

Interaktion zwischen Thur und Grundwasser aus der Sicht der 2. Thurgauer Thurkorrektur

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

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Mitteilungen der Thurgauischen Naturforschenden Gesellschaft**

Band (Jahr): **63 (2009)**

PDF erstellt am: **23.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-593753>

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.

Interaktion zwischen Thur und Grundwasser aus der Sicht der 2. Thurgauer Thurkorrektur

Christian Gmünder und Ulrich Spring

1 Einleitung

Im Rahmen der 2. Thurkorrektur sind unter anderem auch Eingriffe in das Gerinne der Thur geplant (siehe *Baumann et al. 2009*). Dadurch werden die Wechselwirkungen zwischen Thur und Grundwasser und schlussendlich das Grundwasser beeinflusst. Für die Planung der Hochwasserschutzmassnahmen muss dieser Einfluss vorausgesagt werden. Eine gute Prognose setzt ein gutes Verständnis der heutigen Situation voraus. Numerische Modelle können dabei helfen. Im vorliegenden Beitrag werden die verwendeten Ansätze zur Integration von Oberflächengewässern in das regionale Grundwassermodell des Thurtals beschrieben und Methoden für die Prognose der Folgen von Eingriffen vorgestellt.

2 Integration von Gewässern in Grundwassermodelle

2.1 Beziehung zwischen Gewässer und Grundwasser

In der Regel werden Oberflächengewässer und Grundwasser in getrennten Modellen behandelt, da die Wassermenge, die zwischen Oberflächengewässer und Grundwasser ausgetauscht wird, im Vergleich zum Abfluss des Oberflächengewässers klein ist. Oberflächengewässer stellen deshalb Randbedingungen des Grundwassermodells dar. Für die Art der Wechselwirkung zwischen Oberflächengewässer und Grundwasser gibt es grundsätzlich drei Möglichkeiten:

- Liegt die Sohle des Gewässers vollständig über dem Grundwasserspiegel, so erfolgt eine perkulative Infiltration, d.h., das Wasser sickert über einen ungesättigten Bereich zum Grundwasserspiegel. Die infiltrierende Wassermenge ist abhängig vom Wasserstand im Gerinne, von der benetzten Fläche und von der Sohlendurchlässigkeit.
- Liegt die Sohle des Gewässers unter dem Grundwasserspiegel, so spricht man von einer direkten Anbindung. Ist der Wasserstand im Gewässer höher als im Grundwasser, so infiltriert Wasser aus dem Gewässer ins Grundwasser.

176

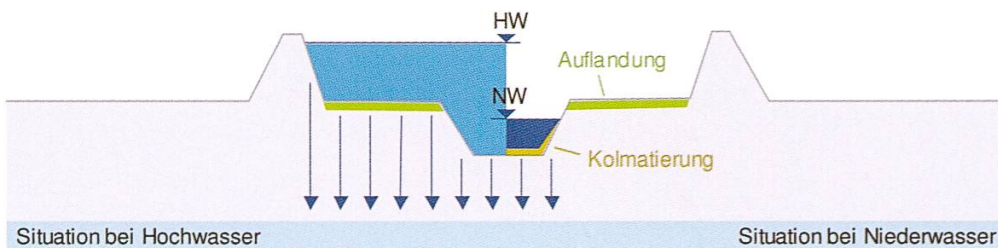


Abbildung 1: Schematischer Thurquerschnitt im Bereich Weinfeld.

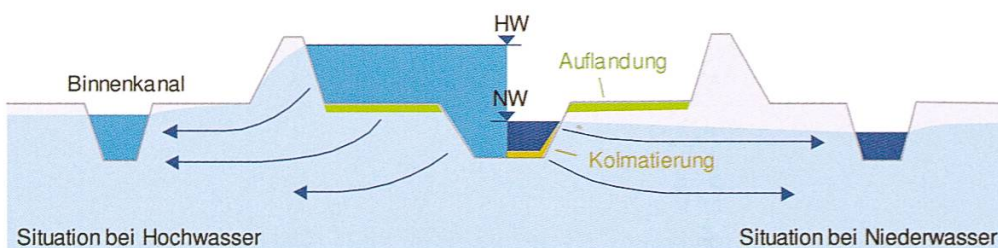


Abbildung 2: Schematischer Thurquerschnitt im Bereich Pfyn.

- Liegt der Wasserspiegel des Gewässers unterhalb des Grundwasserspiegels, so wird das Grundwasser durch das Gewässer drainiert.

Entlang der Thur kommen alle drei Wechselwirkungsarten vor. Im Bereich von Weinfelden liegt die Thursohle einige Meter über dem Grundwasserspiegel. Zwischen Amlikon und Pfyen wechseln Infiltration und Exfiltration ab. Westlich von Pfyen ist die Thur von tiefer liegenden Binnenkanälen flankiert, was dazu führt, dass die Thur immer infiltriert. In den *Abbildungen 1* und *2* sind zwei typische Thurquerschnitte, jeweils bei Hochwasser- und Niederwassersituation, dargestellt. Der Wechsel von Infiltration und Exfiltration kann beim Grundwasserpegel Zollhus dargestellt werden. Der Pegel Zollhus befindet sich östlich von Eschikofen, etwa 120 m vom Ufer der Thur entfernt. Er besitzt die Koordinaten 719 331/271 224. In der *Abbildung 3* werden die Wasserstände in der Thur und im Grundwasser sowie deren Differenz dargestellt.

