

Stephan Hannappel, Matthias Zippel, Traugott Scheytt und Jutta Klein-Goedicke

# Simulation des Arzneimitteleintrages aus oberirdischen Gewässern in das Grundwasser

Für Arzneimittelwirkstoffe wurde eine mathematische Simulation des Eintrages aus oberirdischen Gewässern in das Grundwasser durch Uferfiltration realisiert. Die Ergebnisse konnten anhand von gemessenen Konzentrationen an bekannten Standorten verifiziert werden.

## 1. Einleitung

Arzneimittelwirkstoffe können auf unterschiedlichen Pfaden ins Grundwasser eingetragen werden. Die Eintragspfade unterscheiden sich jedoch nicht prinzipiell von den Eintragspfaden anderer Substanzen. Neben einem flächig begrenzten Eintrag über z. B. Deponien und Lagerflächen gibt es einen Eintragspfad über das Abwasser. Ein großer Anteil an Humanpharmaka gelangt durch den bestimmungsgemäßen Gebrauch oder durch die Entsorgung über die Toilette unverändert oder metabolisiert in das Abwasser. Über Leckagen im Kanalsystem können Wirkstoffe direkt in das Grundwasser gelangen.

Wird das Abwasser in einer Kläranlage behandelt, so wird dort ein Teil der Arzneimittelwirkstoffe abgebaut oder anderweitig aus dem Wasser entfernt. Es ist jedoch auch belegt, dass sie in den Kläranlagen nicht vollständig entfernt werden [1]. Die im Wasser verbliebenen Stoffe gelangen so in die oberirdischen Gewässer (Fließ- oder Standgewässer). Bei influenten Verhältnissen, wie bei Uferfiltration und künstlicher Grundwasseranreicherung, können die in den oberirdischen Gewässern befindlichen Stoffe in das Grundwasser eingetragen werden. Durch Ausbringung von Wirtschaftsdüngern und von Klärschlamm in der Landwirtschaft oder bei der Abwasserverrieselung können Arzneimittelwirkstoffe auch flächenhaft ins Grundwasser eingetragen werden. Nach derzeitigem Kenntnisstand ist der Eintrag von Arzneimittelwirkstoffen über das Abwasser mengenmäßig am bedeutendsten. Der spezielle Fall eines Eintrags über die Uferfiltration gewinnt im Hin-

blick auf das Schutzgut Grundwasser besondere Bedeutung.

Ziel war die möglichst allgemeingültige mathematische Simulation von Arzneimitteleinträgen in das Grundwasser unter dem zu Grunde liegenden Strömungsprozess der Uferfiltration [2].

## 2. Grundlagen

Bei der Uferfiltration handelt es sich um einen künstlich induzierten Prozess, bei dem auf Grund der Entnahme von Grundwasser in der Nähe eines oberirdischen Gewässers ein hydraulischer Gradient in Richtung des Grundwassers erzeugt wird. **Bild 1** zeigt den markierten Bereich der Uferfiltration mit den geringsten Verweilzeiten in einem homogenen Grundwasserleiter. Die Stromlinien zwischen Gewässer und Brunnen für mögliche Entfernungen und Filtertiefen sind angedeutet.

Ziel der Uferfiltration ist meist die Gewinnung von Trinkwasser. Das gewonnene Wasser entstammt dem oberirdischen Gewässer, wird aber im Zuge der Uferfiltration durch natürliche Vorgänge gereinigt. Die Wassergewinnung mittels Uferfiltration ist an eine begrenzte Spannweite hydrogeologischer Verhältnisse und Anordnungen der Gewinnungsanlagen geknüpft. Für diese Spannweiten müssen durch Modellrechnungen mit einem geeigneten Programm die Grundwasserdynamik und die jeweiligen Fließ- bzw. (synonym) Verweilzeiten ermittelt werden.

Die „zu erwartende Umweltkonzentration“ (sog. Predicted Environmental Concentration, PEC) eines Arzneimittelwirkstoffes für die oberirdischen Gewässer

( $PEC_{SW}$ ) ist Ausgangsgröße für die zu bestimmende PEC-Grundwasser ( $PEC_{GW}$ ). Damit ist die  $PEC_{GW}$  für den jeweiligen Arzneimittelwirkstoff eine standortabhängige Funktion. Unter Gleichgewichtsverhältnissen (stationäre Verhältnisse) sind die für die Bestimmung der  $PEC_{GW}$  entscheidenden Steuergrößen die Verweilzeit im Grundwasser, der Anteil von organischem Kohlenstoff ( $C_{org}$ ) im Grundwasserleiter und die Adsorptions- und Abbaueigenschaften des Arzneimittelwirkstoffes.

