende

- Seitenzufluss
- Leakage-Randbedingung (Zu-/Abfluss in Funktion von Wasserstand und Grundwasserstand)
- Grundwasserentnahmen
- Neubildung aus Niederschlag (ganzes Modellgebiet, aufgeteilt in Bewirtschaftungszonen)

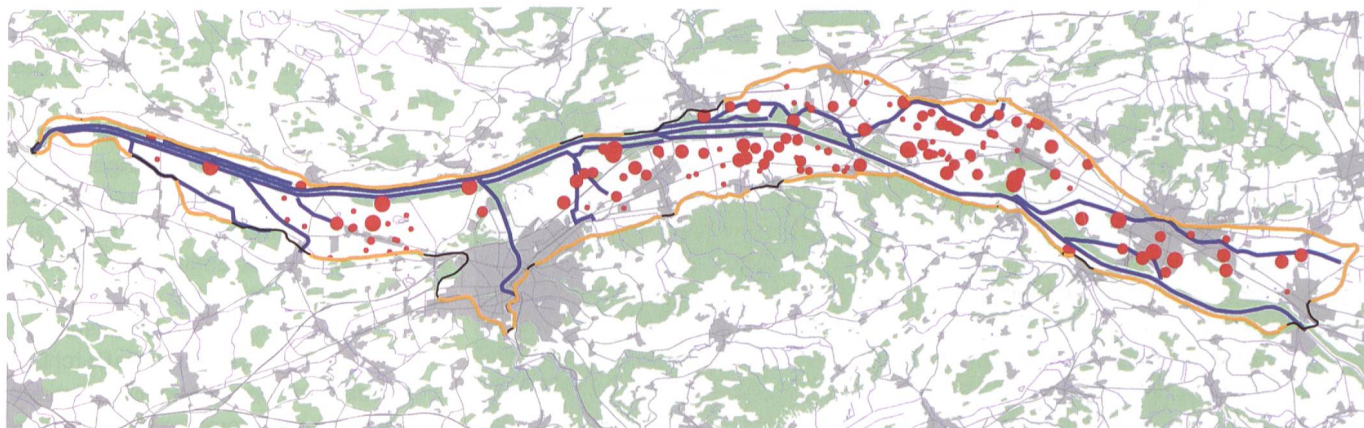


Bild 2. Modellgebiet mit Modellrandbedingungen.

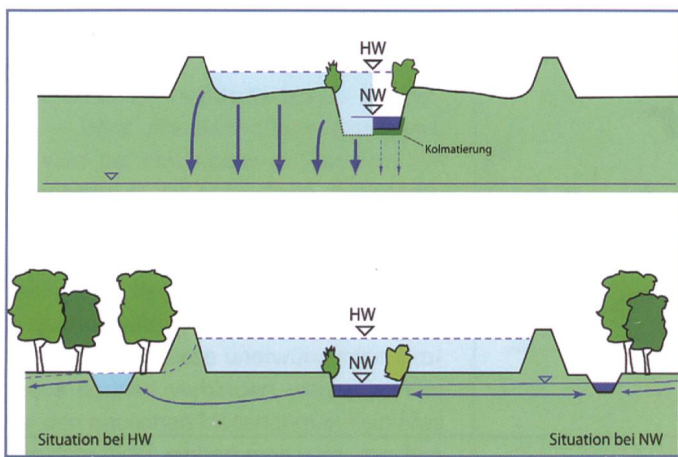


Bild 3. Schematische Querprofile durch die Thur.

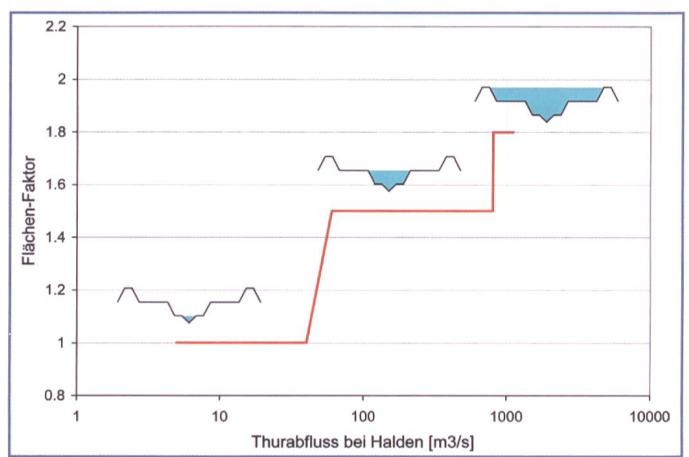


Bild 4. Flächenfunktion des Leakagewertes.

