Zeitschrift: Mitteilungen der Thurgauischen Naturforschenden Gesellschaft

Herausgeber: Thurgauische Naturforschende Gesellschaft

Band: 63 (2009)

Artikel: Modellgestützte Ermittlung der Einzugsbereiche von Grundwasserfassungen

Autor: Gmünder, Christian

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-593755

Nutzungsbedingungen

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

Conditions d'utilisation

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

Terms of use

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

Download PDF: 14.12.2025

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

Modellgestützte Ermittlung der Einzugsbereiche von Grundwasserfassungen

Christian Gmünder

Mitteilungen der Thurgauischen Naturforschenden Gesellschaft, Band 63
15 Seiten • 14 Abbildungen, 3 Tabellen • Frauenfeld 2009

1 Einleitung

1.1 Fragestellung

Die Wasserversorgung des Kantons Thurgau wird etwa zur Hälfte aus Grundwasserfassungen gespiesen. Einige Fassungen befinden sich im Abstrom von Siedlungs- und Industriegebieten oder aufgefüllten ehemaligen Kiesgruben. Aus diesen Gebieten können Stoffe ins Grundwasser gelangen, welche in den Grundwasserfassungen nicht erwünscht sind. Für die zukünftige Grundwasserbewirtschaftung ist es deshalb wichtig, die Einzugsbereiche bestehender und geplanter Grundwasserfassungen zu kennen. Als Einzugsbereich wird der Bereich bezeichnet, aus dem Grundwasser in eine Fassung gelangt. Zusätzlich zu den Umrissen des Einzugsbereiches sind folgende Aussagen von Interesse:

- Von wo stammt welcher Anteil des geförderten Wassers?
- Wie lange braucht es, um von dort in die Fassung zu gelangen?

1.2 Methoden zur Bestimmung von Einzugsbereichen

Für die Bestimmung der Einzugsbereiche bestehender Grundwasserfassungen gibt es verschiedene Möglichkeiten *(Bussard et al. 2003)*: Die grafische Methode beruht darauf, dass zuerst aufgrund der Grundwasserspiegelmessungen ein Höhengleichenplan gezeichnet wird. Senkrecht zu den Höhengleichen des Grundwasserspiegels können Stromlinien eingezeichnet werden. Der Einzugsbereich ergibt sich aus der Umhüllenden aller Stromlinien, welche zur Fassung gelangen. Die Methode setzt eine grosse Zahl von Grundwasserspiegelmessungen voraus. Für die Umgebung der Fassung kann die graphische Methode durch analytische Methoden ergänzt werden. Hier geht es vor allem darum, mittels einfacher Formeln den unteren Kulminationspunkt und die Breite des Anströmbereiches abzuschätzen. Für die Ermittlung von Einzugsbereichen können auch numerische Modelle eingesetzt werden. Numerische Modelle haben insbesondere den Vorteil, dass auch die Einzugsbereiche geplanter Brunnen ermittelt werden können. Der vorliegende Beitrag beschreibt den Einsatz des regionalen Grundwassermodells des Thurtals für die Bestimmung von Einzugsbereichen. Das Grundwassermodell ist in *Gmünder & Spring (2009)* beschrieben.

1.3 Heterogenität des Untergrundes

Das regionale Grundwassermodell des Thurtals dient in erster Linie zur Bilanzierung der Grundwasserströme. Die Durchlässigkeit des Schotters wurde bei der Kalibrierung des Modells möglichst homogen gehalten. In der Wirklichkeit weist der Thurtalschotter lokale Heterogenitäten auf. Diese beeinflussen die Wasserbilanz und die Lage des Grundwasserspiegels kaum. Sie führen jedoch zu einer Variation der Richtung und Geschwindigkeit der Grundwasserströmung. Dieser Effekt wird als Makrodispersion bezeichnet. Durch die Makrodispersion wird das Gebiet, aus dem Wasser in eine Grundwasserfassung gelangt, vergrössert. Lokale Geschwindigkeitsunterschiede können weder durch die vorhandenen Grundwasserspiegelmessungen noch durch das Modell deterministisch erfasst werden. In der Grundwassermodellierung werden dazu entweder die Modelldurchlässigkeiten nach statistischen Gesetzmässigkeiten variiert (Monte Carlo-Methode), oder die Makrodispersion wird mit dem Fick'schen

Gesetz berücksichtigt *(Kinzelbach 1992)*. Feldversuche haben gezeigt, dass die Makrodispersion in Schotter-Grundwasserleitern, insbesondere in Querrichtung zur Strömungsrichtung, relativ klein ist *(Kinzelbach 1992)*. Deshalb können Einzugsbereiche auch unter Vernachlässigung der Dispersion recht gut bestimmt werden. Im Folgenden werden je eine Methode mit und ohne Berücksichtigung der Dispersion vorgestellt: Fliesswegberechnungen und Transportberechnungen im inversen Fliessfeld.

2 Fliesswegberechnungen

2.1 Methode

Mit Fliesswegberechnungen wird der Weg eines Wasserteilchens aufgrund der vorgängig berechneten Grundwasserspiegelhöhe des numerischen Modells unter Vernachlässigung der Dispersion verfolgt. Man nennt dies auch advektiven Transport. Da Fliesswegberechnungen ohne Verfeinerung des Finite-Elemente-Netzes durchgeführt werden können, wird die Methode häufig eingesetzt. Die meisten der heute in den Finite-Elemente-Programmpaketen integrierten Fliessweg-Algorithmen beruhen auf der Verfolgung von Wasserteilchen im resultierenden Geschwindigkeitsfeld. Das Geschwindigkeitsfeld weist jedoch an den Elementgrenzen Diskontinuitäten auf, was zu Ungenauigkeiten in der Fliesswegbestimmung führt. Für die Fliesswegberechnungen mit dem Grundwassermodell des Thurtals wurde deshalb ein Algorithmus implementiert, bei welcher ein kontinuierliches Geschwindigkeitsfeld erzeugt wird *(Cordes & Kinzelbach 1992)*. Dabei wird das Modellgebiet in sogenannte Patches unterteilt, welche jeweils einen Knoten und einen Viertel der angrenzenden Elemente umfassen. Für den Bereich des Patches ist die Massenerhaltung erfüllt, d.h., die Summe der über den Rand zuströmenden und abströmenden Wassermengen entspricht dem Knotenfluss. Der Knotenfluss kann aus den Darcy-Geschwindigkeiten der angrenzenden finiten Elemente des Grundwassermodells errechnet werden. Er entspricht in einem zeitlich konstanten, sogenannt «stationären» Grundwassermodell dem durch die Randbedingungen vorgegebenen Knotenfluss. Bei einem instationären Modell entspricht der aus den Darcy-Geschwindigkeiten errechnete Fluss der Summe aus dem vorgegebenen Knotenfluss und der Speicherveränderung. Für das Geschwindigkeitsfeld innerhalb des Patches wird zusätzlich gefordert, dass es wirbelfrei ist, d.h., dass das Integral der Darcy-Geschwindigkeit über den geschlossenen Rand des Patches zu Null wird.