Die Berechnung der  $PEC_{GW}$  erfolgt in Abhängigkeit von den Verweilzeiten, den Sorptionskoeffizienten und den sog. „ $D_{T50}$ “-Werten („disappearance time 50“; hier näherungsweise als „Halbwertszeiten“ eingesetzt) für den biologischen Abbau. Eine Verifizierung dieser Berechnungen erfolgt durch die Simulation des Stofftransportes an Standorten, an denen gleichzeitig die Konzentrationen der Arzneimittelwirkstoffe im oberirdischen Gewässer und im Grundwasser am Entnahmebrunnen in der Praxis gemessen wurden.

Nach der bisher angewendeten EMEA-Richtlinie [4] wird im Zuge des behördlichen Zulassungsverfahrens von Arzneimittelwirkstoffen eine mögliche Belastung des Grundwassers durch Arzneimittelwirkstoffe betrachtet. In der Richtlinie wird ein Eintrag von Arzneimittelwirkstoffen aus dem oberirdischen Gewässer ins Grundwasser bei dem Prozess der Uferfiltration angenommen und daher die PEC für das Grundwasser aus der Multiplikation der PEC für das oberirdische Gewässer mit dem festgelegten Faktor 0,25 gewonnen. Somit ist der Wert für die  $PEC_{GW}$  invariabel an den Wert der  $PEC_{SW}$  gebunden.

### 3. Methodisches Vorgehen

Im Rahmen einer Literaturrecherche wurden die vorhandenen Unterlagen und Forschungsergebnisse zur Uferfiltration gesammelt und ausgewertet. In Deutschland wird wasserwirtschaftlich bedeutsame Uferfiltration am Rhein, in Berlin an Havel und Spree, an der Elbe und an der Donau betrieben [5]. In Europa verfügen die Niederlande, Österreich, Slowakei, Ungarn und Serbien über Anlagen zur Uferfiltration.

Allen Standorten ist gemein, dass sie sich in der Nähe von oberirdischen Gewässern befinden und dass die Brunnen in mittel bis gut durchlässigen Gesteinen verfiltert sind (Tabelle 1). Auch die Tiefenlage der Filter und die Entnahmemengen an Grundwasser liegen innerhalb relativ enger Bereiche. Die Abstände der Brunnen vom Ufer liegen zwischen 1,5 und 1.200 Metern, mittlere Filtertiefen (Endteufe der Filter) wurden zwischen 4 und 70 Metern ermittelt. Entnahmemengen sind meist nicht dokumentiert und wurden daher mit Werten von 500 bis 5.000 m<sup>3</sup>/d und Brunnen abgeschätzt. Die regional unterschiedlichen Standorte weisen vergleichsweise ähnliche Bedingungen auf. Allerdings sind Kenntnisse zum Transport und zur Mobilität von Arzneimittelwirkstoffen bei der Uferfiltra-

tion kaum vorhanden und vollständige Transekten mit Messungen von Arzneimittelwirkstoffkonzentrationen in oberirdischen Gewässern und im Grundwasser entlang von Strombahnen nicht verfügbar. Zu den wenigen Standorten mit solchen Daten gehören Transekten in Berlin am Tegeler See und am Wannsee [6], am Rhein bei Flehe [7] und an der Elbe bei Torgau [8].

Anders als die oben genannten gemeinsamen Charakteristika für die Uferfiltratstandorte ist die Grundwasserströmung an den Standorten nur annähernd bekannt. Dazu gehören insbesondere die Grundwasserfließzeiten, zu denen es nur vereinzelt Angaben gibt. Die Fließzeiten sind jedoch von größter Bedeutung bei der Beschreibung des Stofftransportes im Grundwasser. Um die Fließzeiten und deren Variabilität zu erhalten, sind numerische Grundwasserströmungsmodelle sehr gut geeignet.