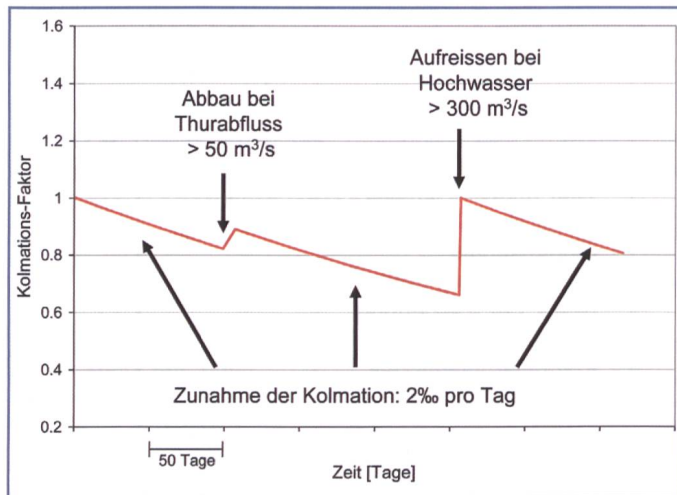


Bild 5. Kolmationsfunktion des Leakagewertes.

Grundwasser. Im Jahr 2007 wurde im Hinblick auf die Quantifizierung dieser Auswirkungen ein regionales Grundwassermodell erstellt.

## 2. Modellaufbau

Die Grundlagendaten des Modells wurden in einem Team aus Geologen, Hydrogeologen, Flusshydraulikern und Vermessern und mit Hilfe des Amtes für Umwelt des Kantons Thurgau erarbeitet. Aus den Arbeiten ging das konzeptionelle Modell hervor, welches in Form einer Datenbank und eines GIS-Projektes angelegt wurde. Über verschiedene Randbedingungsmodelle wird der Modell-Input erzeugt. Der numerische Code, hier FEFLOW, wird anschliessend zur Diskretisierung in finite Elemente, zur numerischen Simulation und für die Bilanzierung eingesetzt. Bild 1 zeigt ein Schema des gewählten Vorgehens.

Die Trennung von konzeptionellem Modell und Modellcode hat den Vorteil, dass Änderungen der Modelldiskretisierung keine Veränderungen des konzeptionellen Modells erfordern. Über die verschiedenen Randbedingungsmodelle, welche als Module in der Programmiersprache Perl implementiert wurden, werden die

Die darunterliegenden Seeablagerungen und Grundmoränen werden als Stauer betrachtet. Im regionalen Massstab kann der Thurtalschotter durch ein horizontal – zweidimensionales Modell abgebildet werden. Langjährige Beobachtungen des Grundwasserspiegels zeigen, dass im Gebiet zwischen Müllheim und Bürglen nie ein konstanter Grundwasserstand erreicht wird. Auch nach lang andauernden Trockenperioden wie im Sommer 2003 sank der Grundwasserspiegels ständig weiter. Eine Nachbildung der Grundwasserhältnisse ist deshalb nur mit einem instationären Modell möglich.

## 3. Wasseraustausch zwischen Thur und Grundwasser

Die Modellrandbedingungen sind im Bild 2 dargestellt. Im Hinblick auf die geplanten Gerinneaufweitungen im Raum Weinfelden-Bürglen ist die Randbedingung entlang der Thur von grosser Bedeutung. Im Bild 3 sind zwei typische Thurquerschnitte schematisch dargestellt. Im Grundwassermodell wird die Thur als Linie entlang der Gerinnemitte modelliert. Die Wasserstände der Thur werden aus den Staukurven des hydraulischen Thur-

Modelleingaben weitgehend automatisch erzeugt. Dies ermöglicht es, über Sensitivitätsstudien mit geringem Aufwand die Auswirkungen verschiedener Modellannahmen zu untersuchen.