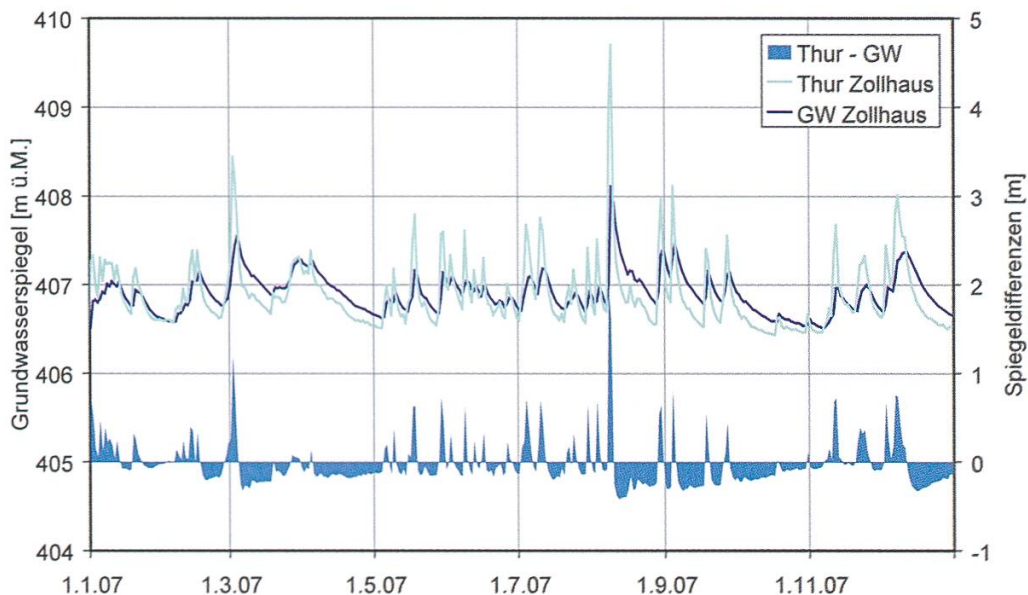


Abbildung 3: Vergleich der Wasserstände in der Thur (blaue Linie) und dem nahe gelegenen Grundwasserpegel Zollhus (violette Linie). Die Differenzen zwischen Thur und Grundwasser sind mit der rechten Achse skaliert.

2.2 Randbedingungstypen von Grundwassermodellen

Als Randbedingung eines numerischen Modells wird eine Vorschrift bezeichnet, welche für einen Modellknoten entweder dessen Energiehöhe festlegt oder den Wasseraustausch über die Systemgrenze beschreibt. Der betreffende Modellknoten kann dabei am äusseren Modellrand oder im Innern des Modells liegen. Bei der Grundwassermodellierung hat man drei Randbedingungstypen zur Verfügung:

- **Dirichlet-Randbedingung:** Bei der Dirichlet-Randbedingung wird das Potenzial festgelegt. In einem horizontal-zweidimensionalen Modell entspricht das Potenzial dem Grundwasserspiegel. Die Dirichlet-Randbedingung kann für Gewässer eingesetzt werden, welche direkt an das Grundwasser angebunden sind und keinen Sohlenwiderstand aufweisen.

- Neumann-Randbedingung: Bei der Neumann-Randbedingung wird ein Wasserfluss festgelegt. Diese Randbedingung eignet sich für Gewässer mit konstanter perkolutiver Infiltration.
- Cauchy-Randbedingung: Bei der Cauchy-Randbedingung wird der Wasseraustausch in Funktion der Differenz zwischen Grundwasserspiegel und Oberflächenwasserspiegel berechnet. Die Sohle wird durch einen Widerstandswert berücksichtigt. Cauchy-Randbedingungen eignen sich für Gewässer mit wechselnden Infiltrations- und Exfiltrationsbedingungen.

2.3 Oberflächengewässer im Grundwassermodell Thurtal

Der Grundwasserleiter des Thurtals besitzt im Vergleich zu seiner Mächtigkeit eine grosse horizontale Ausdehnung. Er weist nur ein einziges Grundwasserstockwerk auf. Daher kann er mit einem horizontal-zweidimensionalen Modell abgebildet werden. Eine Nachbildung der beobachteten Grundwasserspiegelschwankungen ist nur mit einem instationären Modell möglich, die Grundwasserströmung wird dabei in Zeitschritten von einem Tag berechnet. Die Oberflächengewässer werden im Grundwassermodell als Linie entlang der Gerinnemitte modelliert. In der *Abbildung 4* sind die im Modell berücksichtigten Gewässer visualisiert.

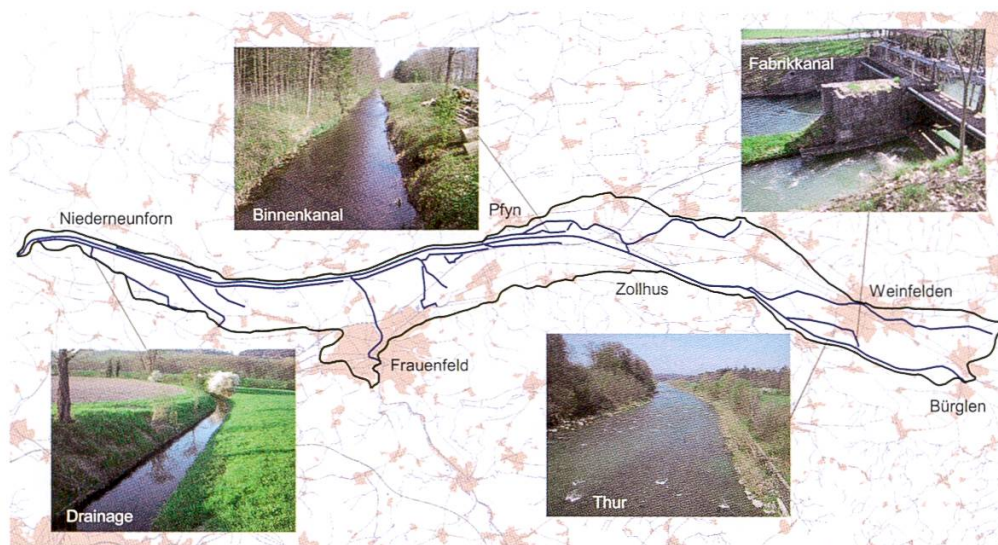


Abbildung 4: Im Grundwassermodell berücksichtigtes Gewässernetz (blaue Linien). Hintergrundkarte reproduziert mit Bewilligung von swisstopo (BA091018)