Im behördlichen Zulassungsverfahren für Pflanzenschutz- und für Arzneimittel werden bisher zur Abschätzung der eingetragenen Konzentrationen in den Untergrund Programme eingesetzt, die den Nachteil haben, dass sie zum einen nur den Transport in der wasserungesättigten Zone behandeln und zum anderen einen flächenhaften Eintrag über den Boden nach-

bilden. Demgegenüber findet bei der Uferfiltration ein linienförmiger Eintrag in das Grundwasser statt, ohne dass der Boden oder die wasserungesättigte Zone tangiert werden. Daher bestand im Rahmen der Untersuchungen die Notwendigkeit, ein neues Rechenmodell mit einer Eingabemaske zu erstellen, die mit Daten arbeitet, welche anhand von Berechnungen zur Grundwasserströmung und des Transports von gelösten Stoffen arbeitet.

Nach einer Recherche von derzeit marktüblichen numerischen Strömungs- und Transportmodellen wurde das Programm Visual Modflow als Modellierungswerkzeug für die Grundwasserströmungsmodellierung ausgewählt. Basierend auf den vorhandenen Daten zu den Uferfiltratstandorten wurde ein Modellgebiet so aufgebaut, dass alle Standorte dort abgebildet werden können. Das Modellgebiet hat einen maximalen Abstand der Brunnen zum Ufer von 1.500 m, eine maximale Mächtigkeit des Grundwasserleiters – und somit auch eine maximale Filtertiefe – von 100 m und eine Modellbreite von 300 m. Innerhalb dieses Streifens können alle zuvor recherchierten Uferfiltratstandorte eingepasst werden. Die horizontale Diskretisierung erfolgte durch Rechteckflächen mit einer Ausdehnung von 5 x 5 m.

Damit wird die Grundwasserströmung bei der Uferfiltration unter stationären Bedingungen simuliert. Ziel ist die Bestimmung der kürzesten Fließzeit zwischen Ufer und Brunnen, da diese das erstmalige Auftreten eines Stoffes im Brunnen bedeutet. Im Ergebnis der Modellläufe wird jeweils die kürzeste Verweilzeit (Fließzeit) für den Fließpfad zwischen Ufer (Gewässersohle) und Brunnen (oberer Filterbereich) in Abhängigkeit der Änderung einer der folgenden Variablen bestimmt:

- Ufer-Brunnen-Abstand,
- Filtertiefe (Mächtigkeit des Grundwasserleiters, GWL),
- $k_f$ -Werte (Durchlässigkeitsbeiwerte) und
- Entnahmemengen am Brunnen.

Die Berechnung der Verweilzeiten durch Variation der Randbedingungen erfolgt in definierten Schritten innerhalb gewählter Spannweiten. Dabei orientieren sich die Schrittweiten an Größen, die an bekannten Wasserwerksstandorten auftreten bzw. an den für einzelne Flussbereiche typischen Randbedingungen. Die Entscheidungsmatrix wird über eine Eingabemaske gesteuert, ein Fließschema dazu zeigt Bild 2.

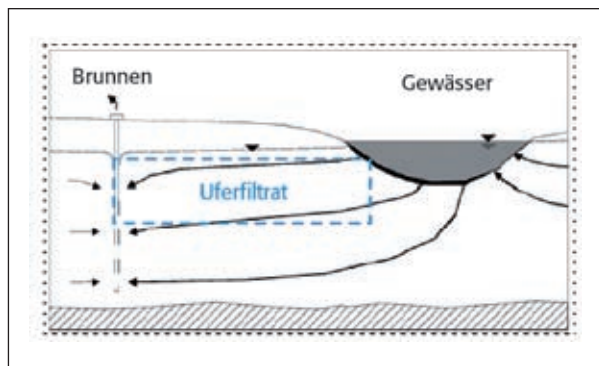


Bild 1: Schematischer Profilschnitt eines Uferfiltratstandortes (verändert nach [3])

Tab. 1 | Spannweite der Parameter und Randbedingungen für die Uferfiltration [4]

Steuergrößen (Parameter)	Median (M) bzw. Mittelwert (MW)	Minimum Verweilzeit	Maximum Verweilzeit
Verweilzeit	30 Tage (MW)	< 1 Tag	1100 Tage
Abstandsgeschwindigkeit	nicht ermittelt	50 m/d	0,15 m/d
Ufer-Brunnen-Abstand	55 m (MW)	1,5 m	1200 m
Filtertiefe (Mächtigkeit GWL)	16 m (M)	4 m	70 m
Durchlässigkeitsbeiwerte ( $k_f$ )	0,0017 m/s (M)	0,02 m/s	0,0001 m/s
Entnahmemenge je Brunnen (Infiltrationsraten)	nicht ermittelt	5.000 m <sup>3</sup> /d	500 m <sup>3</sup> /d