Zur Veranschaulichung der Vorteile des Verfahrens wurde ein kleines Finite-Elemente-Modell mit 264 linearen Dreieckselementen erzeugt *(Abbildung 1)*. An zwei Rändern wurde der Grundwasserspiegel festgehalten (rote Linien) und in einem Punkt wurde eine Grundwasserfassung simuliert (roter Punkt). Von der Entnahmestelle wurden die Fliesswege einmal mit FEFLOW *(Diersch 2006)* und einmal im kontinuierlichen Geschwindigkeitsfeld rückwärts verfolgt. Bei beiden Berechnungen wurden die Startpunkte so angeordnet, dass sie gleichen Entnahmemengen entsprechen. Die Umhüllende der Fliesswege, also der Einzugsbereich der Grundwasserfassung, ist bei beiden Methoden ungefähr gleich. Die mit

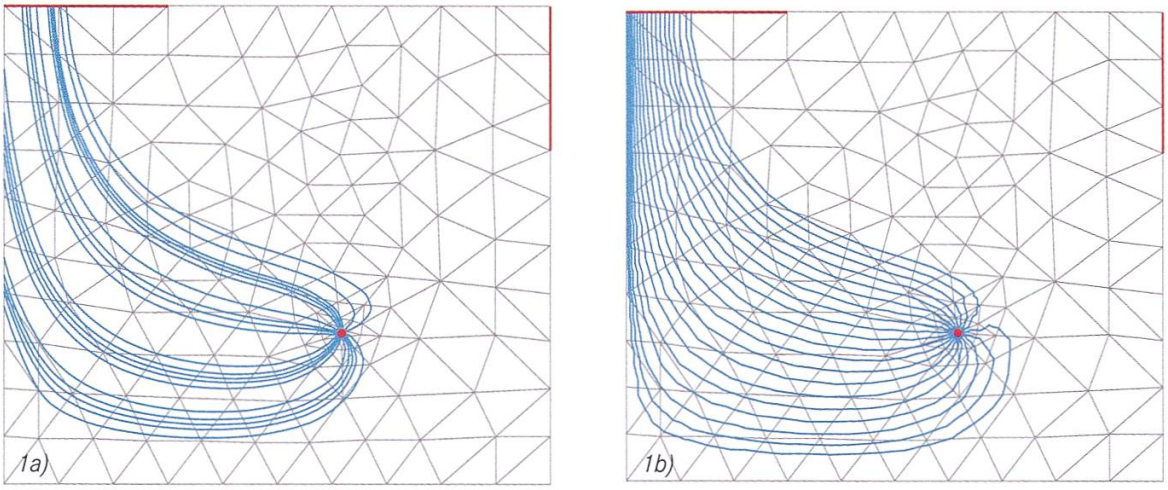

Abbildung 1: Von der Entnahmestelle (roter Punkt) zurückverfolgte Fliesswege. An den Modellrändern mit Festpotenzial (rote Linien) kann dem Modell Wasser zu- oder abströmen, der restliche Modellrand ist undurchlässig. Abbildung 1a: Fliesswege mit FEFLOW berechnet. Abbildung 1b: Fliesswege im kontinuierlichen Fliessfeld berechnet.

FEFLOW berechneten Fliesswege besitzen jedoch sehr unterschiedliche Abstände und sie enden teilweise an einem undurchlässigen Rand des Modells.

Der entscheidende Vorteil des implementierten Verfahrens ist, dass die Massenbilanz im kontinuierlichen Fliessfeld erfüllt ist. Im vorliegenden Beispiel bedeutet dies, dass aus dem Bereich zwischen zwei Fliesswegen immer der gleiche Anteil des gefassten Wassers stammt. Diese Tatsache wird für eine Bilanzierung im Einzugsbereich genutzt. Damit können die eingangs gestellten Fragen des *Woher*, *Wieviel* und *Wie lange* beantwortet werden. Jeder Fliessweg wird als Band mit einer kleinen Breite betrachtet, welches einen Teil zum gefassten Grundwasser beiträgt. Entlang dieses Bandes wird jeweils bei Überquerung einer Elementseite die über die Randbedingungen des Modells hinzugekommene Wassermenge aufaddiert. Die bisher abgelaufene Fliesszeit entspricht der Aufenthaltszeit dieser Wassermenge. Die Breite des Bandes wird anschliessend um den entsprechenden Betrag reduziert. Wenn die aufaddierte Wassermenge der in der Entnahmestelle gefassten Wassermenge entspricht, wird der Fliessweg gestoppt. Werden etwa 20 solche Bänder bilanziert, so wird die Wasserbilanz des gesamten Einzugsbereiches genügend genau abgebildet, auch wenn die Breite des einzelnen Bandes sehr klein ist. Das Verfahren wird im Folgenden als «Fliessband-Verfahren» bezeichnet.

2.2 Anwendung des Fliessband-Verfahrens für die Fassung Widen

Nachbildung der Grundwasserverhältnisse mit dem Modell

Das beschriebene Fliessband-Verfahren wurde für die Bestimmung des Einzugsbereiches der Fassung Widen eingesetzt. Die Fassung befindet sich in der Gemeinde Felben bei den Koordinaten 712 107/271 572. Sie fördert Trinkwasser für die Gemeinde Frauenfeld. Das Pumpwerk befindet sich ca. 200 m von der Thur entfernt zwischen dem Binnenkanal und einem Gerinne, welches das Grundwasser drainiert *(Abbildung 2)*. Es liegt in einem Gebiet mit gut durchläs-

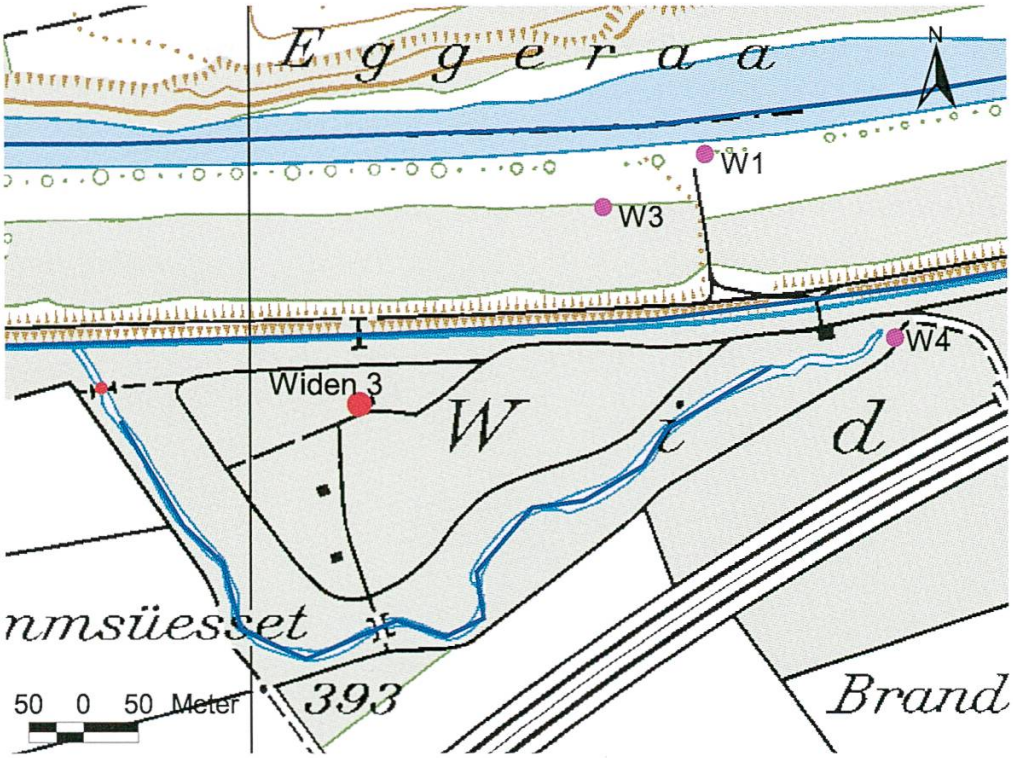

Abbildung 2: Situationsplan der Umgebung des Fassung Widen 3 (roter Punkt). Mit violetten Punkten W1, W3 und W4 sind Grundwassermessstellen in der Umgebung der Fassung angegeben. Hintergrundkarte reproduziert mit Bewilligung von swisstopo (BA091018).

sigem Schotter. In der Fassung werden im Mittel etwa 5600 m³ Grundwasser pro Tag gefördert.