Für die Gewässer-Randbedingungen müssen dem Modell die täglichen Wasserstände entlang der Gerinne vorgegeben werden. Bei Gewässern mit kontinuierlicher Abflussmessung können die Wasserstände aus den Staukurven vorgängig erstellter hydraulischer Modelle errechnet werden (Jecklin & Hunziker 2009). Die Abflussganglinien der übrigen Gewässer müssen geschätzt werden. Dabei werden drei Gewässertypen unterschieden:

- Wildbäche reagieren schnell auf Niederschlagsereignisse und weisen stark schwankende Abflüsse auf (Abbildung 5). Zu den Wildbächen gehört die Thur, die Murg, der Giessen, der Chemebach und der Ellikerbach. Ihre Abflussgang-

linien verlaufen mehr oder weniger synchron. Sofern sie keine kontinuierliche Abflussmessung aufweisen, kann ihr Abfluss in guter Näherung aus den Abflüssen benachbarter Bäche abgeleitet werden.

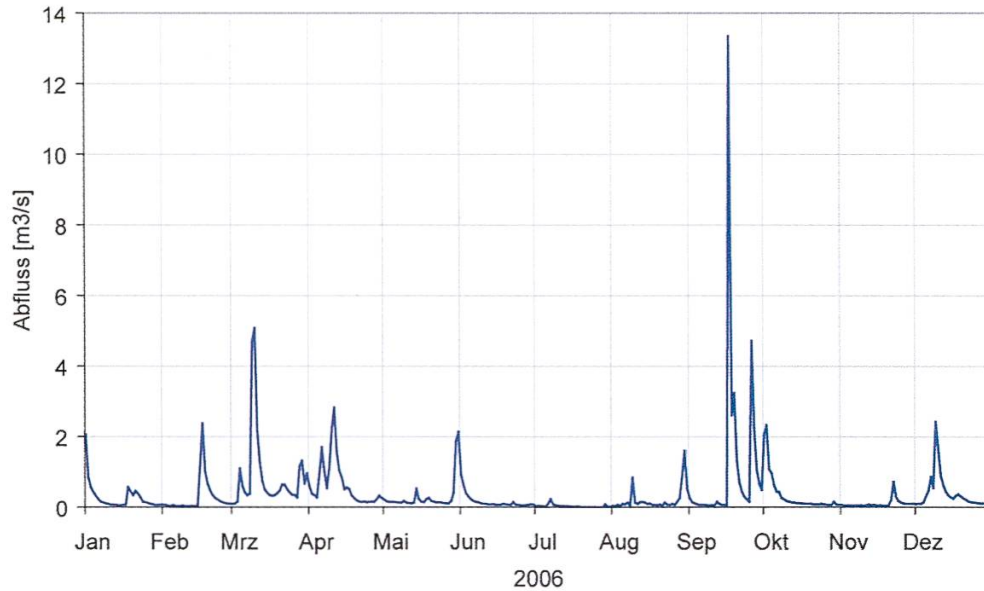


Abbildung 5: Abflussmessungen des Giessen im Jahr 2006.

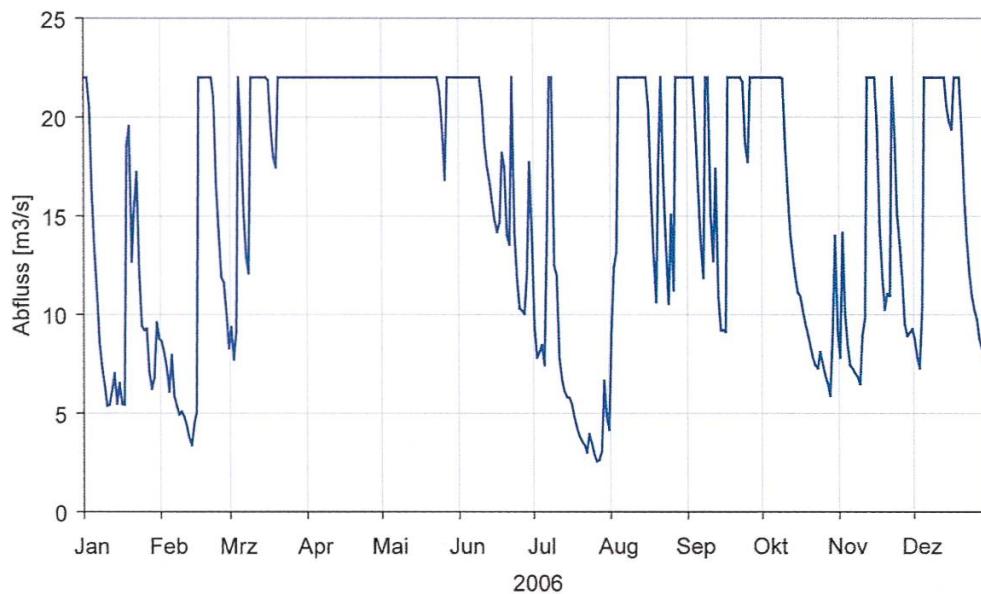


Abbildung 6: Im Abflussmodell berechnete Abflussganglinie des Fabrikkanals Weinfeld im Jahr 2006.

