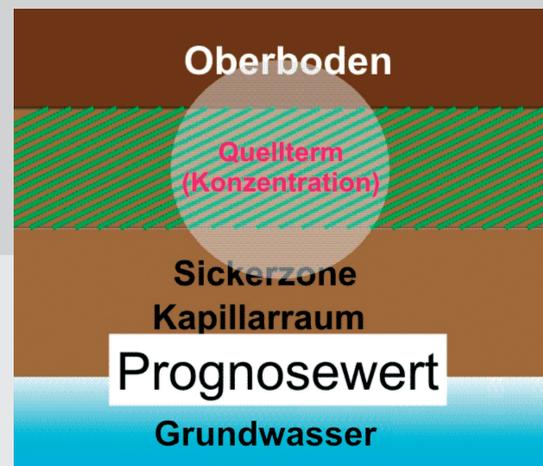


DWA- Themen

Materialien zur Sickerwasserprognose

August 2006



DWA- Themen

Materialien zur Sickerwasserprognose

August 2006



Herausgeber/Vertrieb:
Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V.
Theodor-Heuss-Allee 17 · 53773 Hennef · Deutschland
Tel. +49 2242 872-333 · Fax: +49 2242 872-100
E-Mail: kundenzentrum@dwa.de · Internet: www.dwa.de

Die Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V., DWA, ist in Deutschland Sprecher für alle übergreifenden Wasserfragen und setzt sich intensiv für die Entwicklung einer sicheren und nachhaltigen Wasserwirtschaft ein. Als politisch und wirtschaftlich unabhängige Organisation arbeitet sie fachlich auf den Gebieten Wasserwirtschaft, Abwasser, Abfall und Bodenschutz.

In Europa ist die DWA die mitgliederstärkste Vereinigung auf diesem Gebiet und nimmt durch ihre fachliche Kompetenz bezüglich Normung, beruflicher Bildung und Information der Öffentlichkeit eine besondere Stellung ein. Die rund 14.000 Mitglieder repräsentieren die Fachleute und Führungskräfte aus Kommunen, Hochschulen, Ingenieurbüros, Behörden und Unternehmen.

Der Schwerpunkt ihrer Tätigkeiten liegt auf der Erarbeitung und Aktualisierung eines einheitlichen technischen Regelwerkes sowie der Mitarbeit bei der Aufstellung fachspezifischer Normen auf nationaler und internationaler Ebene. Hierzu gehören nicht nur die technisch-wissenschaftlichen Themen, sondern auch die wirtschaftlichen und rechtlichen Belange des Umwelt- und Gewässerschutzes.

Impressum

Herausgeber und Vertrieb:

DWA Deutsche Vereinigung für
Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V.
Theodor-Heuss-Allee 17
53773 Hennef, Deutschland
Tel.: +49 02242 872-333
Fax: +49 02242 872-100
E-Mail: kundenzentrum@dwa.de
Internet: www.dwa.de

Satz und Druck:

DCM • Druck Center Meckenheim

ISBN:

ISBN13: 978-3-939057-08-6
ISBN10: 3-939057-08-8

Gedruckt auf 100 % Recyclingpapier.

© DWA Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V., Hennef 2006

Alle Rechte, insbesondere die der Übersetzung in andere Sprachen, vorbehalten. Kein Teil dieser Publikation darf ohne schriftliche Genehmigung des Herausgebers in irgendeiner Form – durch Fotokopie, Mikrofilm oder irgendein anderes Verfahren – reproduziert oder in eine von Maschinen, insbesondere von Datenverarbeitungsmaschinen, verwendbare Sprache übertragen werden.

Vorwort

Gesetzliche Regelungen mit Bezügen zum Boden, insbesondere das Bundes-Bodenschutzgesetz (BBodSchG) und nachgeschaltete Verordnungen sowie die EG-Wasser-Rahmen-Richtlinie (WRRL), erfordern die Abschätzung oder auch Prognose des Eintrages von Nähr- und Schadstoffen in Wasserressourcen. Von besonderer Bedeutung ist der Transportpfad durch die ungesättigte Bodenzone ins Grundwasser.