## 4. Ergebnisse

Für 1290 Kombinationen der in Kapitel 3 genannten vier Parameter liegen als Ergebnis der Modellrechnungen Daten zur kürzesten Grundwasserfließzeit zwischen Ufer und Brunnen und zur dazugehörigen Absenkung des Grundwasserspiegels im Brunnen vor. Die Fließzeiten schwanken zwischen wenigen Stunden und bis zu 35 Jahren, wobei der Median der Daten einen Wert von 129 Tagen aufweist. Alle Wertepaare sind in einer Datenbank erfasst und es kann mit geeigneten Abfragen ein Zugriff erfolgen.

Der Transport von im Wasser gelösten Stoffen hängt von einer Vielzahl von Prozessen im Wasser selbst und von Wechselwirkungen zwischen den im Wasser gelösten Stoffen und dem umgebenden Feststoff ab. Die größte Bedeutung hat die Advektion, d. h. der Transport einer gelösten Substanz mit der Grundwasserströmung. Ziel der Untersuchung war es, eine Aussage zum Eintrag von Arzneimittelwirkstoffen zu treffen, die unabhängig vom betrachteten Ort erfolgen soll. Deshalb wurden alle Aspekte zur räumlichen Verteilung im Gestein (Variabilität, Heterogenität, Schichtenaufbau, etc.) nicht betrachtet, da sie nur lokalen Charakter besitzen. Zusätzlich ist der Kenntnisstand zu den transportrelevanten Eigenschaften der Substanzen beim Zulassungsverfahren eingeschränkt, da dort bestenfalls Angaben zum  $K_{OC}$ -Wert, zum  $K_d$ -Wert (Henry-Isotherme), zum  $K_f$ -Wert (Freundlich-Isotherme), der bei unterschiedlichen pH-Werten und Feststoffen ermittelt wurde, sowie zum  $DT_{50}$ -Wert unter aeroben und anaeroben

Bedingungen vorliegen. Mit diesen Angaben werden Sorptions- und Abbauprozesse gut abgebildet. Der  $K_{OC}$ -Wert wird in Anlehnung an die EMEA-Richtlinie so verwendet, dass eine Substanz mit einem Wert  $K_{OC} > 10.000$  ml/g als immobil angesehen und daher kein Eintrag in das Grundwasser angenommen wird.

Sorptionsprozesse führen beim Transport eines gelösten Stoffes zur Verzögerung des Transports (sog. Retardation) der Substanz gegenüber einem Wasserteilchen. Abbauprozesse führen zu einer Konzentrationsverminderung. Mit den vorliegenden Angaben zu den Substanzen kann über den  $K_d$ -Wert der Retardationsfaktor und hilfsweise über die Gleichsetzung von  $DT_{50}$  und Halbwertszeit der Abbau 1. Ordnung berechnet werden. Da beides einfache numerische Berechnungen sind und von stationären Grundwasserströmungsbedingungen ausgegangen wird, wurde auf eine Transportmodellierung verzichtet und dafür mit analytischen Berechnungen das Transportverhalten der gelösten Stoffe erfasst. Basierend auf den durch die Strömungsmodellierung ermittelten Verweilzeiten wird unter Vorgabe der Ausgangskonzentration im oberirdischen Gewässer und nach Eingabe des  $K_d$ -Wertes die Retardation und die Verweilzeit der jeweiligen Substanz bestimmt. Danach erfolgt über den  $DT_{50}$  die Berechnung des Abbaus für diese Verweilzeit. Dies erweist sich als vorteilhaft gegenüber einer Modellierung, da auf diese Weise die  $PEC_{GW}$  für jeden beliebigen  $K_d$  und  $DT_{50}$ -Wert bestimmt werden kann.