Fliesswegberechnungen reagieren sensitiv auf kleine Änderungen der Fliessrichtung. Deshalb ist es wichtig, dass das zugrundegelegte numerische Grundwassermodell die gemessenen Grundwasserspiegel gut abbildet. Das regionale Grundwassermodell des Thurtals bildet die Situation im Bereich des Pumpwerks Widen mit einer hohen Genauigkeit ab. Am Tag der Stichtagsmessung vom 12.09.2006 betrug die Abweichung des Modells von den Messwerten im dargestellten Ausschnitt weniger als 6 cm *(Abbildung 3)*. Auch das zeitliche Verhalten des Grundwasserspiegels wird mit dem Modell gut nachgebildet *(Abbildung 4)*.

Berechnung der Fliesswege

Das Grundwasser im Thurtal wird hauptsächlich durch Infiltration der Thur und Grundwasserneubildung aus Niederschlag gespiesen. Thurhochwasser und Starkniederschläge verursachen Grundwasserspiegelschwankungen, welche im Gebiet von Weinfelden bis zu 7 m betragen können. Das regionale Grundwassermodell des Thurtals wurde deshalb als zeitabhängiges (instationäres) Modell konzipiert. Bei der Anwendung des Fliessband-Verfahrens hat dies den Nachteil, dass die Speicherveränderung nicht direkt einer Infiltrationsquelle zugeordnet werden kann. Das Verfahren liefert aber immer noch die korrekte Gesamtbilanz entlang eines Fliessweges und damit die korrekten Umrisse des Einzugsbereichs.

Um die Stärken des Fliessband-Verfahrens trotzdem ausschöpfen zu können, wurde ein stationäres Modell erzeugt, indem für alle Randbedingungen der über den Zeitraum vom 1.4.2006 bis 31.3.2007 gemittelte Wert vorgegeben wurde:

Thurabfluss:	37,6 m^3/s
Fördermenge im Pumpwerk Widen:	5310 m^3/Tag
Grundwasserneubildung aus Niederschlag:	315 mm/Jahr (Ackerbaugebiete)

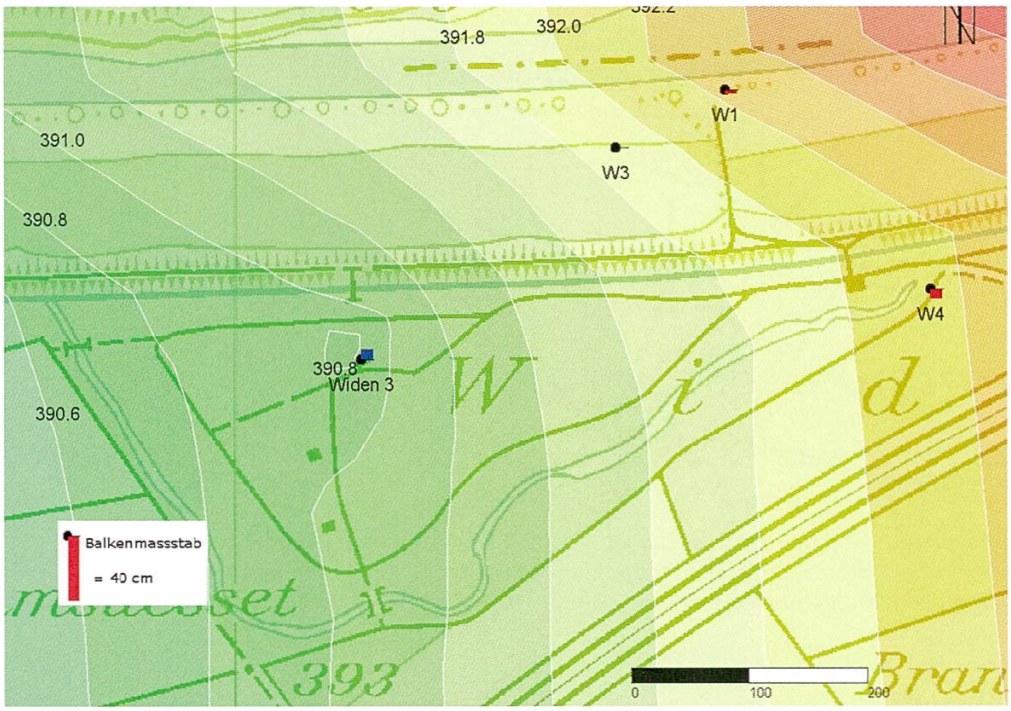

Abbildung 3: Mit dem regionalen Grundwassermodell berechneter Grundwasserspiegel am 12.09.2006 im Bereich der Fassung Widen 3. Mit Balken ist die Differenz des berechneten zum gemessenen Wasserspiegel angegeben. Die Differenz beträgt im Pumpwerk Widen 6 cm. Hintergrundkarte reproduziert mit Bewilligung von swisstopo (BA091018).

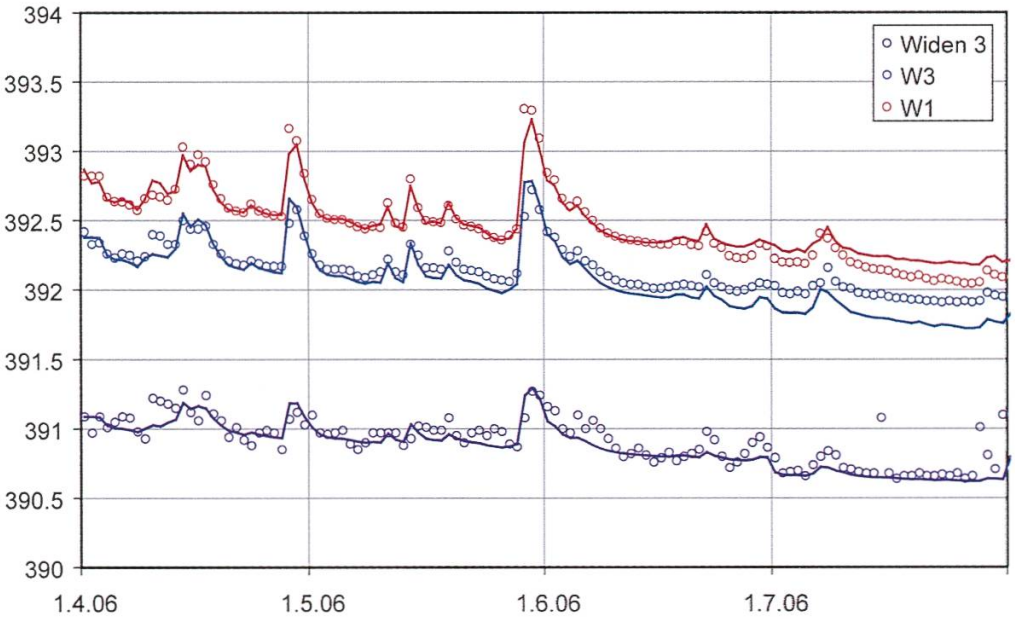

Abbildung 4: Berechnete (durchgezogene Linien) und gemessene (Symbole) Ganglinien des Grundwasserspiegels im Bereich des Pumpwerks Widen 3.