Die vielfältigen Aktivitäten verschiedenster Verbände und Institutionen zum Thema ‚Sickerwasserprognose‘ sind in erster Linie auf die Entwicklung eines praktischen Leitfadens ausgerichtet, wobei die komplexen Mechanismen, die das Verhalten von Schadstoffen im System Boden-Grundwasser steuern, häufig nur stark vereinfacht dargestellt und nur ansatzweise berücksichtigt werden. Aus diesem Grund hat die DWA, die Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V., eine Aufbereitung der wissenschaftlichen Grundlagen des Komplexes ‚Sickerwasserprognose‘ besonders aus bodenkundlicher Sicht für notwendig erachtet. Von der Fachgruppe „Wasser und Boden“ wurde deshalb beschlossen, eine gemeinsame Arbeitsgruppe der Fachausschüsse GB-6: „Bodennutzung, Stoffeinträge und Wirkung auf Grundwasser“ und GB-7 „Bodenschutz, Boden- und Grundwasserverunreinigung“ zum Themenbereich „Eluat und Sickerwasser“ zu etablieren.

Die Arbeit der AG wurde am 25. 1. 2000 aufgenommen. Die Sprecher der AG waren bis zum 12. 3. 2001 Prof. Dr. M. Kaupenjohann, TU Berlin, bis zum 3. 11. 2003 Prof. Dr. W. Walther, TU Dresden, danach Prof. Dr. Bernd Lennartz, Uni Rostock. Am 23.06.2003 fusionierten die Arbeitsgruppen AG GB-6.3 „Eluat und Sickerwasser“ und AG GB-7.1 „Schneller Stofftransport“ zur AG „Sickerwasser und Stofftransport“. Diese neue, fusionierte AG führt die Arbeiten der ehemaligen AG „Eluat und Sickerwasser“ fort.

Von der AG sollte vor dem Hintergrund der öffentlichen Fachdiskussion um die geeignete Vorgehensweise bei der Erstellung einer „Sickerwasserprognose“ der Stand des Wissens für fachliche Teilaspekte bearbeitet und in einer adäquaten Form der Öffentlichkeit zugänglich gemacht werden. Entsprechend der relevanten Teilprozesse und Ansätze zu deren Quantifizierung wurden insgesamt sechs Themen zur Bearbeitung definiert:

- Bestimmung der Quellstärke
- Schneller Stofftransport in Böden
- Biodegradation organischer Schadstoffe
- Sorption organischer Schadstoffe
- Stand der Modelltechnik
- Sickerwasserprognose aus Sicht der Praxis

Bei der Darstellung der einzelnen Abschnitte wurde besonders auf die Einbeziehung von Aspekten geachtet, die in der Wissenschaft zwar bekannt sind, die aber in der Praxis noch keinen Einzug gehalten haben oder kontrovers diskutiert werden.

Auszüge der ersten vier Themengruppen wurden in der Zeitschrift „Altlastenspektrum“ in den Jahren 2003 und 2004 der Fachöffentlichkeit zugänglich gemacht. Alle Kapitel wurden in intensiven Diskussionen abgestimmt, die Verantwortung für die einzelnen Beiträge liegt aber bei den jeweiligen Autoren.

Materialien zur Sickerwasserprognose

Wir wünschen uns, dass der Themenband als Einführung in die Problematik, aber auch als Nachschlagewerk für die relevanten Teilprozesse der Sickerwasserprognose dienlich ist. Die Sickerwasserprognose wird auch weiterhin Gegenstand in Forschung, Verwaltung und Ingenieuralltag sein, so dass mit neuen Erkenntnissen in allen Bereichen der Prognose – von ersten sondierenden Untersuchungen bis zu abschließenden Bewertungen – zukünftig zu rechnen ist. Wir sind daher offen und dankbar für Anregungen und Hinweise zur Korrektur und Weiterführung dieses Themenbandes.

Mitglieder der AG „Sickerwasser und Stofftransport“, die maßgeblich an der Redaktion des DWA-Themenheftes mitgearbeitet haben (mit Arbeitsschwerpunkten in Klammern):

Dipl.-Geol. Robert Dési, BWS GmbH, Hamburg (Geologie)
Dipl.-Min. Peter Götzelmann, Geowiss. Hollenbach (Mineralogie)
Prof. Dr. Wolfgang Durner, TU Braunschweig (Bodenphysik)
Dr. Heinrich Höper, LBEG Hannover-Bremen (Bodenbiologie)
Prof. Dr. Martin Kaupenjohann, TU Berlin (Bodenchemie)
Frau Dr. Lang, TU Berlin (Bodenchemie)
Prof. Dr. Bernd Lennartz, Universität Rostock (Bodenphysik)
Dr. Stefan Melchior, Ingenieurgesellschaft Hamburg (Bodenkunde)
Dipl.-Ing. Thomas Reimann, TU Dresden (Grundwasserwirtschaft)
Dr.-Ing. agr. Thomas Schöbel, Geologischer Dienst NRW, Krefeld (Geologie)
Dr. Frank Steinmann, Landesamt für Natur und Umwelt, Flintbek (Wasserwirtschaft)
Dr. Sören Thiele-Bruhn, Universität Trier (Bodenkunde)
Dr. Hans-Jürgen Ulonska, Min. f. Landw., Naturschutz u. Umwelt, Thür., Erfurt (Geologie)
Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Walther, TU Dresden (Wasserwirtschaft)
Prof. Dr. Dr. Berndt-Michael Wilke, TU Berlin (Bodenbiologie)
Prof. Dr. Eckhard Worch, TU Dresden (Wasserchemie)