Mit dem Ziel der Festlegung von typischen Fällen der Grundwasserströmung an Uferfiltratstandorten und als Basis zur

Berechnung der  $PEC_{GW}$  für Arzneimittelwirkstoffe im Zulassungsverfahren wurden abschließend drei Berechnungsvarianten festgelegt (Tabelle 2). Dazu werden die Daten zu den Durchlässigkeitsbeiwerten, den Entnahmeraten, den Filtertiefen (bzw. -unterkanten) und des Ufer-Brunnen-Abstandes einer rangstatistischen Analyse unterzogen und mit den Modellergebnissen in Beziehung gesetzt. Für die derart ermittelten Standortparameter werden dann mit dem Modellansatz die jeweiligen Fließzeiten berechnet. Als „realistic worst case“ wurde als Synonym für charakteristische, kurze Fließzeiten das 20 %-Perzentil ausgewählt, das entspricht einer Fließzeit vom Gewässer zum Brunnen von nur 5 Tagen. Als „worst case“ für sehr kurze Fließzeiten wurde das 5 %-Perzentil ausgewählt, das entspricht einer Fließzeit von nur 0,15 Tagen, also knapp 4 Stunden. Der „median case“ entspricht dem Median (110 Tage). Mittels dieser standardisierten Fälle für Fließzeiten lassen sich bei Kenntnis der transportrelevanten Stoffeigenschaften die Konzentrationen der Arzneimittelwirkstoffe im Grundwasser als „worst case“, „realistic worst case“ und als „median case“ unmittelbar bestimmen.

## 5. Programmierung einer Eingabemaske zur Abschätzung des $PEC_{GW}$ aus dem $PEC_{SW}$

Im letzten Arbeitsschritt wurden die Ergebnisse der Berechnungen unter einer Programmoberfläche in Form einer Abfragemaske zusammengeführt. Die Anwendung basiert auf den programmierten

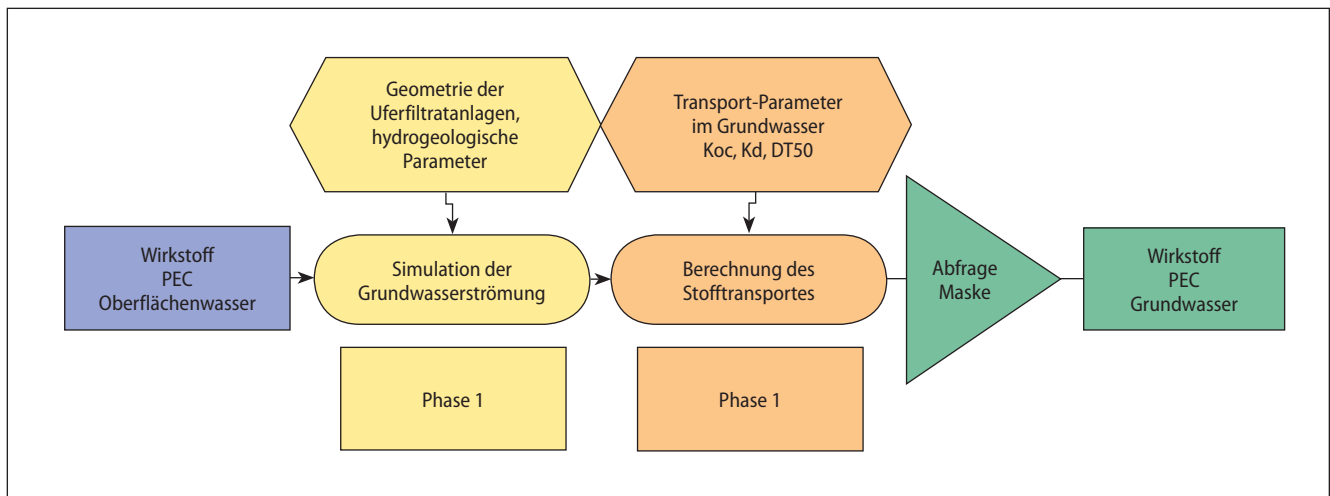


Bild 2: Fließschema zur Entwicklung der Entscheidungsmatrix zur Bestimmung des  $PEC_{GW}$

Funktionen innerhalb eines Microsoft Access-Datenblattes. Das Programm mit den Namen „SiMBaFi“ (Simulation Model Bank Filtration) sowie ein Handbuch dazu wurden in englischer Sprache entwickelt. Es wird derzeit im Umweltbundesamt verwendet und steht dem interessierten Nutzer online zur Verfügung [9].