Die aus diesem Modell resultierenden Grundwasserspiegel entsprechen fast genau dem Mittel der resultierenden Grundwasserspiegel des instationären Modells. Erfahrungen mit Modellen am Mittelrhein zeigten, dass sich der gemittelte Grundwasserspiegel für die Bestimmung von Einzugsbereichen gut eignet.

Bei der numerischen Modellierung der Grundwasserströmung in Schotter-Grundwasserleitern wird der Schotter als Kontinuum betrachtet. Für die Berechnung der effektiven Fliessgeschwindigkeiten ist eine Annahme zur durchflusswirksamen Porosität erforderlich. Als durchflusswirksame Porosität wird der Anteil des Querschnitts bezeichnet, der vom Grundwasser durchflossen wird. Für alle folgenden Berechnungen wurde die durchflusswirksame Porosität zu 15% angenommen.

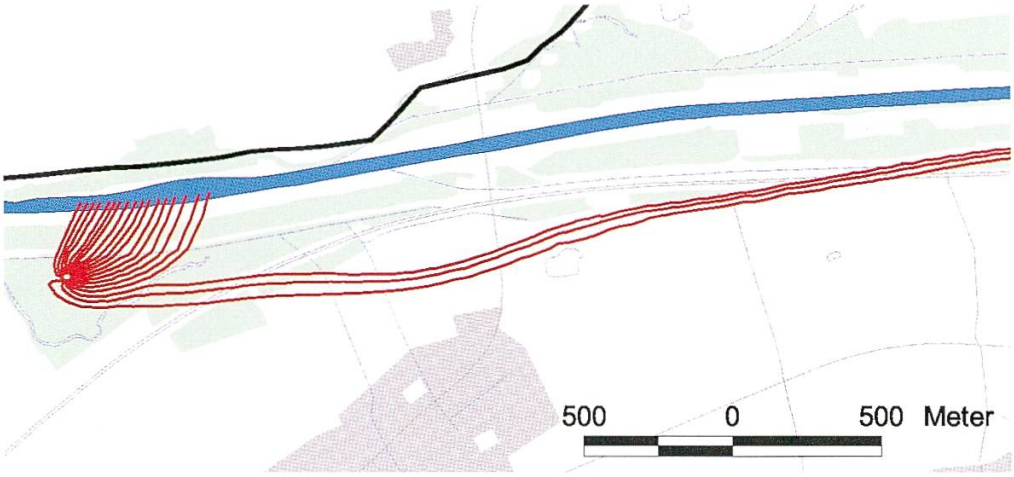

Abbildung 5: Von der Fassung Widen 3 rückwärts verfolgte Fliesswege im stationären Modell des Mittelwasserstandes. Hintergrundkarte reproduziert mit Bewilligung von swisstopo (BA091018).

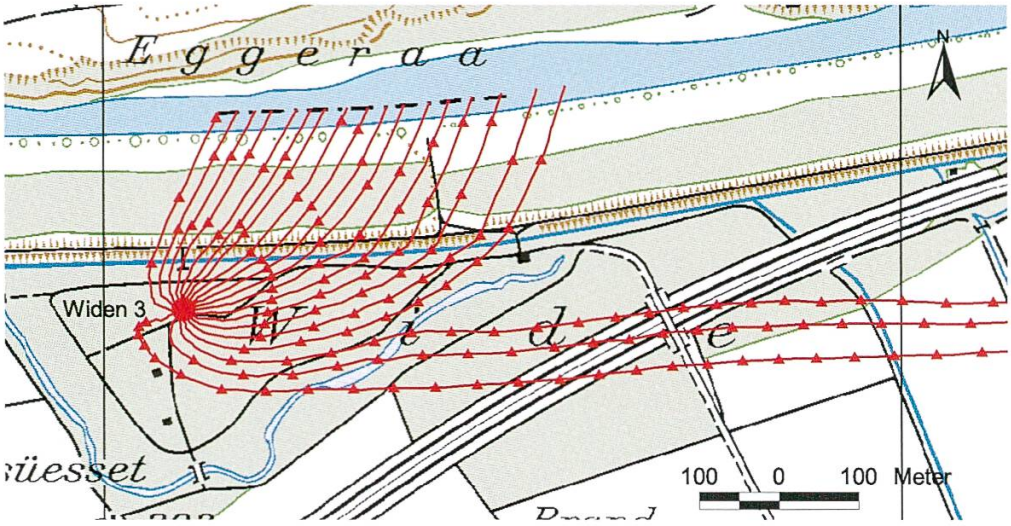

Abbildung 6: Von der Fassung Widen 3 rückwärts verfolgte Fliesswege im stationären Modell des Mittelwasserstandes in einem Detailausschnitt. Mit den Symbolen wird die Fliesszeit angegeben. Jeweils zwischen zwei Symbolen beträgt die Fliesszeit 5 Tage. Hintergrundkarte reproduziert mit Bewilligung von swisstopo (BA091018).

Resultate

Die *Abbildungen 5* und *6* zeigen die resultierenden Fliesswege im stationären Modell des Mittelwasserstandes. Der Einzugsbereich der Fassung Widen ist in zwei Teilgebiete unterteilt. Einerseits umfasst er das Gebiet zwischen der Fassung und der Thur, andererseits einen schmalen Streifen entlang des Binnenkanals nach Osten. Dort exfiltriert direkt oberhalb einer Schwelle ebenfalls Wasser aus der Thur. Zwischen den beiden Teilgebieten wird das exfiltrierende Thurwasser im Binnenkanal sofort wieder drainiert und gelangt nicht in die Fassung. Das geförderte Wasser setzt sich also aus jungem Thurwasser, altem Thurwasser und aus Niederschlag gebildetem Grundwasser zusammen.

Aus der Wasserbilanz entlang der Fliesswege ergibt sich ein Anteil an jungem Thurinfiltrat von 84%. Aus dem Thurabschnitt bei Grüneck stammen weitere 12% des geförderten Wassers. Nur 4% des geförderten Wassers werden aus Niederschlag gebildet *(Tabelle 1)*. Das junge Thurinfiltrat besitzt eine mittlere Verweildauer von 30 Tagen, wobei je nach Fliessweg die Verweildauer von etwa 20 bis 50 Tage variiert. Das Thurinfiltrat aus dem Gebiet von Grüneck ist etwa 400 Tage unterwegs, bis es in der Fassung Widen gefördert wird *(Tabelle 2)*.