Für die AG ‚Sickerwasser und Stofftransport‘:

Prof. Dr. Bernd Lennartz, Sprecher
Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Walther, Sprecher bis November 2003

Rostock und Dresden, im Januar 2006

Inhalt

Vorwort.....	2
Abbildungsverzeichnis.....	2
Tabellenverzeichnis.....	2
1 Einleitung.....	2
2 Methoden zur Quellstärkeermittlung: Bewertung häufig verwendeter Methoden und konzeptionelle Probleme.....	2
2.1 Konzepte zur Quellstärkeermittlung und abzuleitende methodische Ansprüche.....	2
2.2 Vorstellung und Bewertung gängiger Verfahren zur Quellstärkeermittlung.....	2
2.2.1 Bodensättigungsextrakt.....	2
2.2.2 Ammoniumnitrat.....	2
2.2.3 S4.....	2
2.2.4 Perkolat.....	2
2.2.5 Infinite sink.....	2
2.3 Vorschlag für die Beurteilung des Grundwasser-Gefährdungspotentials von kontaminierten Materialien.....	2
2.4 Zusammenfassung.....	2
2.5 Literatur.....	2
3 Die Bedeutung des schnellen Stofftransportes für die Sickerwasserprognose.....	2
3.1 Einleitung.....	2
3.2 Grundlagen.....	2
3.3 Konzeptualisierung von Transportungleichgewichten.....	2
3.3.1 Fingerfluss und das mobil/immobil Konzept.....	2
3.3.2 Makroporenfluss und präferenzzieller Stofftransport.....	2
3.4 Sickerwasserprognose.....	2
3.4.1 Erste Stufe.....	2
3.4.2 Zweite Stufe.....	2
3.5 Schlussfolgerung.....	2
3.6 Literatur.....	2
3.7 Anhang.....	2
4 Einfluss der Sorption auf den Transport organischer Schadstoffe.....	2
4.1 Einleitung.....	2
4.2 Sorptionsbeeinflusster Stofftransport.....	2
4.3 Das einfache Gleichgewichtsmodell (Dispersed flow / local equilibrium model) und das K_{oc} -Konzept.....	2
4.4 Grenzen des einfachen Transportmodells und offene Fragen.....	2
4.4.1 Nichtlineare Isotherme.....	2
4.4.2 Einflüsse der Bodeneigenschaften.....	2
4.4.3 Konkurrenzadsorption.....	2
4.5 Veränderung der Sorption und Mobilität durch Cosolventen, NAPL und DOM.....	2
4.6 Einfluss des pH -Wertes auf die Sorption.....	2
4.7 Sorptionskinetik.....	2
4.8 Desorption.....	2
4.9 Wechselwirkungen zur biologischen und chemischen Transformation.....	2
4.10 Sorption von Schwermetallen.....	2
4.11 Zusammenfassung und offene Fragen.....	2
4.12 Literatur.....	2
4.13 Anhang.....	2