Die Funktion besteht in der für den Nutzer automatisierten, bedienerfreundlichen Kopplung der Berechnungsergebnisse zur Grundwasserströmung mit den Berechnungen des Stofftransportes. Es wird die Fragestellung beantwortet, wie hoch die zu erwartenden Konzentrationen eines

Arzneimittelwirkstoffes im Grundwasser ( $PEC_{GW}$ ) bei bekannter Konzentration des Wirkstoffes im oberirdischen Gewässer ( $PEC_{SW}$ ) für den Prozess Uferfiltration unter Annahme der berechneten Fließgeschwindigkeit für die o. g. drei Fälle sind.

Die Standardfunktionen der Abfragemaske sind in Form eines Ablaufschemas in **Bild 3** dargestellt. Dem Nutzer stehen drei Möglichkeiten zur Verfügung, den Stoffeintrag in das Grundwasser zu schätzen. Dies ist zum einen die Standardberechnung für den  $PEC_{GW}$  anhand der drei vorgegebenen Fließzeiten, die aus den Berechnungsergebnissen zur Grundwasserströmung und sta-

tistischen Erhebungen resultieren. Aus diesen Berechnungen geht der „worst case“ mit einer Fließzeit von 0,15 Tagen, der „realistic worst case“ mit 5 Tagen und ein weiterer Wert mit 110 Tagen hervor.

Zum anderen besteht als Erweiterung des Funktionsumfangs die Möglichkeit der Berechnung eines  $PEC_{GW}$  nach benutzerdefinierten Vorgaben entweder der Fließzeit oder der konkreten Standortparameter. Die benutzten Werte für die Berechnungen basieren ebenfalls auf den Basiseingaben der Standardberechnung und werden in **Bild 3** mit farblich hinterlegt. Diese Funktionalität ist nur für Anwender mit Kenntnissen der Hydrogeologie eines konkreten Standortes gedacht. Aus diesen Berechnungen resultiert nicht ein verallgemeinerter  $PEC_{GW}$ , sondern eine Wirkstoffkonzentration im Grundwasser im Ergebnis der Eingabe konkreter Standortparameter. Alle Eingaben sowie Berechnungsergebnisse werden in einer Datentabelle gespeichert. Angaben zu einem Vorgang können als Protokoll gedruckt oder als Datei abgelegt werden. Es besteht die Möglichkeit, Eingaben zu verändern, wobei ein neuer Datensatz erzeugt wird. Zu einem Wirkstoff können beliebig viele Berechnungen mit unterschiedlichen Fragestellungen durchgeführt werden. Dabei sollte auf die sorgsame Dokumentation der einzelnen Berechnungsvarianten geachtet werden, um die Nachvollziehbarkeit zu gewährleisten.