Die *Abbildungen 7* und 8 zeigen die berechneten Fliesswege bei Hochwasser- und Niederwassersituation in der Thur. Zur Analyse der Hochwassersituation wurden die Fliesswege am 24.9.2006, sieben Tage nach dem Hochwasser vom 17.9.2006 gestartet. Die minimale Fliesszeit zwischen Thur und Fassung beträgt 9 Tage. Im Mittel beträgt die Aufenthaltszeit des jungen Thurwassers

	Stationär	Startzeitpunkt der Fliesswege	
		24.09.2006	30.11.2006
Junges Thurwasser	84%	87%	79%
Altes Thurwasser	12%	16%	16%
Neubildung aus Niederschlag	4%		
Grundwasserspeicher		-3%	5%

Tabelle 1: Herkunft des Grundwassers in der Fassung Widen 3 bei verschiedenen Zuständen.

	Stationär	Startzeitpunkt der Fliesswege	
		24.09.2006	30.11.2006
Junges Thurwasser	30 Tage	20 Tage	27 Tage
Altes Thurwasser	400 Tage	> 177 Tage*	> 244 Tage*
Neubildung aus Niederschlag	185 Tage		
Grundwasserspeicher			

*Tabelle 2. Mittlere Verweildauer des Grundwassers in der Fassung Widen 3 bei verschiedenen Zuständen. (*Simulationsdauer).*

20 Tage *(Tabelle 2)*. Der Anteil des jungen Thurwassers am gefassten Grundwasser beträgt etwa 85%. Infolge des Thurhochwassers wird im Einzugsbereich der Speicher aufgefüllt *(*negative Zahl in *Tabelle 1)*.

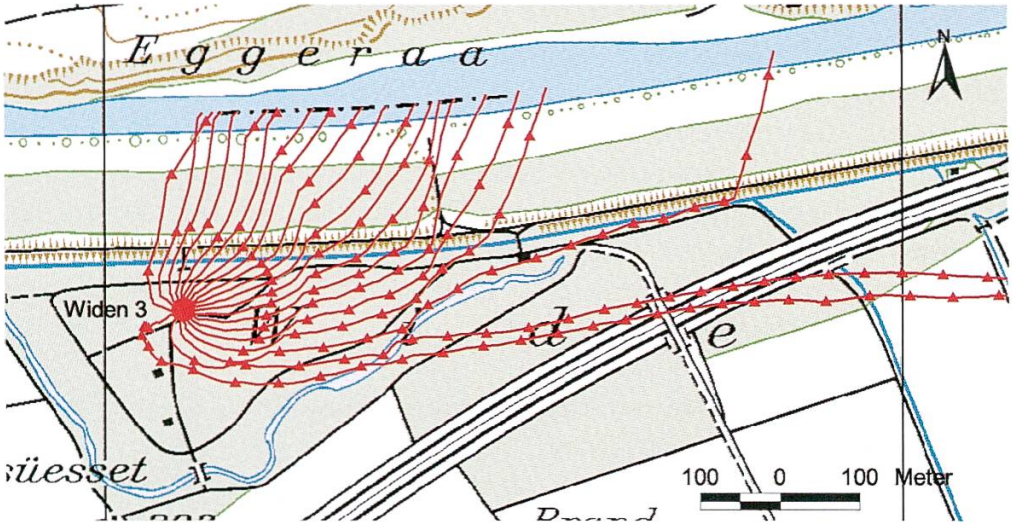

Abbildung 7: Von der Fassung Widen 3 rückwärts verfolgte Fliesswege nach einem Thurhochwasser. Mit den Symbolen wird die Fliesszeit angegeben. Jeweils zwischen zwei Symbolen beträgt die Fliesszeit 5 Tage. Hintergrundkarte reproduziert mit Bewilligung von swisstopo (BA091018).

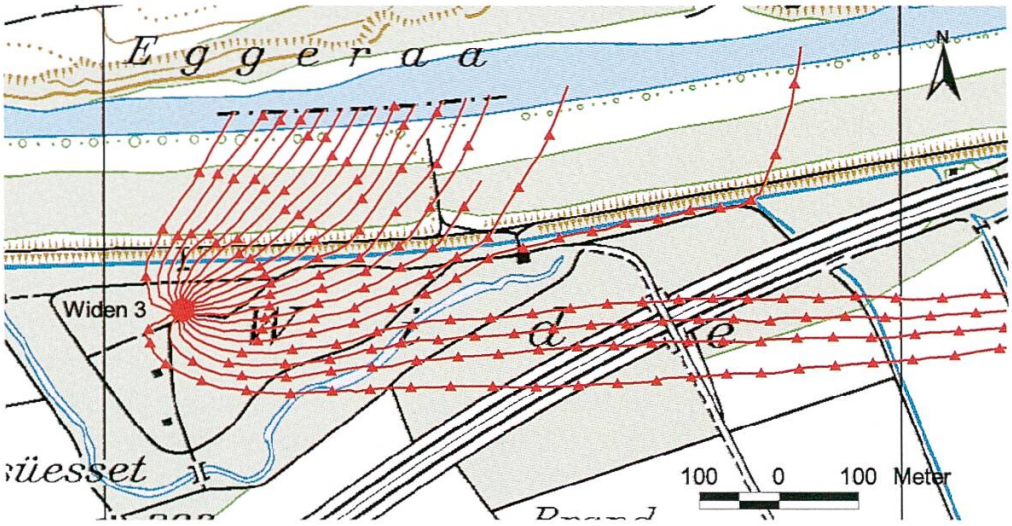

Abbildung 8: Von der Fassung Widen 3 rückwärts verfolgte Fliesswege bei Niederwasser der Thur. Mit den Symbolen wird die Fliesszeit angegeben. Jeweils zwischen zwei Symbolen beträgt die Fliesszeit 5 Tage. Hintergrundkarte reproduziert mit Bewilligung von swisstopo (BA091018).

3 Inverse Transportmodellierung

3.1 Berücksichtigung der Makrodispersion

Zur Berücksichtigung der Makrodispersion kann jedem, durch einen Fliessweg verfolgten Wasserpartikel nach jedem Zeitschritt, eine zufällige, statistisch

verteilte Bewegung hinzugefügt werden. Werden viele Fliesswege berechnet und jeweils deren Lage nach jedem Zeitschritt betrachtet, so ergibt sich eine Wolke von Punkten, von denen Wasser zur Fassung strömen kann. Über diese Punktewolke wird ein regelmässiges Raster gelegt und in jeder Rasterzelle werden die Punkte gezählt. Deren Anzahl ist ein Mass für die Wahrscheinlichkeit, mit der ein Wasserteilchen aus der Rasterzelle in den Brunnen gelangt *(Uffink 1990)*. Das beschriebene Verfahren entspricht einer Stofftransportmodellierung, mit dem Unterschied, dass die Stoffausbreitung in entgegengesetzter Richtung zum berechneten Geschwindigkeitsfeld erfolgt. An Stelle der Wasserentnahme im Brunnen wird eine Wasserzugabe mit konstanter Stoffkonzentration vorgegeben. Man spricht dabei auch von einer inversen Transportmodellierung. Ob dazu das oben beschriebene Random-Walk-Verfahren oder eine numerische Lösung der Transportgleichung eingesetzt wird, ist nicht von Bedeutung. Für die Fassung Widen wurde die Transportgleichung gelöst.