Materialien zur Sickerwasserprognose

5	Bewertung der Biodegradation im Rahmen der Sickerwasserprognose zur Verlagerung organischer Schadstoffe	2
5.1	Einleitung	2
5.2	Vorhersage der Biodegradation	2
5.2.1	Ermittlung eines Prognosewertes durch Modellierung (mathematisch)	2
5.2.1.1	Modellierung des kometabolischen Abbaus.....	2
5.2.1.2	Modellierung des metabolischen Abbaus	2
5.2.1.3	Temperaturabhängigkeit der Abbaukonstanten	2
5.2.1.4	Möglichkeiten und Grenzen der Modellierung.....	2
5.2.2	Ermittlung der Biodegradation im Feld-/Laborexperiment (faktisch)	2
5.2.3	Vorgehensweise	2
5.3	Aspekte zur Vorhersage der Biodegradation im Rahmen der Sickerwasserprognose	2
5.4	Potenzielle Abbaubarkeit organischer Schadstoffe.....	2
5.5	Boden- und Standortparameter, die den biologischen Abbau begünstigen	2
5.5.1	Aerober Stoffabbau	2
5.5.2	Anaerober Stoffabbau	2
5.5.3	Schematische Bewertung des Bodens im Hinblick auf Abbauprozesse	2
5.6	Prüfung, ob Biodegradation eine Rolle spielt	2
5.7	Literatur.....	2
5.8	Anhang.....	2
6	Modelltechnik zur Sickerwasserprognose, eine Übersicht und Zusammenfassung	2
6.1	Einleitung	2
6.2	Generelle Vorgehensweise bei der Anwendung von Modellen.....	2
6.3	Relevante Prozesse im Modell der Sickerwasserprognose	2
6.3.1	Allgemeine Anmerkungen zum Wasserfluss und Stofftransport	2
6.3.2	Sickerwasserfluss	2
6.3.3	Grundprozesse des Stofftransportes	2
6.3.3.1	Stofftransport in Fließingern und Makroporen:.....	2
6.3.3.2	Advektion	2
6.3.3.3	Molekulare Diffusion	2
6.3.3.4	Dispersion	2
6.3.4	Biodegradation	2
6.3.5	Verzögerung des Transportes durch Sorption	2
6.3.5.1	Sorptionskinetik.....	2
6.3.5.2	Einfluss von Partikeln.....	2
6.3.6	Transportgleichung zusammengefasst	2
6.4	Übersicht zu den erhältlichen Modellwerkzeugen	2
6.4.1	Anforderungen an Modellwerkzeuge	2
6.4.2	Systematik der Modelle.....	2
6.4.3	Modellmatrix im Anhang.....	2
6.4.4	Hinweise zur Anwendung der Modelle.....	2
6.5	Offene Fragen und Ausblick.....	2
6.6	Zusammenfassung	2
6.7	Literatur und Internetverweise.....	2
6.8	Anhang.....	2
7	Aspekte der Sickerwasserprognose aus Sicht der Praxis	2
7.1	Einleitung	2
7.2	Diskussion von ausgewählten Aspekten der Sickerwasserprognose	2
7.2.1	Konzept der Sickerwasserprognose	2
7.2.2	Gefahrenbegriff im Zusammenhang mit der Sickerwasserprognose	2
7.2.3	Grundwasser und Ort der Beurteilung	2
7.2.4	Abschätzung und Bewertung	2
7.2.5	Zeitliche Dimension der Prognose	2
7.2.6	Schadstoffkonzentration und Schadstofffracht.....	2
7.2.7	Schadstofftransport.....	2
7.2.8	Prüfwerte für den Wirkungspfad Boden – Grundwasser.....	2

Materialien zur Sickerwasserprognose

7.3	Datenermittlung und Bewertung	2
7.3.1	Abstimmung mit der zuständigen Behörde	2
7.3.2	Vorhandene Informationen in Karten und Datenbanken.....	2
7.3.3	Sickerwasserrate/Grundwasserneubildungsrate.....	2
7.3.4	Bodenansprache und Probenahme	2
7.3.5	Direktbeprobung am Ort der Beurteilung	2
7.3.6	Elutionsverfahren	2
7.4	Plausibilitätsprüfung einer Sickerwasserprognose.....	2
7.5	Ausblick aus Sicht der Praxis.....	2
7.6	Literatur.....	2
8	Glossar	2
9	Internetverweise zur Sickerwasserprognose	2
9.1	Landesbehörden	2
9.2	Bund und Länder	2
9.3	Forschungsergebnisse.....	2
9.4	Weitere Einrichtungen.....	2