- Kraftwerkskanäle werden normalerweise mit ihrer Ausbauwassermenge dotiert. Wenn der Restabfluss der sie speisenden Thur die vorgeschriebene Restwassermenge unterschreitet, muss die genutzte Wassermenge reduziert werden (Abbildung 6). Im Modellgebiet befinden sich die Kraftwerkskanäle von Weinfeld und Grüneck.
- Drainagegerinne werden nur dann aktiviert, wenn der Grundwasserspiegel über deren Sohle steigt. Ihr Abfluss nimmt von der Quelle bis zur Mündung

um die drainierte Wassermenge zu. Die drainierte Wassermenge ist abhängig vom Grundwasserstand und kann nicht a priori bestimmt werden. Die Spiegelschwankungen in Drainagegerinnen sind klein. Zu den Drainagegerinnen gehören zwei Bäche in der Frauenfelder Allmend, der Elliker Gillgrabe, der alte Ellikerbach und die Binnenkanäle. Die Binnenkanäle stellen einen Sonderfall dar, da sie über eine kurze Distanz indirekt aus der Thur gespiesen werden und damit eine vom Thurabfluss abhängige Wasserführung aufweisen. Zudem leiten sie teilweise auch natürliche Nebengewässer ab.

Für das Grundwassermodell des Thurtals wurde ein Abflussmodell der Gewässer erstellt, welches aus den oben beschriebenen Zusammenhängen für alle im Modell berücksichtigten Gewässer entlang ihrer Gerinne die Abflüsse ermittelt.

2.4 Cauchy-Randbedingung

Für den Wasseraustausch zwischen Thur und Grundwasser wird im Grundwassermodell des Thurtals die Cauchy-Randbedingung verwendet. Sie kann durch folgende Formeln beschrieben werden:

- a. Bei Grundwasserständen unterhalb der Gewässersohle wird eine vom Grundwasserstand unabhängige Infiltration vorgegeben:

$$Q = (H_P(t) - H_{\text{sohle}}) \cdot f_{\text{LEAK}}(t) \cdot L$$

- b. Bei Grundwasserständen oberhalb der Gewässersohle wird eine vom Grundwasserstand abhängige Infiltration oder Exfiltration vorgegeben.

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

Q: dem Grundwasser zugegebene oder entnommene Wassermenge (m³/Tag)

H_P: Wasserspiegel (m ü. NN)

H_{sohle}: Gewässersohle (m ü. NN)

H_{GW}: Grundwasserspiegel (m ü. NN)

f_{LEAK}: Leakagewert (m/Tag)

L: Länge des zum Knoten zugeordneten Gewässerabschnittes (m)

2.5 Zeitabhängiger Leakagewert

Die eingesetzte Cauchy-Randbedingung reduziert die komplexen Vorgänge des Wasseraustauschs zwischen Oberflächengewässer und Grundwasser auf den treibenden Potenzialgradienten und einen einzigen Parameter, den Leakagewert. Bei der Kalibrierung des Grundwassermodells wurden die Thur und die übrigen Gewässer in insgesamt 48 Abschnitte unterteilt und jedem Abschnitt ein Leakagewert zugeordnet.

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 Berücksichtigung der Vergrößerung der benetzten Fläche bei hohem Thurabfluss wurde der Leakagewert mit einer Flächenfunktion variiert. Die Funktion beinhaltet eine Erhöhung des Leakagewertkoeffizienten 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

der *Abbildung 7* visualisiert. Der Leakagewert der einzelnen Gewässerabschnitte wird mit dem Flächenfaktor multipliziert.

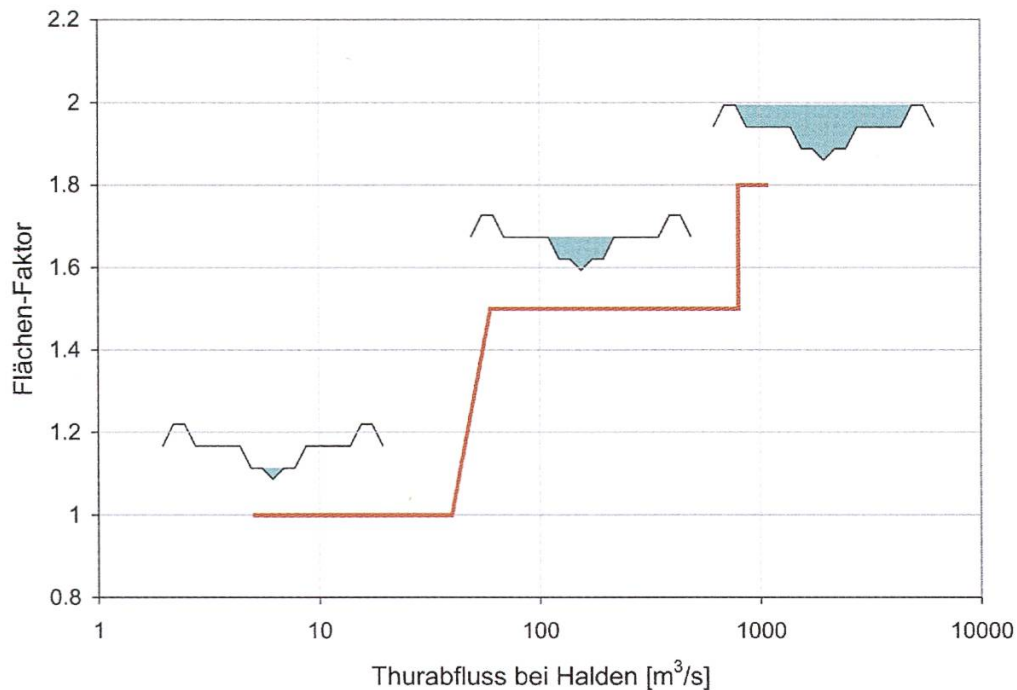


Abbildung 7: Flächenfunktion des Leakagewertes.