3.2 Anwendung der inversen Transportmodellierung für die Fassung Widen

Anforderungen an die Modellfeinheit

Bei der Transportmodellierung wird die Makro-Dispersion mit Hilfe von longitudinalen und transversalen Dispersivitätswerten beschrieben. Die Dispersivitätswerte sind abhängig von der Längenskala des Transportweges und damit von der Zeitskala der Fragestellung. Für die Bestimmung von Schutzzonen ist eine Zeitskala bis etwa 40 Tage interessant. Dies bedeutet bei der im Thurtal beobachteten Abstandsgeschwindigkeit von 5–10 m/Tag eine Längenskala von 200–400 m. Für diese Skala beträgt die aus Feldversuchen bestimmte longitudinale Dispersivität etwa 5–10 m. Für das Verhältnis von transversaler zu longitudinaler Dispersivität wurden Werte von 0,01 bis 0,3 ermittelt *(Kinzelbach 1992)*. Für die inverse Transportmodellierung werden folgende Werte eingesetzt:

Longitudinale Dispersivität α_L: 7 m
Transversale Dispersivität α_T: 1 m

Damit die durch die Numerik verursachte künstliche Dispersion klein bleibt und bei der Lösung der Transportgleichung keine Oszillationen auftreten, dürfen die Ausdehnungen der finiten Elemente maximal 10 m betragen und die Berechnung muss in Tageszeitschritte unterteilt werden. Die Elementunterteilung des regionalen Grundwassermodells ist also für eine Transportmodellierung viel zu grob. Für den Einzugsbereich der Fassung Widen wurde deshalb eine Modelllupe mit feinerer Elementeunterteilung erzeugt.

Aufbau der Modelllupe

Die Modelllupe umfasst die Fassungen Widen 1 bis 3 sowie den Binnenkanal, das südlich der Brunnen verlaufende Drainagegerinne und die Thur. Das Modellgebiet wurde in 10'909 Elemente unterteilt. Die Seitenlängen der Elemente betragen damit etwa 10 m. Am Aussenrand der Modelllupe werden die Potenziale des regionalen Modells übernommen. Im Innern des Modells werden die gleichen Randbedingungen wie für das regionale Modell verwendet. Die *Abbildung 9* zeigt die Lage der Modelllupe im Vergleich zum regionalen Modell. Die Unterteilung in finite Elemente ist in *Abbildung 10* visualisiert. Der eingesetzte Programmcode

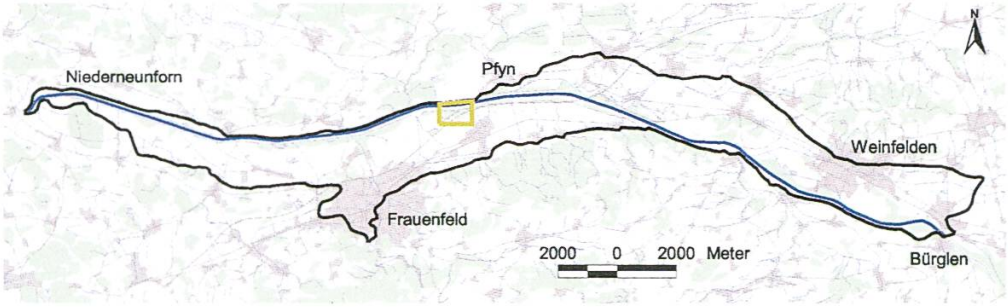

Abbildung 9: Lage der Modelllupe Widen (oranges Polygon) im Vergleich zum regionalen Grundwassermodell des Thurtals (schwarzes Polygon). Hintergrundkarte reproduziert mit Bewilligung von swisstopo (BA091018).

FEFLOW *(Diersch 2006)* verlangt für die inverse Transportmodellierung ein stationäres Modell. Deshalb wurde auch bei der Modelllupe eine Mittelung über den Zeitraum vom 1.4.2006 bis zum 31.3.2007 vorgenommen.

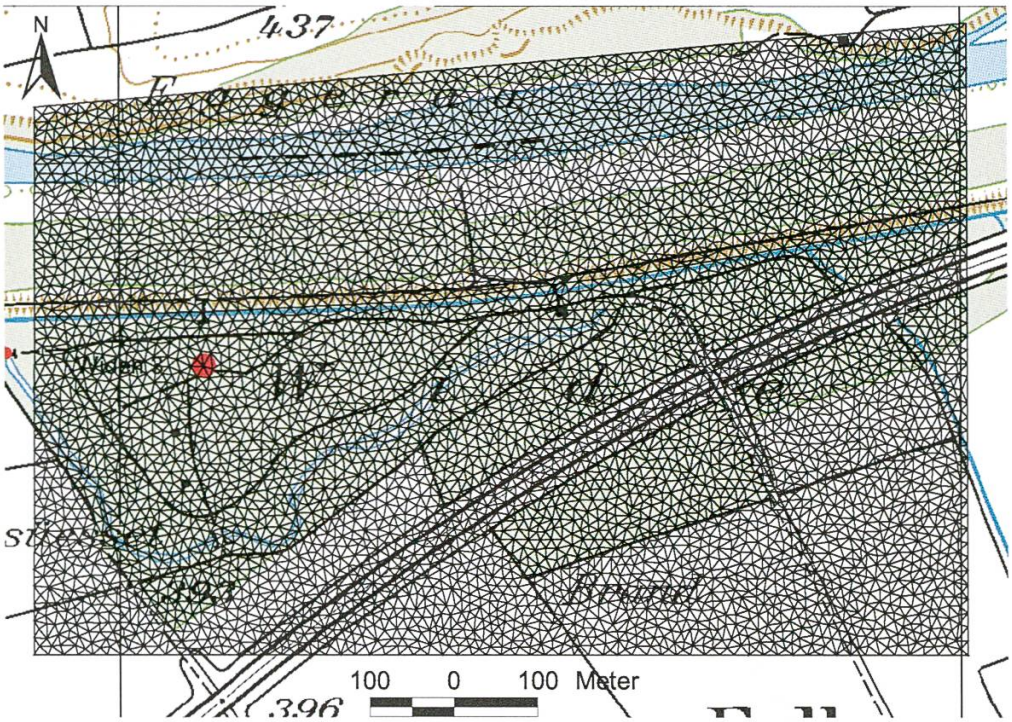

Abbildung 10: Finite-Elemente-Netz der Modelllupe Widen. Hintergrundkarte reproduziert mit Bewilligung von swisstopo (BA091018).

Resultierender Einzugsbereich

Mit der inversen Transportmodellierung kann der Einzugsbereich für verschiedene Fliesszeiten dargestellt werden. Die *Abbildungen 11* bis *14* zeigen, dass sich der Einzugsbereich für kleine Fliesszeiten zuerst radial um den Brunnen ausdehnt und schon bald die Thur erreicht. Wird bei der inversen Transportmodellierung im Brunnen eine Konzentration von 100 vorgegeben, so entspricht die an einer bestimmten Stelle resultierende Stoffkonzentration direkt der Wahrscheinlichkeit, dass von dort Grundwasser in die Fassung gelangt. Die *Abbildung 11* ist so zu lesen, dass die Wahrscheinlichkeit, nach 10 Tagen bereits

Thur-Infiltrat zu fördern, etwa 30 Prozent beträgt. Nach 20 Tagen beträgt diese Wahrscheinlichkeit bereits 90% *(Abbildung 12)*. Mit zunehmender Fliesszeit breitet sich der modellierte Einzugsbereich nach Osten aus. Die bei der Fliesswegberechnung gezeigte Zweiteilung des Einzugsgebietes kann nicht dargestellt werden. Infolge der Dispersion kann die Stoffkonzentration in den Bereich nördlich des Binnenkanals gelangen. Von dort bewegt sie sich sofort entgegen des starken Strömungsgradienten in Richtung Thur.