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1.1:	Relevante Prozesse der Sickerwasserprognose	2
Abbildung 2.1:	Entscheidungskaskade zum Vorgehen bei der Ermittlung der Quellkonzentration bzw. der Quellstärke.	2
Abbildung 3.1:	Visualisierung von Fließfeldern mittels Färbetechnik. Links, Ausbildung von Fließfingern bei schwach bis wenig aggregierten Substraten (lehmgiger Sand). Rechts, Makroporenfluss in dual-porösen Böden mit starker Aggregation (toniger Lehm).....	2
Abbildung 3.2:	Mobile und immobile Wasserregionen in wasserteilgesättigten Böden. Die immobilen Wasseranteile können isoliert (a) oder an die konvektive Transportzone (mobiler Wasseranteil) angebunden (b) sein.	2
Abbildung 3.3:	Relative Stoffverteilung im Bodenprofil bei der Ausbildung von Fließfingern (Fingering). Diese Manifestation der bevorzugten Stoffverlagerung wird in erster Linie in sandigen Substraten beobachtet und kann mit dem Mobil/immobil-Modellansatz befriedigend abgebildet werden. Die heterogene Stoffverlagerung kann nur durch eine entsprechend multiple Beprobung am Standort charakterisiert werden.	2
Abbildung 3.4:	Durchbruchverhalten nicht-reaktiver und reaktiver Stoffe bei A präferenziellen (Makroporenfluss) und bei B Transportverhältnissen mit immobilem Wasser (Fingerfluss). Die sorptiven, organischen Verbindungen Terbutylazin und Isoproturon (IPU) werden simultan mit dem konservativen Stoff Bromid verlagert, die Stofffracht (Fläche unter der Kurve) ist aber unterschiedlich (A). Auch bei Fließverhältnissen mit immobilem Wasser (B) erscheint das Konzentrationsmaximum des nicht-reaktiven Stoffs bevor das Porenvolumen einmal ausgetauscht wurde, aber die reaktiven Komponenten werden entsprechend ihrer Sorptivität chromatographisch abgetrennt und mit deutlich geringeren Stofffrachten aus dem System ausgezogen.....	2
Abbildung 3.5:	Simuliertes Durchbruchverhalten von Naphtalin ins Grundwasser bei Gleichgewichtsannahme und bei verschiedenen Ungleichgewichtssituationen. Bei der Annahme von Fingerfluss erscheint die Chemikalie nicht wesentlich früher am Ort der rechtlichen Beurteilung als bei Gleichgewichtsbedingungen. Nur der (über die Fließstrecke kontinuierliche) Makroporenfluss transportiert die Chemikalie sehr schnell durch die ungesättigte Zone und kann so zu einer unerwartet schnellen Grundwasserkontamination führen.	2

Materialien zur Sickerwasserprognose

Abbildung 4.1: Mit dem Gleichgewichtsmodell (dispersed flow / local equilibrium model, DF-LEM) berechneter Konzentrations-Zeit-Verlauf für den Transport von Chlorbenzol über eine Distanz von 1m (Details zur Modellrechnung im Text).....	2
Abbildung 4.2: Einfluss der Nichtlinearität der Sorptionsisotherme auf die Steilheit der berechneten Konzentrations-Zeit-Kurve von Chlorbenzol (Details zur Modellrechnung im Text).....	2
Abbildung 4.3: Einfluss der Zweitkomponente Dibenzothiophen auf den Verlauf der Sorptionsisotherme von Pyren an Vermiculit	2
Abbildung 4.4: IAS-Modellrechnungen zum Einfluss der Nichtlinearität der Einzelisothermen auf die Konkurrenzadsorption (Erläuterungen im Text)	2
Abbildung 4.5: Veränderung der Sorptionskoeffizienten (K_D) von verschiedenen polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK) in Altlastböden durch Steigerung des Ethanol-Anteils in der Lösungsphase	2
Abbildung 4.6: Durchbruchkurven von Pentachlorphenol (Säulenversuch; Säulenlänge: 0,5 m; Geosorbens: sandiges Aquifermaterial) bei verschiedenen pH -Werten (V/V_P – durchgesetztes Wasservolumen, bezogen auf das Porenvolumen)	2
Abbildung 4.7: Einfluss des pH -Wertes auf die adsorbierten Anteile von s -Triazinen (gestrichelte Kurven, initiale Konzentration 50 $\mu\text{mol/L}$; Weber, 1970), p -Aminobenzoesäure und Sulfonamiden (durchgezogene Kurven; initiale Konzentration 40-73 $\mu\text{mol/L}$; Thiele-Bruhn, unveröffentlicht).....	2
Abbildung 4.8: Experimentelle und berechnete Durchbruchkurven von Dibenzothiophen. Experimentelle Daten: Säulenversuch mit sandigem Aquifermaterial DF-LEM = Gleichgewichtsmodell (dispersed flow / local equilibrium model) DF-FPDM = Film- und Korndiffusionsmodell (dispersed flow / film and particle diffusion model).....	2
Abbildung 5.1: Schematische Darstellung des Bodens und der zu einer Ab- bzw. Zunahme der Schadstoffkonzentration in der Bodenlösung innerhalb einer betrachteten Schicht führenden Prozesse. (Rot hervorgehoben sind die in diesem Beitrag betrachteten Prozesse.).....	2
Abbildung 5.2: Konzentrationsabnahme bei einer Abbaukinetik 1. Ordnung. Theoretisches Beispiel....	2
Abbildung 5.3: Entscheidungsbaum zur Berücksichtigung der Biodegradation im Rahmen der Sickerwasserprognose.....	2
Abbildung 6.1: Abstraktion von der realen Situation zu einem formalen bzw. mathematischen Modell	2
Abbildung 6.2: Flussdiagramm zum Einsatz von Modellen.....	2
Abbildung 6.3: Beispiel für die mit Hilfe der Van Genuchten Gleichung angepasste Saugspannungs-Wassergehaltsbeziehung (nach Van Genuchten 1980).....	2
Abbildung 6.4: Einheitsvolumen für die Massenbilanz zur Herleitung der Retardation R	2
Abbildung 7.1: Anwendung des ETI-Modells auf die Sickerwasserprognose	2
Abbildung 7.2: Bezug des Gefahrenbegriffes zum BBodSchG	2
Abbildung 7.3: Ort der Beurteilung bei einem gespannten Grundwasserleiter	2
Abbildung 7.4: Einordnung „überschaubarer Zeiträume“ zur Dauer von Grundwasserschäden.....	2