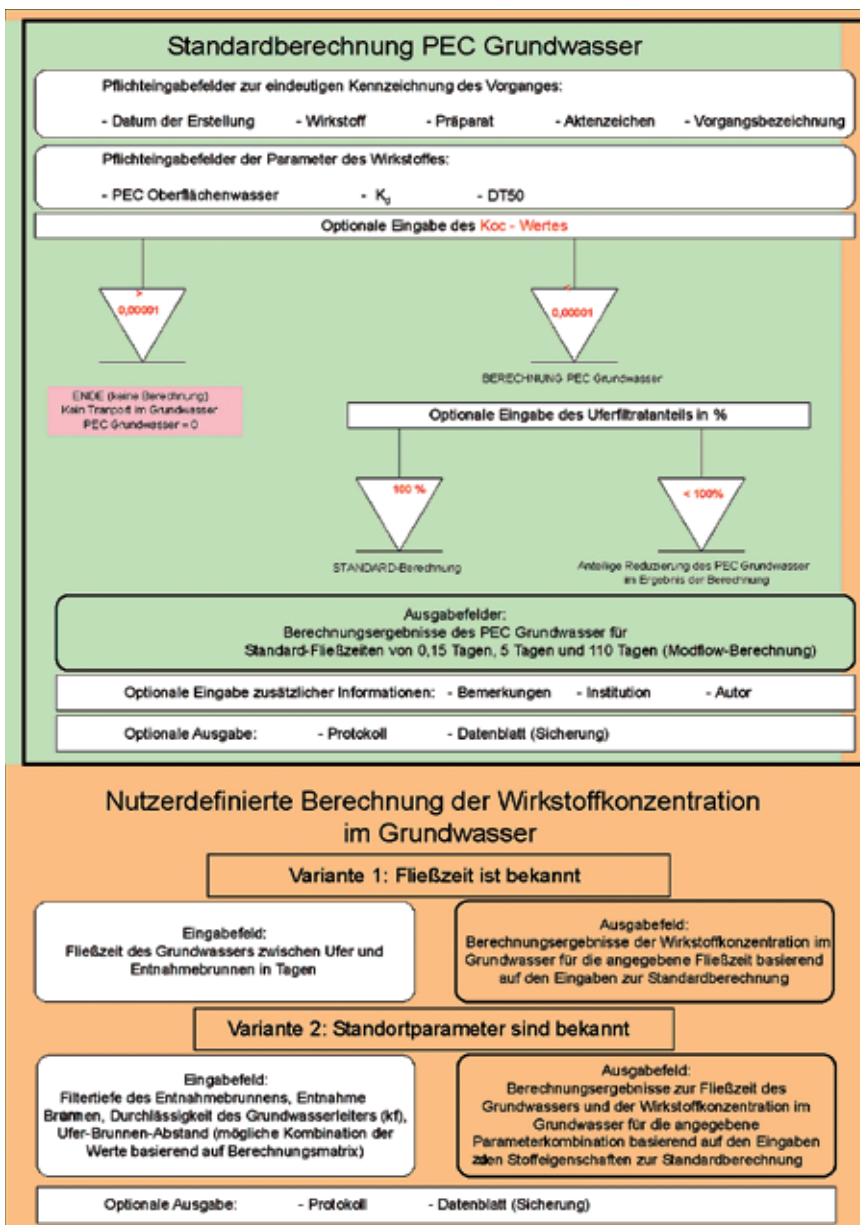


Bild 3: Ablaufschema der Eingabemaske zur Bestimmung der Wirkstoffkonzentration im Grundwasser bei der Uferfiltration

## 6. Zusammenfassung

Für Arzneimittelwirkstoffe wurde eine mathematische Simulation des Eintrages aus oberirdischen Gewässern in das Grundwasser durch Uferfiltration realisiert. Die dafür entwickelte Methodik zur standortunabhängigen Beschreibung des System Uferfiltration basiert auf einer umfangreichen Literatur- und Datenrecherche. Die Bearbeitung im Auftrag des Umweltbundesamtes (UBA) umfasste den Aufbau eines vereinfachten Modellansatzes zur Abbildung der Uferfiltrationsprozesse [2]. Damit wurde die Modellierung der Grundwasserströmung zur Bestimmung der Fließzeiten in Abhängigkeit von den Spannweiten bekannter Standortparameter durchgeführt. Diese Fließzeiten bilden die Grundlage zur Berechnung des Stofftransportes anhand der im Zulassungsverfahren vorliegenden Stoffparameter. Die Modellannahmen und die zur Berechnung des Stofftransportes verfügbaren Parameter erlauben die analy-



**Tab. 2 | Berechnete Fließzeiten für die Parameterkombinationen der drei „Standardfälle“ für Uferfiltratstandorte**

Parameter	Berechnungsvariante		
	„schnellster Fall“ (worst case)	„realistischer schneller Fall“ (realistic worst case)	„langsamer Fall“ (median case)
Durchlässigkeitsbeiwert ( $k_f$ )	0,02 m/s	0,007 m/s	0,002 m/s
Entnahme am Brunnen	3000 m <sup>3</sup> /d	2000 m <sup>3</sup> /d	1000 m <sup>3</sup> /d
Ufer-Brunnen-Abstand	10 m	30 m	100 m
Filtertiefe (*)	5 – 10 m	10 – 20 m	20 – 30 m
Berechnete Fließzeit	0,15 Tage	5 Tage	110 Tage

(\*) unter dem Wasserspiegel im Gewässer. Schnellster Fall – worst case, realistischer schneller Fall – realistic worst case, langsamer Fall – median case

tische Berechnung der Sorptions- und Abbauprozesse im Grundwasser. Die Ergebnisse konnten anhand von gemessenen Konzentrationen an bekannten Standorten verifiziert werden. Im Ergebnis liegt eine Anwendung in Form einer programmierten Eingabemaske vor, mit deren Hilfe die zu erwartende Konzentration eines Arzneimittelwirkstoffes im Grundwasser basierend auf einer definierten Konzentration dieses Stoffes im oberirdischen Gewässer bestimmt wird.