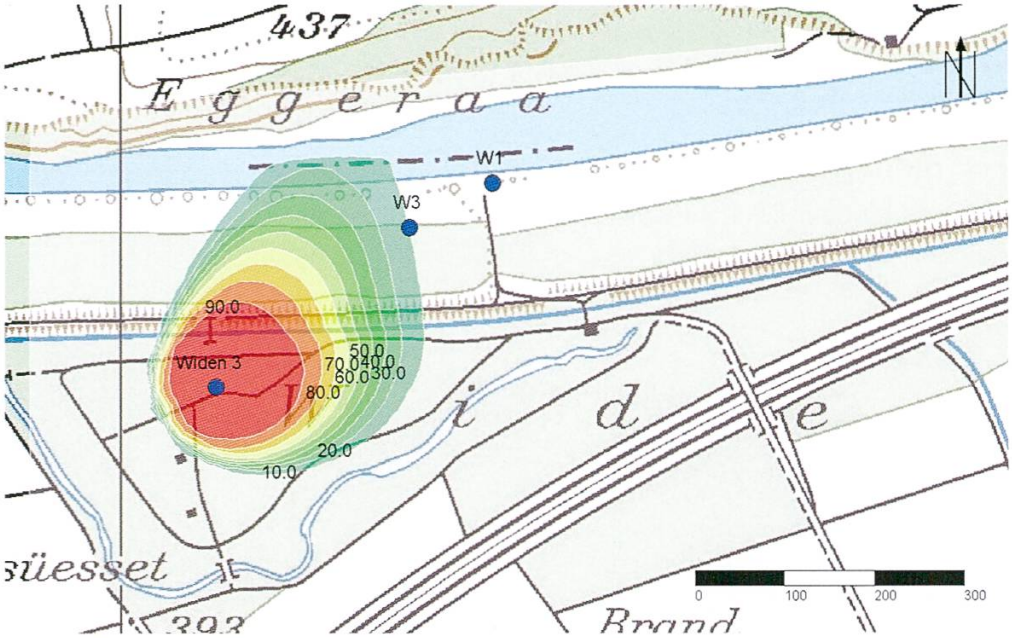

Abbildung 11: Aus der inversen Transportmodellierung resultierende Wahrscheinlichkeitsverteilung für ein Eintreffen in der Fassung Widen innerhalb von 10 Tagen. Hintergrundkarte reproduziert mit Bewilligung von swisstopo (BA091018).

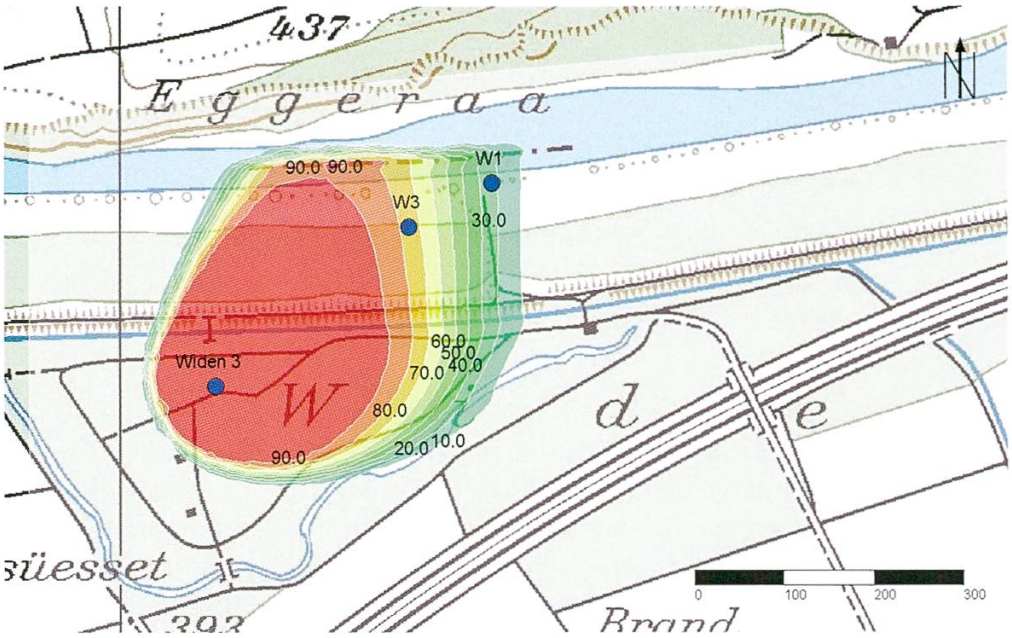

Abbildung 12: Aus der inversen Transportmodellierung resultierende Wahrscheinlichkeitsverteilung für ein Eintreffen in der Fassung Widen innerhalb von 20 Tagen. Hintergrundkarte reproduziert mit Bewilligung von swisstopo (BA091018).

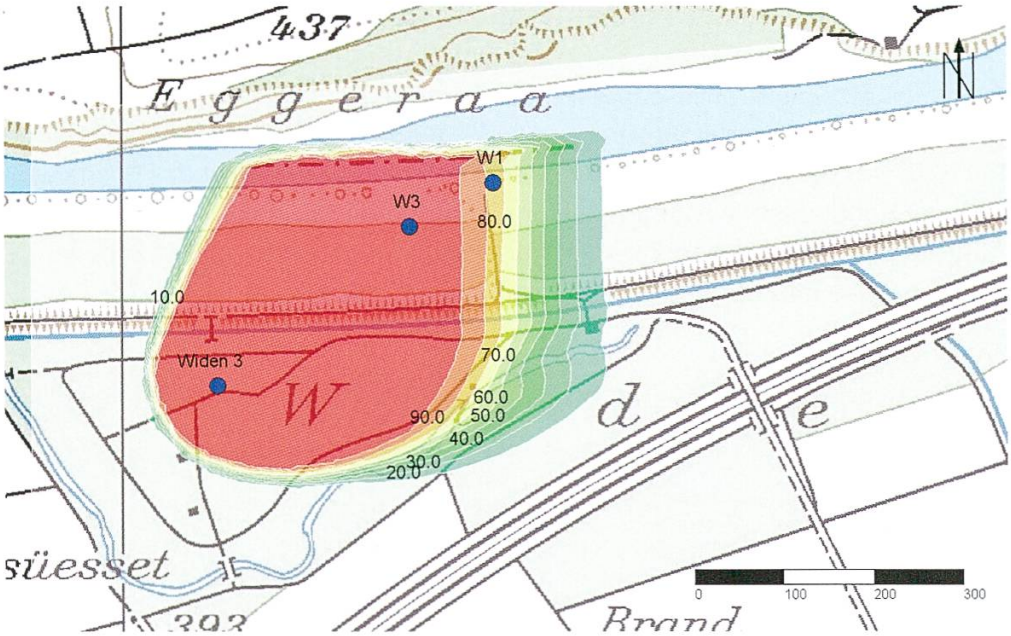

Abbildung 13: Aus der inversen Transportmodellierung resultierende Wahrscheinlichkeitsverteilung für ein Eintreffen in der Fassung Widen innerhalb von 30 Tagen. Hintergrundkarte reproduziert mit Bewilligung von swisstopo (BA091018).