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 m³/s wird die Kolmation allmählich abgebaut, resp. die Leakage um 1% pro Tag vergrössert. Bei Hochwasserabflüssen grösser als 300 m³/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 *Abbildung 8* dargestellt. Der Leakagewert der einzelnen Gewässerabschnitte wird mit dem Kolmationsfaktor multipliziert.

Das Modell bildet die Grundwasserverhältnisse des Zeitraums von 1995 bis 2008 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 wird beispielhaft an zwei ausgewählten Pegeln und Zeiträumen dokumentiert.

Im ersten Beispiel, dokumentiert durch die *Abbildung 9*, wird die Kalibrierung der Flächenfunktion gezeigt. Mit violetten Symbolen ist hier das Verhalten des Pegels Grubenau während des Hochwassers 2006 dargestellt. Der Pegel Grubenau befindet sich westlich von Bürglen, etwa 140 m von der Thur entfernt. Er besitzt

die Koordinaten 727 903/267 736. 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.

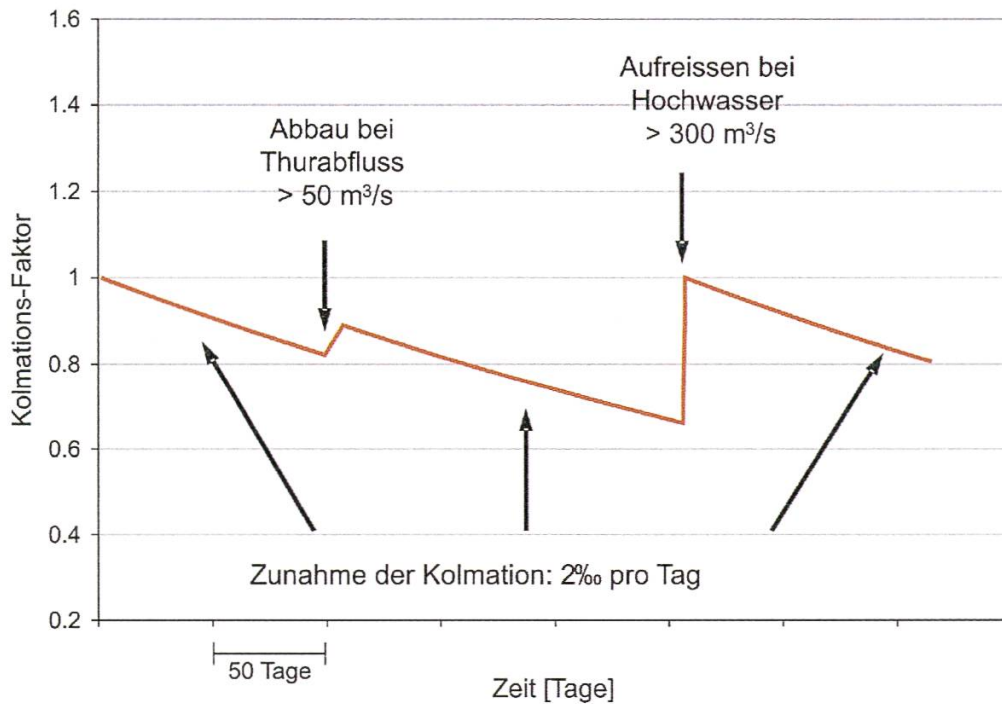


Abbildung 8: Kolmationsfunktion des Leakagewerts.

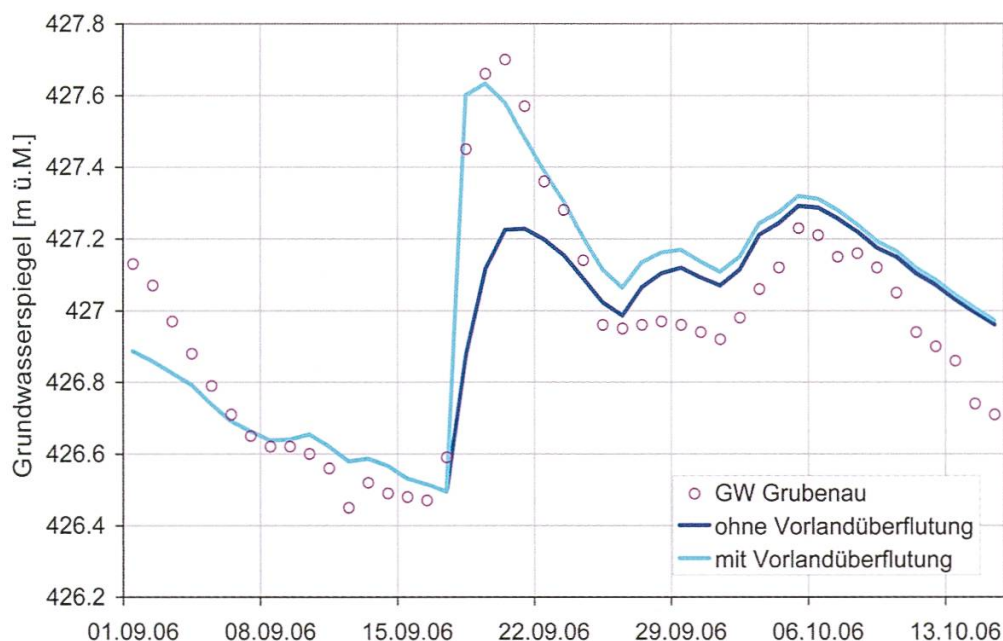


Abbildung 9: Kalibrierung der Flächenfunktion am Beispiel des Hochwassers von 2006.