Das Grundwassermodell umfasst den Schotter-Grundwasserleiter zwischen Neunforn und Bürglen.

modells und dem gemessenen mittleren Tagesabfluss in Halden für jeden Modellpunkt entlang dieser Linie errechnet. Für den Wasseraustausch zwischen Thur und Grundwasser werden folgende Formeln (Cauchy-Randbedingung) verwendet:

a) Bei Grundwasserständen unterhalb der Thursohle resp. deren Kolmationsschicht wird eine vom Grundwasserstand unabhängige Infiltration vorgegeben:

$$Q = (H_p(t) - H_{UK}) \cdot f_{LEAK}(t) \cdot L$$

b) Bei Grundwasserständen oberhalb der Thursohle wird eine vom Grundwasserstand abhängige Infiltration oder Exfiltration vorgegeben.

$$Q = (H_p(t) - H_{GW}(t)) \cdot f_{LEAK}(t) \cdot L$$

Q: dem Grundwasser zugegebene oder entnommene Wassermenge

$H_p$ : Thurwasserspiegel

$H_{UK}$ : Unterkante Kolmationsschicht

$H_{GW}$ : Grundwasserspiegel

$f_{LEAK}$ : Leakagewert

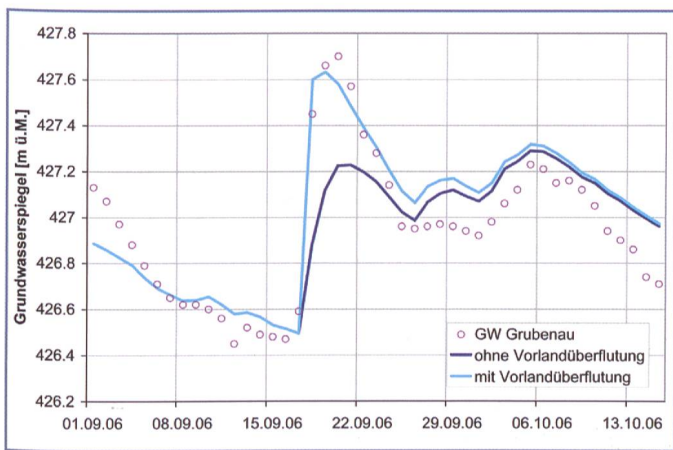
L: Länge des zum Knoten zugeordneten Thurabschnittes

Die Begriffe Infiltration und Exfiltration werden aus der Sicht des Grundwassers verwendet. Infiltration bedeutet einen Zufluss von Wasser aus der Thur, Exfiltration einen Abfluss in die Thur.

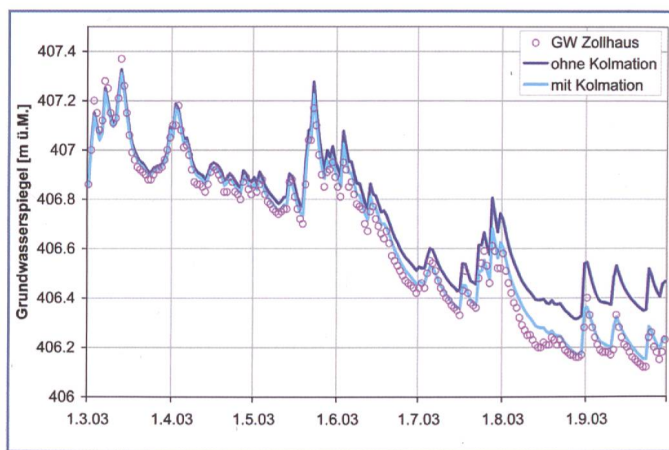
## 4. Der Leakagewert

Die eingesetzte Cauchy-Randbedingung reduziert die komplexen Vorgänge des Wasseraustauschs zwischen Thur und Grundwasser auf den treibenden Potentialgradienten und einen einzigen Parameter, den Leakagewert. Durch die Kalibrierung des Modells wurde die Grösse des Leakagewertes entlang der Thur abschnittsweise bestimmt.