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2.1:	Charakteristika und Bewertung häufig verwendeter Methoden („+“: gut geeignet; „0“: mäßig geeignet, „-“ : nicht geeignet).....	2
Tabelle 4.1:	Ausgewählte Korrelationen zur Abschätzung des Sorptionskoeffizienten K_{OC}	2
Tabelle 4.2:	Lineare ($\log K_d$ und $\log K_{oc}$) und nicht lineare Verteilungskoeffizienten ($\log K_F$ mit Freundlich-Exponent n) der Adsorption umweltrelevanter organischer Chemikalien in ausgewählten Böden, Sedimenten und organischem Material unterschiedlichen Stoffbestandes (zum Teil K_d aus K_{oc} berechnet und vice versa).....	2
Tabelle 5.2:	Minimale und maximale Abbaukonstanten λ bei den Abbaustufen nach DVWK 1997, biologischer Abbau in % pro Jahr bei 1 λ sowie bei einer angenommenen geringeren Abbauraten von 0,1 bzw. 0,01 λ (vgl. Rockne und Strand, 1998).....	2
Tabelle 5.3:	Parameter mit Hinweis auf eine erhöhte Substratverfügbarkeit und auf günstige Bedingungen für den aeroben Stoffabbau. Parameter und Bedingungen mit starkem Einfluss sind mit + gekennzeichnet.....	2
Tabelle 5.4:	Hinweise auf anaerobe Bedingungen als Voraussetzung für anaeroben Stoffabbau. Parameter und Bedingungen mit starkem Einfluss sind mit + gekennzeichnet.	2
Tabelle 5.5:	Hinweise auf relativ hohe Substratgehalte und damit hohe Aktivität für den anaeroben Stoffabbau. Parameter und Bedingungen mit starkem Einfluss sind mit + gekennzeichnet.	2
Tabelle 5.6:	Prüfwerte zur Beurteilung des Wirkungspfad Boden-Grundwasser nach § 8 Abs. 1 Satz 2 Nr. 1 des Bundes-Bodenschutzgesetzes (in $\mu\text{g/l}$) (BBodSchV).....	2
Tabelle 5.7:	Abbaumetabolismus bei bevorzugt aerobem oder anaerobem Abbau der in der BBodSchV geregelten Stoffgruppen (DVWK, 1997; LfU, 1991)	2
Tabelle 5.8:	Abbaustufen nach DVWK (1997), umgerechnet in Halbwertzeiten ($DT_{50} = DT_{90} * 0,30$)...	2
Tabelle 5.9:	Angaben zum biologischen Abbau von BTEX, weiteren aromatischen Kohlenwasserstoffen und Chlorbenzolen	2
Tabelle 5.10:	Angaben zum biologischen Abbau der leichtflüchtigen chlorierten Kohlenwasserstoffe	2
Tabelle 5.11:	Angaben zum biologischen Abbau der Phenole und Chlorphenole.....	2
Tabelle 5.12:	Angaben zum biologischen Abbau der polycyclischen Kohlenwasserstoffe (16 EPA-PAK).	2
	Modelle zur Sickerwasserprognose – Zusammenstellung der Informationen der Internet-Recherche ...	2
	Models for seepage water prediction – Results of the Internet search.....	2