Das zweite Beispiel betrifft die Kolmationsfunktion und ist mit der *Abbildung 10* dokumentiert. Die Abbildung zeigt mit violetten Symbolen das Verhalten des Pegels Zollhaus östlich von 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.

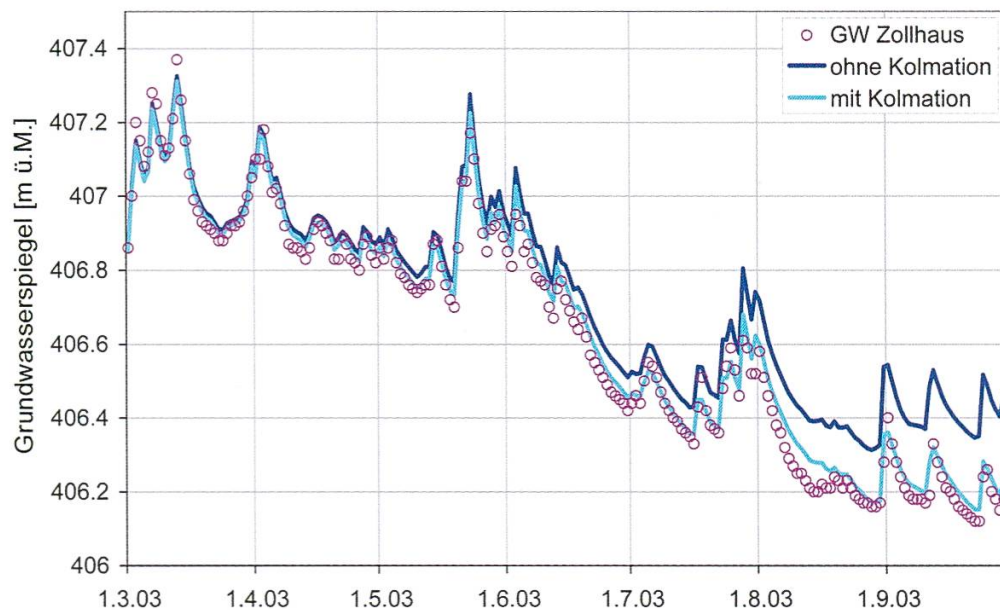


Abbildung 10: Kalibrierung der Kolmationsfunktion am Beispiel des Niederwassers 2003.

3 Prognose der Thur-Infiltration bei Gerinneaufweitungen

3.1 Motivation

Für die Verbesserung des Hochwasserschutzes im Abschnitt Weinfeld–Bürglen wurden verschiedene Projektideen ausgearbeitet. Zwei Varianten wurden bis auf Stufe Vorprojekt entwickelt und auf ihre Wirkungen und Auswirkungen hin überprüft: Die Variante Grubenau (Lösungsansatz mit stehender Retention) sieht neben einer Gerinneaufweitung ein grosses Rückhaltebecken vor, welches nur bei extremem Hochwasser geflutet und anschliessend wieder abgelassen wird. Die Variante Pendelband (Lösungsansatz mit fließender Retention) verbreitert den gesamten Flussraum und schafft zwei neue Gerinne.

Das Grundwassermodell des Thurtals wurde dazu eingesetzt, die Auswirkungen dieser beiden Projektvarianten auf die Grundwasserverhältnisse im Raum Weinfeld zu prognostizieren. Von zentraler Bedeutung ist dabei die Annahme, wie sich die Infiltrationsleistung der Thur bei der geplanten Gerinneaufweitung verändern wird.

3.2 Bisheriger Kenntnisstand

Eine Aufweitung und Renaturierung des Thurgerinnes führt zu folgenden Veränderungen:

- Das Gerinne wird weniger gleichmässig durchströmt. Es entstehen Bereiche mit hohen Fliessgeschwindigkeiten und Bereiche, die nur langsam durchflossen werden. In den schnell durchflossenen Gerinnebereichen wird die Kolmation verhindert.
- Bei höheren Abflüssen ist die benetzte Gerinnebreite grösser als bisher. Die Wassertiefe nimmt dagegen ab.
- Bei Niederwasser beschränkt sich der Durchfluss auf schmale Rinnen, die benetzte Fläche ist kleiner als bisher. Die Wassertiefe nimmt zu.

Die Infiltrationsleistung der Thur hängt von der benetzten Fläche, der Durchlässigkeit der Sohle und dem über die Sohle wirkenden Potenzialgradienten ab. Im Projektbereich liegt die Thur deutlich über dem Grundwasserspiegel und der Potenzialgradient ist daher nur abhängig vom Thur-Wasserspiegel. Da sich bei einer Aufweitung und Renaturierung die Veränderungen von benetzter Fläche und Wassertiefe gegenseitig ausgleichen, ist nicht von vornherein klar, ob eine Zunahme oder Abnahme der Infiltrationsleistung stattfindet. Die Literatur (z.B. Schälchli 1993) enthält dazu keine quantitativen Aussagen. Die Schaffung von Gerinnebereichen mit geringer Kolmation führt jedoch tendenziell eher zu einer Erhöhung der Infiltration.