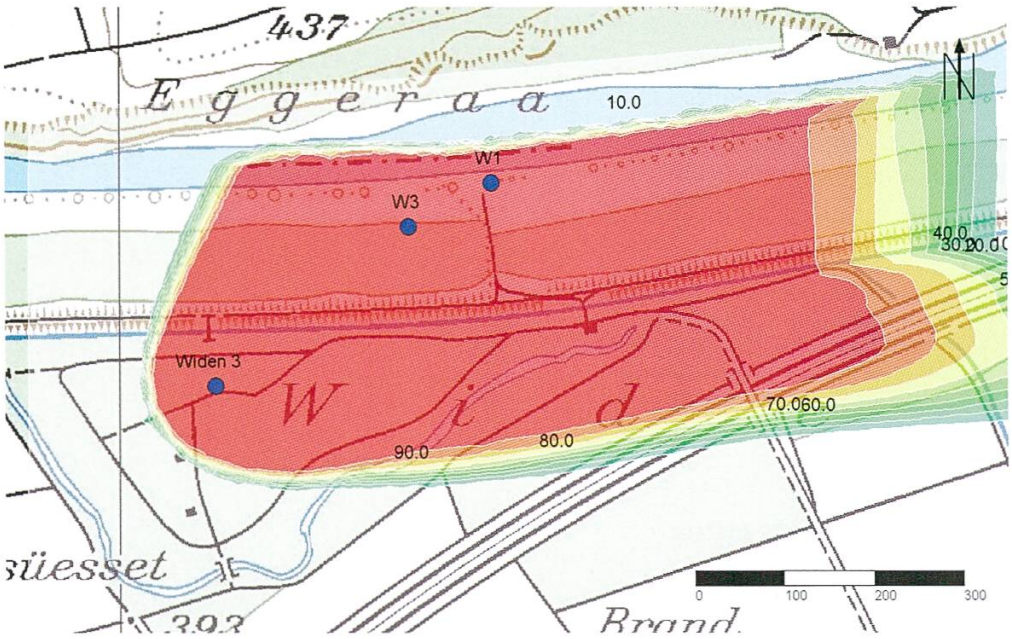

Abbildung 14: Aus der inversen Transportmodellierung resultierende Wahrscheinlichkeitsverteilung für ein Eintreffen in der Fassung Widen innerhalb von 100 Tagen. Hintergrundkarte reproduziert mit Bewilligung von swisstopo (BA091018).

4 Überprüfung der Plausibilität anhand der Grundwasserchemie

Zwischen 2002 und 2005 charakterisierte ein Team der EAWAG mit verschiedenen Methoden das geförderte Wasser des Pumpwerks Widen 3 *(Hoehn 2005)*. Mit Hilfe von Zeitreihenanalysen wurden die mittlere Verweilzeit des Grundwassers bei Hochwasser zu 16±5 Tagen, im Jahresmittel zu 34±12 Tagen bestimmt. Aufgrund der chemischen Zusammensetzung des geförderten Wassers wurde der Anteil des jungen Thur-Infiltrates zu 35±10% geschätzt *(Tabelle 3)*.

	Anteil in [%]	Mittlere Verweilzeit [Tage]	
	Hochwasser	Hochwasser	Niederwasser
Junges Thur-Infiltrat	35 ±10	16 ±5	34 ±12
Thur-Infiltrat Gesamt	70–85		
Echtes Grundwasser	15–30		

Tabelle 3: Resultate der EAWAG-Studie für das Pumpwerk Widen.

Die Resultate der EAWAG zeigen bezüglich der Verweildauer ähnliche Zeiten, wie sie mit der Fliessband-Analyse ermittelt wurden. Der Anteil des Jungen Thur-Infiltrates wird allerdings kleiner geschätzt. Das Team der EAWAG bezeichnet ein Thur-Infiltrat als jung, wenn es einige Tage bis wenige Wochen alt ist. Bei der Fliessband-Analyse wurde Thurwasser mit einer Aufenthaltszeit bis zu 50 Tagen noch als jung bezeichnet. Als echtes Grundwasser wird in der EAWAG-Studie das Grundwasser bezeichnet, welches durch Niederschlag und Hangwasser gespiesen wird. Dieser Anteil ist in der EAWAG-Studie ebenfalls höher als bei der Fliessband-Analyse. Die Aussage muss allerdings relativiert werden, da Thurwasser nach einer Passage von 400 Tagen kaum mehr von echtem Grundwasser unterschieden werden kann.

5 Schlussfolgerung

Das regionale Grundwassermodell des Thurtals wurde zur Charakterisierung des Einzugsbereichs der Grundwasserfassung Widen eingesetzt. Dabei wurde das Modell einerseits durch einen neuen Algorithmus zur Verfolgung von Wasserteilchen ergänzt, andererseits eine Modelllupe des Fassungsbereiches erstellt, welche ihre Randbedingungen aus dem regionalen Modell übernimmt. Das vorgestellte Fliessband-Verfahren erlaubt eine Wasserbilanz entlang von Fliesswegen. Da es auf einem kontinuierlichen Fliessfeld beruht, liefert es zudem gegenüber herkömmlichen Verfahren plausiblere Fliesswege. Verfahren, welche auf Fliesswegen beruhen, vernachlässigen die Makrodispersion im heterogenen Schotter. Diese wurde deshalb durch Transportberechnungen im inversen Fliessfeld berücksichtigt. Die beiden vorgestellten Verfahren ergänzen sich gegenseitig und liefern wertvolle Angaben zum Einzugsbereich der Fassung Widen.

6 Literatur

- *Bussard T., Tacher L., Parriaux A., Bayard D. & Maitre V., 2003:* Dimensionnement des aires d'alimentation Zu, Document de base – Documents environnement no 183, Protection des eaux. OFEPF, BAFU.
- *Cordes C. & Kinzelbach W., 1992:* Continuous Groundwater Velocity Fields and Path Lines in Linear, Bilinear and Trilinear Finite Elements – Water Resources Research, Vol. 28, No 11.
- *Diersch H.-J. G., 2006:* Feflow 5.3, User's Manual – Wasy GmbH.
- *Gmünder C. & Spring U., 2009:* Grundwasserströme und Grundwasserbilanzen – Grundwassermodell Thurtal - Mitteilungen der Thurgauischen Naturforschenden Gesellschaft, Band 63.
- *Hoehn E. & Projektteam W+T, 2005:* Beurteilung der Herkunft des Grundwassers in der Trinkwasserfassung Widen, Frauenfeld – Amt für Umwelt Kanton Thurgau, unpubl. Bericht.
- *Kinzelbach W., 1992:* Numerische Methoden zur Modellierung des Transports von Schadstoffen im Grundwasser – R. Oldenbourg Verlag München Wien, 2. Auflage.
- *Uffink G. J. M., 1990:* Analysis of Dispersion by the Random Walk Method – Proefschrift, Technische Universiteit Delft.

Adresse des Verfasses:

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