Das den Untersuchungen zu Grunde liegende FE-Vorhaben wurde im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit durchgeführt. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

### Autoren

**Dr. Stephan Hannappel**

**Dr. Matthias Zippel**

HYDOR Consult GmbH  
Am Borsigturm 40, 13507 Berlin  
E-Mail: hannappel@hydor.de

**PD Dr. Traugott Scheytt**

Technische Universität (TU) Berlin  
Geochemisches Gemeinschaftslabor  
Ackerstraße 71 – 76, 13355 Berlin

**Dr. Jutta Klein-Goedicke**

Umweltbundesamt  
IV 2.2 Umweltbewertung Arzneimittel  
Wörlitzer Platz 1, 06844 Dessau

### Literatur

- [1] HEBERER, T. (2002): Tracking persistent pharmaceutical residues from municipal sewage to drinking water. *J. Hydrol.* 266, 175 – 189.
- [2] ZIPPEL, M., SCHEYTT, T., HANNAPPEL, S., DUSCHER, K. & B. MÜLLER (2010): Mathematische Simulation des Eintrages von Arzneimitteln aus Oberflächen-

gewässern in das Grundwasser durch Uferfiltration.- Hrsg.: Umweltbundesamt, FKZ 3707 64 400, UBA-FB 001294.; <http://www.umwelt-daten.de/publikationen/fpdf-k/k3918.pdf>

- [3] HISCOCK, K.M., GRISCHEK, T. (2002): Attenuation of groundwater pollution by bank filtration. *J. Hydrol.* 266, 139 – 144, Elsevier.
- [4] EMEA (2006): Pre-Authorisation Evaluation of Medicines for Human Use, European Medicines Agency, Doc. Ref. EMEA/CHMP/SWP/4447/00, London.
- [5] LENK, S., REMMLER, F., SKARK, C., SCHULTE-EBBERT, U. (2006): Technische Konzepte und abgestimmte Betriebsweisen zur optimalen Anpassung der Uferfiltration an lokale Randbedingungen – Abschlußbericht zum Teilprojekt B1 im BMBF-Forschungsvorhaben Exportorientierte Forschung und Entwicklung auf dem Gebiet der Wasser- und -entsorgung Teil 1: Trinkwasser. Institut für Wasserforschung GmbH Dortmund.
- [6] MASSMANN, G., HEBERER, T., GRÜTZMACHER, G., DÜNNBIER, U., KNAPPE, A., MEYER, H., MECHLINSKI, A., PEKDEGER, A. (2007): Trinkwassergewinnung in urbanen Räumen – Erkenntnisse zur Uferfiltration in Berlin. *Grundwasser* 12, 232 – 245, Springer Verlag, Heidelberg.
- [7] SCHUBERT, J. (2002): Hydraulic aspects of riverbank filtration – field studies. *J. Hydrol.* 266, 145 – 161.
- [8] GRISCHEK, T., NEITZEL, P., ANDRUSCH, T., LAGOIS, U., NESTLER, W. (1997): Verhalten von EDTA bei der Untergrundpassage und Ausweisung von Infiltrationszonen an der Elbe. *Vom Wasser* 89, S. 261 – 282.
- [9] [www.umweltbundesamt.de/uba-info-medien/dateien/3918.htm](http://www.umweltbundesamt.de/uba-info-medien/dateien/3918.htm)

## Regelmäßige Fachinformationen zu Wasser- und Abfallwirtschaft gefällig?



## Testen Sie unsere Fachpublikationen!

Testen Sie kostenfrei und exklusiv mit diesem Faxgutschein je 2 Ausgaben. Einfach ausfüllen und faxen: 0611/7878407.

**WASSERWIRTSCHAFT**  
Zeitschrift für Wasser- und Abfallwirtschaft

**WASSER ABFALL**  
Zeitschrift für Wasser- und Abfallwirtschaft

Name

Vorname

Firma

Straße, Nr.

PLZ, Ort

Datum

Unterschrift

Ich möchte die angekreuzte Zeitschrift in Ruhe prüfen. Bitte senden Sie mir zwei kostenlose Ausgaben. Wenn ich weiterlesen möchte, brauche ich nichts zu tun. Andernfalls sende ich innerhalb von 10 Tagen nach Erhalt des zweiten Heftes eine kurze Nachricht an den Vieweg-Teubner Verlag, Leserservice, Postfach 1546, 65173 Wiesbaden. Die beiden kostenlosen Probehefte darf ich auf jeden Fall behalten.