In einer Studie (Cirpka et al. 2005) vergleicht ein Forscherteam der EAWAG die Infiltrationsparameter in einem aufgeweiteten und einem kanalisierten Abschnitt



Abbildung 11: Thuraufweitung bei Niederneunforn.

der Thur. Es wurden keine Unterschiede festgestellt. Allerdings vergleicht die Studie zwei unterschiedliche Thurabschnitte. Es liegt keine Studie vor, welche den Zustand vor und nach einer Aufweitung im gleichen Thurabschnitt untersucht. Die in der Studie untersuchten Abschnitte weisen auch im Grundwassermodell des Thurtals identische Leakagewerte auf.

3.3 Neue Erkenntnisse

In den Jahren 1998 bis 2002 wurden zwischen Uesslingen und Niederneunforn bereits Thuraufweitungen realisiert (*Abbildung 11*). Diese Eingriffe sind im Vergleich zur geplanten Aufweitung Weinfeld–Bürglen eher kleiner. Im Bereich zwischen den zwei aufgeweiteten Teilstrecken befindet sich der Grundwasserpegel B3, mit den Koordinaten 701 259/271 606 (*Abbildung 12*). Im Pegel B3 wurde seit 1995 täglich der Grundwasserspiegel gemessen. Mit dem Grundwassermodell existiert ein Instrument, mit dem die Infiltrationsleistung der Thur aufgrund der beobachteten Reaktion im Grundwasser bestimmt werden kann. Dazu wird der Leakagewert der Thur so lange variiert, bis die im Modell berechneten Grundwasserspiegel in der Messstelle B3 möglichst genau mit den Messungen übereinstimmen. Der Leakagewert wird so kalibriert. Für je einen Zeitraum vor und nach der Aufweitung wurde der Leakagewert bei der Aufweitung anhand des Pegels B3 kalibriert (*Abbildungen 13 und 14*). Die kalibrierten Leakagewerte der Thur zwischen Niederneunforn und Uesslingen unterscheiden sich für die Zeiträume vor und nach der Aufweitung um den Faktor 2, d.h., die Aufweitungen des Gerinnes verursachten eine Verdoppelung der Infiltrationsleistung.

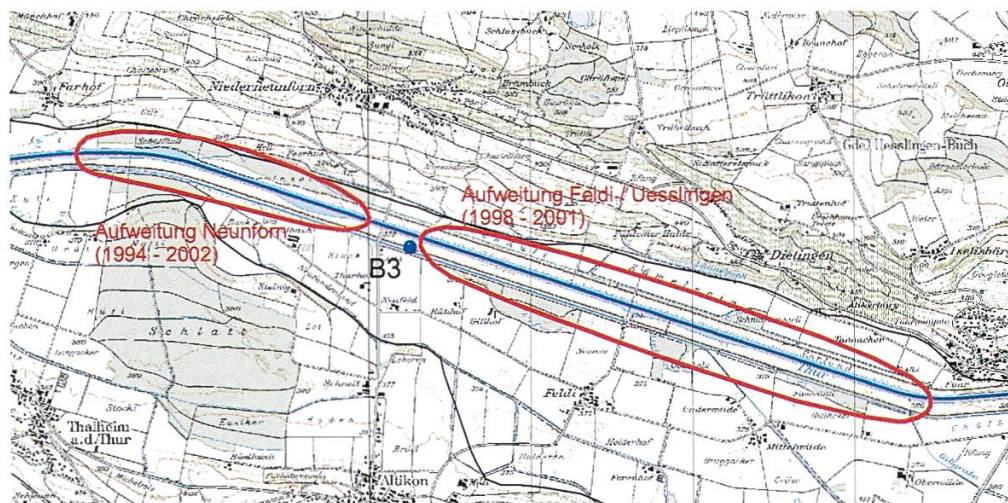


Abbildung 12: Lage des Grundwasserpegels B3 bezüglich der Thuraufweitungen bei Niederneunforn. Hintergrundkarte reproduziert mit Bewilligung von swisstopo (BA091018).

Im Jahr 1999, während der Ausführungszeit der Aufweitung, ereignete sich ein grosses Thurhochwasser. Obwohl der Effekt von Hochwasserereignissen in der Kolmationsfunktion des Modells enthalten ist, kann es sein, dass das extreme Hochwasser durch seinen Geschiebetransport die Infiltrationsverhältnisse oder die Sohlenhöhe an der untersuchten Stelle langfristig verändert hat. Ein Teil der Infiltrationserhöhung kann deshalb vermutlich auf das Hochwasser zurückgeführt werden. Trotz dieser Einschränkung kann gefolgert werden, dass durch die Aufweitung keine Reduktion der Infiltrationsleistung erfolgte und dass die Erhöhung der Infiltrationsleistung den Faktor 2 nicht überstieg. Dieses Resultat ist für die Prognose von Aufweitungen an der Thur sehr wertvoll, auch wenn es mit einer Unsicherheit behaftet ist.