Der Leakagewert bildet insbesondere die benetzte Fläche und die Durchlässigkeit der Gerinnesohle ab. Diese beiden Eigenschaften variieren jedoch in Funktion des Thurabflusses und der Zeit. Zur



**Bild 6. Kalibrierung der Flächenfunktion am Beispiel des Hochwassers von 2006.**



**Bild 7. Kalibrierung der Kolmationsfunktion am Beispiel des Niederwassers 2003.**

Berücksichtigung der Vergrößerung der benetzten Fläche bei hohem Thurabfluss wurde der Leakagewert mit einer Flächenfunktion variiert. Die Funktion beinhaltet eine Erhöhung des Leakagekoeffizienten bei Überschreiten des Mittelwassers und bei Überflutung des Vorlandes. Der Abfluss, welcher zu einer Überflutung des Vorlandes führt, wurde aus den Querprofilen der Thur ermittelt. Die Flächenfunktion ist schematisch in *Bild 4* visualisiert.

Die Kolmation wurde ebenfalls mit einer Variation des Leakagewertes berücksichtigt. Es wurde eine möglichst einfache Funktion gewählt, welche die wichtigsten physikalischen Prozesse beinhaltet. Der Aufbau der Kolmationsschicht bei Niederwasser wurde mit einer Verkleinerung der Leakage von 2% pro Tag berücksichtigt. Bei Abflüssen grösser als 50 m<sup>3</sup>/s wird die Kolmation allmählich abgebaut, resp. die Leakage um 1% pro Tag vergrößert. Bei Hochwasserabflüssen grösser als 300 m<sup>3</sup>/s (Tagesmittelwert) wird die Kolmation vollständig aufgerissen und die Leakage wird auf den Grundwert gemäss Eichung zurückgesetzt. Ein Abbau der Kolmationsschicht findet auch bei Exfiltrationsverhältnissen statt. Die Kolmationsfunktion ist schematisch in *Bild 5* dargestellt.

Das Modell bildet die Grundwasserverhältnisse des Zeitraums von 1995 bis 2007 instationär nach. Aus diesem Zeitraum liegen regelmässige Pegelmessungen in der Nähe der Thur vor. Die Parameter der Flächen- und Kolmationsfunktion wurden indirekt, über ihre Reaktion in den Grundwasserpegeln, kalibriert. Dies soll beispielhaft an zwei ausgewählten Pegeln und Zeiträumen dokumentiert werden.

Im ersten Beispiel, dokumentiert durch das *Bild 6*, wird die Kalibrierung der Flächenfunktion gezeigt. Mit violetten Symbolen ist hier das Verhalten des Pe-

gels Grubenau während des Hochwassers 2006 dargestellt. Wird im Modell eine Thur-Randbedingung ohne Vergrößerung des Leakagewertes bei Vorlandüberflutung vorgegeben, so resultiert an dieser Stelle die dunkelblaue Kurve. Der beobachtete schnelle Grundwasseranstieg beim Hochwasser kann damit nicht nachgebildet werden. Wird die Vorlandüberflutung bei der Flächenfunktion berücksichtigt, ergibt sich die hellblaue Kurve und damit eine viel bessere Übereinstimmung des Modells mit den Messungen.

Das zweite Beispiel betrifft die Kolmationsfunktion und ist mit dem *Bild 7* dokumentiert. Die Abbildung zeigt mit violetten Symbolen das Verhalten des Pegels Zollhaus östlich Eschikofen während der langen Niederwasserperiode im Sommer 2003. Wird im Modell eine Thur-Randbedingung ohne Kolmation vorgegeben, so resultiert an dieser Stelle die dunkelblaue

Kurve. Ein Modell mit einer Kolmationszunahme von 2% pro Tag ergibt die hellblaue Kurve, welche deutlich besser mit den gemessenen Pegelwerten übereinstimmt.

## 5. Prognose

Die bisherigen Ausführungen zeigen, dass die heutigen Modellrandbedingungen entlang der Thur kalibriert werden können, sofern langjährige Messreihen des Grundwasserspiegels zur Verfügung stehen. Mit dem Modell sollen jedoch die Auswirkungen zukünftiger Gerinneaufweitungen prognostiziert werden. Durch die Aufweitung und Renaturierung entsteht ein Gerinne, welches unregelmässig durchströmt wird. Es entstehen Bereiche mit hohen Fließgeschwindigkeiten und Bereiche, die nur langsam durchflossen werden. Bei hohen Abflussmengen ist die benetzte Gerinnebreite grösser als bisher, die Wassertiefe nimmt jedoch ab. Bei Nie-



**Bild 8. Gerinneaufweitung der Thur bei Niederneunform.**

derwasser beschränkt sich der Abfluss auf schmale Rinnen, so dass die benetzte Fläche sogar kleiner sein kann als heute. Es stellt sich die Frage, ob im Prognosemodell der vorgegebene Leakagewert vergrössert oder verkleinert werden soll und um welchen Faktor.