Materialien zur Sickerwasserprognose

Symbolverzeichnis

Parameter	Symbol	Dimension	Einheit
Volumenstrom	Q	$L^3 T^{-1}$	$m^3 d^{-1}$
Filtergeschwindigkeit, Darcy-Fluss	q	$L T^{-1}$	$m d^{-1}$
Porenwassergeschwindigkeit	v	$L T^{-1}$	$m d^{-1}$
Effektive Porenwassergeschwindigkeit	v_{eff}	$L T^{-1}$	$m d^{-1}$
Geschwindigkeit der Konzentrationsfront	v_C	$L T^{-1}$	$m d^{-1}$
Volumetrischer Wassergehalt	θ	$L^3 L^{-3}$	- od. $cm^3 cm^{-3}$
Porosität	PV	$L^3 L^{-3}$	- od. $cm^3 cm^{-3}$
luffterfüllter Porenraumanteil	φ	$L^3 L^{-3}$	- od. $cm^3 cm^{-3}$
Porenwasserdruck / Matrixpotenzial	Ψ	$M L^{-1} T^{-2}$ od. L	hPa od. cm WS
Trockenrohichte	ρ_b	$M L^{-3}$	$g cm^{-3}$
Hydraulische Leitfähigkeit	$K(\theta)$	$L T^{-1}$	$m d^{-1}$
Fließstrecke (vertikal)	z	L	m
Konvektiver Stofftransport	J_K	$M L^{-2} T^{-1}$	$g m^{-2} d^{-1}$
Diffusiv-dispersiver Stofftransport	J_D	$M L^{-2} T^{-1}$	$g m^{-2} d^{-1}$
Diffusionskoeffizient in freiem Wasser	D_0	$L^2 T^{-1}$	$m^2 d^{-1}$
Diffusionskoeffizient Boden	D_a	$L^2 T^{-1}$	$m^2 d^{-1}$
Hydromechanischer Dispersionskoeffizient	D_P	$L^2 T^{-1}$	$m^2 d^{-1}$
Hydrodynamischer Dispersionskoeffizient	D	$L^2 T^{-1}$	$m^2 d^{-1}$
Dispersivität	α	L	m
Aufenthaltszeit nicht reaktiver Stoffe	$t_{k_{res}}$	T	d
Aufenthaltszeit reaktiver Stoffe	$t_{r_{res}}$	T	d
Gesamtkonzentration zum Zeitpunkt t	c(t)	$M M^{-1}$	$mg kg^{-1}$
Konzentration in der Lösungsphase	c_F	$M L^{-3}$	$mg l^{-1}$
Konzentration in der Gasphase	c_G	$M L^{-3}$	$mg l^{-1}$
Adsorbierter Anteil / Konz. In der festen Phase	c_S	$M M^{-1}$	$mg kg^{-1}$
Ausgangskonzentration	$C(0)$	$M L^{-3}$	$mg l^{-1}$
Residualkonzentration	c_{RES}	$M L^{-3}$	$mg l^{-1}$
Linearer Verteilungskoeffizient	K_D	$L^3 M^{-1}$	$l kg^{-1}$
Retardationsfaktor	R	-	-
Stoffquellen und -senken	S	-	-
Octanol-Wasser-Verteilungskoeffizient	K_{OW}	-	-
Anteil organischer Kohlenstoff	f_{OC}	$M M^{-1}$	-
Sorptionskoeffizient auf org. C bezogen	K_{OC}	$L^3 M^{-1}$	$l kg^{-1}$
Freundlich Koeffizient	K_F	-	-
Freundlich Exponent	n	-	-
Henry-Konstante	H		
Dauer der Adaptionphase (MO)	t_{lag}	T	d
Abbaurrate (0.Ordnung)	-b	T^{-1}	d^{-1}
Abbaukonstante	λ	T^{-1}	d^{-1}
nicht abbaubarer Anteil	a	-	-
Lösungsvolumen	V	L^3	l
Dynamische Viskosität des Wassers	η	$M L^{-1} T^{-1}$	Pa s
pH-abhängiger Octanol/Wasser-Verteilungskoeffizient	D_{OW}	-	-
Wasserlöslichkeit des Sorptivs	S_W	$M L^{-3}$	$mg l^{-1}$
Protonierungsgrad	α_p	-	-

1 Einleitung

Das Bundes-Bodenschutzgesetz (BBodSchG, 1998) bildet die gesetzliche Grundlage für die Untersuchung und Bewertung von Gefahren, die von schädlichen Bodenveränderungen in der wasserungesättigten Bodenzone ausgehen. In der Bundes-Bodenschutz-Verordnung (BBodSchV, 1999) ist die Beurteilung des Gefahrenpotenzials, das durch einen Schadstoff auf die Schutzgüter Boden/Bodenorganismen, Mensch und Grundwasser ausgeht, geregelt. Den Schwerpunkt der Bewertung des Wirkungspfads Boden-Grundwasser bildet die ‚Sickerwasserprognose‘. Mit Hilfe der Sickerwasserprognose sollen die Gefahren für das Grundwasser abgeschätzt und beurteilt werden, die von bestehenden Altlasten und Verdachtsflächen, bzw. von kontaminierten Materialien, die auf Böden ausgebracht werden sollen, ausgehen können. Dazu gehört die Ermittlung bzw. Abschätzung der realen oder potentiellen Emission aus dem Bereich der ungesättigten Zone, auch Quellstärke genannt, und der Konzentrationen und Frachten im Sickerwasser am Übergang von der ungesättigten zur gesättigten Zone („Ort der rechtlichen Beurteilung“). Die Prüfwerte und Maßnahmenwerte der BBodSchV bilden die Bewertungskriterien am Ort der rechtlichen Beurteilung