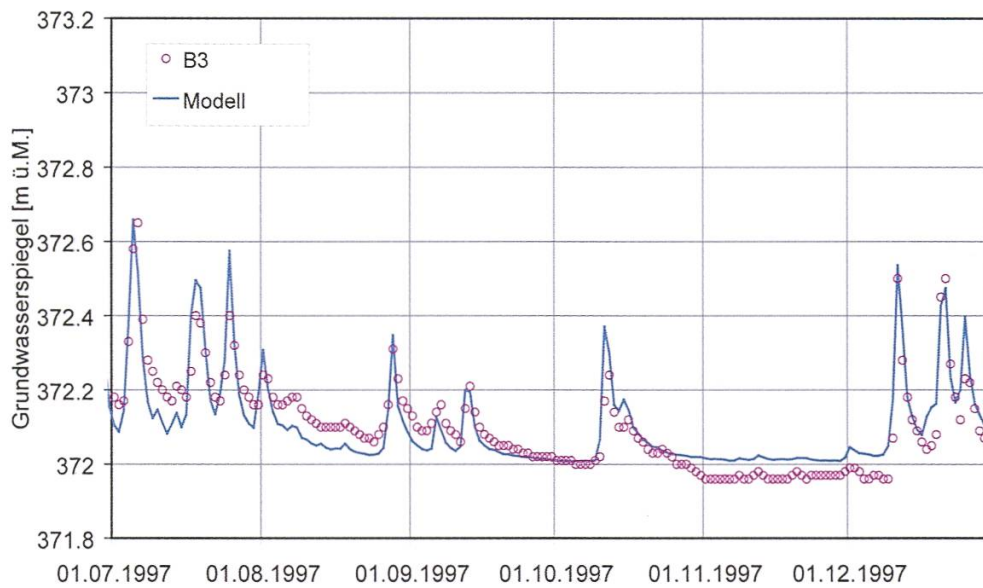


Abbildung 13: Nachbildung des Zeitraumes vor der Thuraufweitung mit einem Leakage-Grundwert von 10 m/d.

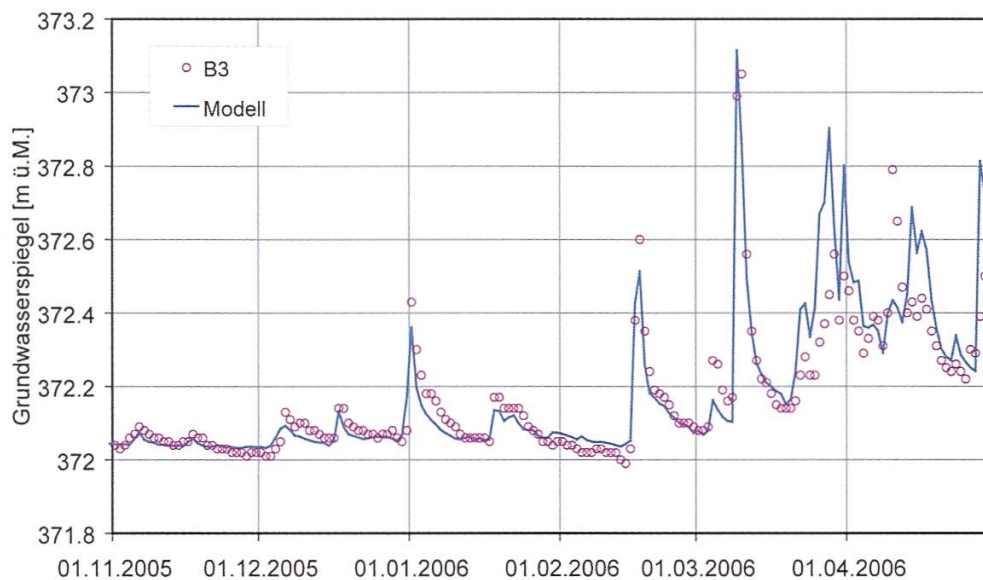


Abbildung 14: Nachbildung des Zeitraumes nach der Thuraufweitung mit einem Leakagewert von 20 m/d.

4 Schlussfolgerung

Beim Aufbau des regionalen Grundwassermodells des Thurtals wurde ein besonderes Gewicht auf eine gute Nachbildung der Interaktion zwischen Oberflächengewässer und Grundwasser gelegt. Dank der Einführung eines zeit- und abflussabhängigen Leakagewert, welcher die unterschiedliche Benetzung des Gerinnes, die Kolmatierung und das Aufreißen der Deckschicht bei Hochwasser berücksichtigt, konnte bei der Kalibrierung eine sehr gute Übereinstimmung mit den beobachteten, zeitlich variablen Grundwasserständen erzielt werden.

Mit dem Modell wurden die Auswirkungen von zwei unterschiedlichen Vorprojekten zum Hochwasserschutz im Bereich Weinfelden–Bürglen prognostiziert. Trotz verbleibender Unsicherheiten bei der Vorhersage der zukünftigen Infiltrationsleistung der Thur konnten die Unterschiede zwischen den Varianten aus der Sicht des Grundwasserschutzes herausgearbeitet und der zu erwartende Grundwasseranstieg prognostiziert werden. Damit lieferte das Grundwassermodell zu einem frühen Zeitpunkt in der Projektgeschichte des Hochwasserschutzprojektes wichtige Grundlagen für den Variantenentscheid.

5 Literatur

- *Baumann M., Hoehn E. & Jordan P., 2009*: Die 2TK erfordert einen neuen Blick auf das Thurtaler Grundwasser – Mitteilungen der Thurgauer Naturforschenden Gesellschaft, Band 63.
- *Cirpka O., Li W., Hoehn E. & Ehnes T., 2005*: Hydraulische Untersuchungen zum Wasseraustausch zwischen der Thur und dem Grundwasser – EAWAG.
- *Jecklin C. & Hunziker R., 2009*: Hydraulik, Spiegel der Oberflächengewässer – Mitteilungen der Thurgauer Naturforschenden Gesellschaft, Band 63.
- *Schälchli U., 1993*: Die Kolmation von Fließgewässersohlen: Prozesse und Berechnungsgrundlagen – Dissertation ETH Zürich.

Adresse der Verfasser:

Christian Gmünder, dipl. Bauingenieur ETH
Ulrich Spring, Dr. sc. techn., Bauingenieur ETH
Simultec AG, Hardturmstrasse 261, 8005 Zürich, E-Mail: info@simultec.ch