Glücklicherweise konnten wir im Thurtal auf die Vergangenheit zurückgreifen. Im Bereich von Neunforn wurde bereits in den Jahren 1998–1999 eine Thuraufweitung realisiert (Bild 8), und es stand eine langjährige Beobachtung des Grundwasserspiegels zur Verfügung. Der im Modell vorgegebene Leakagewert wurde deshalb im Aufweitungsbereich zweimal kalibriert, einmal an den Messungen von 1995 bis 1997 und einmal an den Messungen von 2003 bis 2007. Für die Zeitspanne vor der Aufweitung wurde die beste Übereinstimmung mit einem Leakagewert von 10 m/Tag, für die Zeitspanne nach der Aufweitung mit einem Leakagewert von 20 m/Tag erzielt. Dies bedeutet, dass die Infiltrationsleistung der Thur in diesem Bereich um den Faktor 2 zunahm. Ob dies nur auf die Gerinneaufweitung, oder auch auf das ausserordentliche Hochwasser vom Mai 1999 zurückzuführen ist, kann nicht mit Sicherheit festgelegt werden. Durch die Nachbildung mit dem Grundwassermodell

konnte aber zumindest gezeigt werden, dass eine Gerinneaufweitung der Thur die Infiltrationsleistung zwar erhöht, aber nicht mit einem sehr hohen Faktor. Die ermittelte Erhöhung der Infiltrationsleistung wurde für die Prognose der Auswirkungen der geplanten Gerinneaufweitung im Bereich Weinfeld–Bürglen eingesetzt. Mittels Sensitivitätsstudien wurde aufgezeigt, wie sich eine Variation der Annahmen auf die Prognosen auswirkt.

## 7. Folgerungen

Das Grundwassermodell des Thurtals ist ein geeignetes Instrument zur Quantifizierung des Wasseraustauschs zwischen Thur und Grundwasser. Voraussetzung ist die langjährige, tägliche Beobachtung des Grundwasserspiegels. Damit aus den geplanten Veränderungen des Thurgerinnes später einmal die effektiven Auswirkungen bestimmt werden können, müssen bereits heute Beobachtungspegel eingerichtet werden, welche die Veränderungen überdauern.

Anschrift der Verfasser

Christian Gmünder, Dr. Ulrich Spring  
Simultec AG, Hardturmstrasse 261  
CH-8005 Zürich  
Tel. +41 44 563 86 22  
cg@simultec.ch, www.simultec.ch

## Projektteam

### Projektleitung

Dr. Marco Baumann, Amt für Umwelt  
Kanton Thurgau  
Dr. Peter Jordan, Böhringer AG, Exter-  
ner Projektkoordinator

### Berater

Dr. Eduard Höhn, PD Dr. Olaf Cirpka,  
EAWAG

### Geologie

Dr. Heinrich Naef, Büro für angewandte  
Geologie, Dr. Stephan Frank, Dr. von  
Moos AG

### Flusshydraulik

Dr. Roni Hunziker, Christian Jecklin  
Hunziker, Zarn und Partner

### Datenakquisition

Urs Dünnenberger, BHAtteam  
Dr. Roland Wyss, Dr. R. Wyss GmbH

### Unterstützung AfU TG

Dr. Andreas Scholtis, Romero Favero,  
Emil Kuratli, Werner Frech

### Modellierung

Dr. Ulrich Spring, Christian Gmünder  
Simultec AG

# HYDRO Care GmbH

## Beratungs- und Ingenieurbüro für Wasserkraftwerke

Beratung, Planung, Montage- und Inbetriebnahmeüberwachung von schlüsselfertigen Kleinwasserkraftwerken. (Pelton, Kaplan und Francis) bezüglich gesamtem elektro- mechanischem Bereich inkl. Leittechnik und Fernwirkssysteme. Revitalisierungen, Modernisierungen und Neuanlagen. Trink-, Oberflächen- und Abwasserkraftwerke.

**Werner Berchtold**

**T** 079 750 12 54

**M** werner.berchtold@hydro-care.ch

**W** www.hydro-care.ch

8542 Wiesendangen

**F** 052 337 37 35

**W** www.hydro-care.ch