Vor dem Hintergrund der öffentlichen Fachdiskussion über das geeignete Vorgehen bei der Erstellung einer ‚Sickerwasserprognose‘ gibt die DWA-Arbeitsgruppe ‚Sickerwasser und Stofftransport‘ mit dem vorliegenden Themenband einen Überblick über den Stand des Wissens zu den wichtigsten steuernden Prozessen beim Transport von Schadstoffen in der ungesättigten Bodenzone (Abbildung 1.1). Das zusammengestellte Material soll den Kollegen, die mit der hier angesprochenen Thematik befasst sind, als Arbeitsmaterial und als Basis für weiterführende Diskussionen dienen. Bei der Bearbeitung der einzelnen Abschnitte wurde besonders auf die Einbeziehung der Aspekte geachtet, die in der Wissenschaft zwar bekannt sind, die aber in der Praxis noch keinen Einzug gehalten haben oder kontrovers diskutiert werden. Vorhandene Ansätze zum Umgang mit der Sickerwasserprognose werden kritisch diskutiert und mögliche Schwachstellen aufgezeigt.

Ausgangspunkt der Sickerwasserprognose ist der Prozess der Freisetzung von Schadstoffen aus kontaminierten Materialien (Quellstärke, Quellterm). Klassische Verfahren wie das S4-Verfahren (DIN 38414-4) oder der Ammonium-Nitrat-Extrakt (DIN 19730) sind nur bedingt geeignet, Freisetzungsraten von Stoffen zu quantifizieren. Im Kapitel „Methoden zur Quellstärkeermittlung: Bewertung häufig verwendeter Methoden und konzeptionelle Probleme“ wird dies anhand ausgewählter Beispiele verdeutlicht. Je nach Stoffgruppe können neuere Verfahren, wie das Infinite-Sink-Verfahren, helfen, das standortspezifische Mobilisierungspotenzial abzuschätzen.

Ausgehend von einer Schadstoffkonzentration in der Bodenlösung können Transportraten und -distanzen bei gegebenen Randbedingungen berechnet werden, sodass Stofffrachten, die in tiefere Bodenschichten und ins Grundwasser gelangen, abgeschätzt werden können. Es steht eine breite Palette an Berechnungs- und Modellansätzen unterschiedlicher Komplexität zur Verfügung. Grundvoraussetzung für eine hinreichend genaue Prognose der Schadstoffkonzentration und der -fracht am Ort der rechtlichen Beurteilung ist die richtige Einschätzung der Filter- und Pufferleistung der teilgesättigten Boden- und Substratzone. Insbesondere in porösen Medien, die eine heterogene Struktur aufweisen, wie z. B. Lehme und Tone, aber auch Abfälle, sind inhomogene Wasserfronten und ‚schnelle‘ Transportsituationen in die Überlegung einzubeziehen. Im Kapitel „Bedeutung des schnellen Stofftransports für die Sickerwasserprognose“ wird das Problem präferenzzieller Fließsituationen thematisiert und praktische Vorschläge zu dessen Berücksichtigung bei der Sickerwasserprognose unterbreitet.

Im Kapitel „Bewertung der Biodegradation im Rahmen der Sickerwasserprognose“ werden Aspekte des biologischen Abbaus der nach BBodSchV geregelten Organika zusammengetragen. Besonderes Gewicht wird auf Boden- und Standortparameter gelegt, die zur Beurteilung der biologischen Aktivität des Bodens und des Ausmaßes anaerober Bedingungen benötigt werden. Es wird ein Schema vorgestellt, anhand dessen der Praktiker die Entscheidung treffen kann, ob biologischer Abbau am zu beurteilenden Standort relevant ist. Das Ausmaß des zu erwartenden Bioabbaus kann mit numerischen Modellen unter Verwendung der im umfangreichen Anhang zusammengestellten Abbauraten bzw. Halbwertszeiten abgeschätzt werden. Auf die Grenzen der häufig mit Labormethoden ermittelten Abbauraten und auf die Notwendigkeit von *in-situ*-Messungen wird hingewiesen.