

SCHRIFTENREIHE

des Lehrstuhls Abfallwirtschaft und
des Lehrstuhls Siedlungswasserwirtschaft

24

Herausgeber:

Bauhaus-Universität Weimar

Fakultät Bauingenieurwesen

Lehrstuhl Abfallwirtschaft

Lehrstuhl Siedlungswasserwirtschaft

99423 Weimar, Coudraystraße 7

RHOMBOS-VERLAG • BERLIN

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar

Impressum:

Schriftenreihe der Lehrstühle Abfallwirtschaft und Siedlungswasserwirtschaft an der Bauhaus-Universität Weimar – 12. Jahrgang 2011

Herausgeber: Bauhaus-Universität Weimar, Fakultät Bauingenieurwesen, Lehrstuhl Abfallwirtschaft, Lehrstuhl Siedlungswasserwirtschaft

Schriftleitung: Prof. Dr.-Ing. habil. Werner Bidlingmaier, Univ.-Prof. Dr.-Ing. Jörg Londong

Anschrift: Bauhaus-Universität Weimar, Coudraystraße 7, D-99423 Weimar

Verlag: RHOMBOS-VERLAG, Kurfürstenstr. 17, 10785 Berlin
Internet: www.rhombos.de
eMail: verlag@rhombos.de
VK-Nr. 13597

© 2011 RHOMBOS-VERLAG, Berlin

Fachverlag für Forschung, Wissenschaft und Politik

Alle Rechte vorbehalten.

Nachdruck, auch auszugsweise, verboten.

Kein Teil dieses Werkes darf außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ohne schriftliche Einwilligung des Verlages in irgendeiner Form (Fotokopie, Mikrofilm oder ein anderes Verfahren) reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme gespeichert, verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, daß solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutzgesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürfen.

Druck: PRINT GROUP Sp. z o.o.

Printed in Poland

ISBN 978-3-941216-60-0

ISSN 1862-1406

Beitrag zum Migrationsverhalten ausgewählter Arzneimittelwirkstoffe unter ungesättigten Bedingungen

Dissertation zur Erlangung des akademischen Grades

Doktor-Ingenieur (Dr.-Ing.)

an der Fakultät Bauingenieurwesen der Bauhaus-Universität Weimar

vorgelegt von

Dipl.-Ing. Jan Mauriz Kaub

aus Aachen

Weimar

Gutachter:

1. Univ.-Prof. Dr.-Ing. Jörg Londong
2. Univ.-Prof. Dr.-Ing. Johannes Pinnekamp
3. Univ.-Prof. Dr.-Ing. Karl Josef Witt

Tag der Disputation: 01.02.2011

Danksagungen

Die vorliegende Arbeit entstand während meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Professur Siedlungswasserwirtschaft der Bauhaus-Universität Weimar. Grundlage der Arbeit waren dabei die Projekte „Lambertsmühle II“ und „Lambertsmühle III“, die vom Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen gefördert wurden. Für die gute Zusammenarbeit in diesen Projekten möchte ich insbesondere den Mitarbeitern des Instituts für Pflanzenernährung der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn und des Rheinisch-Westfälischen Instituts für Wasserforschung danken.

Dem Leiter der Professur Siedlungswasserwirtschaft, Herrn Professor Dr.-Ing. Jörg Londong gilt mein besonderer Dank für die Betreuung der Arbeit, die Möglichkeit diese an seinem Lehrstuhl durchzuführen und die wertvollen Anregungen.

Herrn Professor Dr.-Ing. Johannes Pinnekamp und Herrn Professor Dr.-Ing. Karl Josef Witt danke ich für die Ausarbeitung der Gutachten.

Für die gute Zusammenarbeit während meiner „Weimarer Jahre“ möchte ich mich bei meinen ehemaligen Kollegen von der Professur Siedlungswasserwirtschaft und im Besonderen bei Herrn Dr.-Ing. Ralf Englert bedanken.

Frau Dipl.-Ing. Sabine Gernegroß von der Fachhochschule Jena danke für die Durchführung der Bromidanalytik mittels Ionenchromatographie.

Herrn Dr. Sascha Iden und Herrn Professor Dr. Wolfgang Durner von der Technischen Universität Braunschweig möchte ich für die wertvollen Hinweise im Zusammenhang mit der Modellierung danken.

Dank gilt Herrn Dr.-Ing. Sten Meusel für die kritische Korrektur des Manuskriptes und vor allem für die gemeinsame Zeit an der Professur.

Danksagungen

Meinem Vater, Herrn Ernst-Jochen Kaub, danke ich für die Durchsicht der Arbeit vor dem Druck.

Meiner Ehefrau Simone danke ich für ihre liebevolle Unterstützung und Aufmunterung sowie das stetige Verständnis, wenn ich ungezählte Abende, Wochenenden und auch Urlaubstage mit der Betreuung der Versuchsanlage und der Erstellung dieser Arbeit verbrachte.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	xi
Tabellenverzeichnis	xiii
Abkürzungsverzeichnis	xv
Symbolverzeichnis	xix
1 Einleitung	1
1.1 Problemstellung	1
1.2 Zielsetzung, Vorgehensweise, Systemgrenzen und Einordnung	4
2 Grundlagen der Fließ- und Transportprozesse	7
2.1 Einleitung	7
2.2 Wassergehalt und Wasserbewegung	7
2.2.1 Bindungsformen des Wassers	8
2.2.2 Potentialkonzept	9
2.2.3 Zusammenhang Matrixpotential und Wassergehalt	12
2.2.4 Wasserbewegung	14
2.3 Migrationsverhalten von Stoffen	16
2.3.1 Stofftransport	16
2.3.2 Advektions-Dispersions-Gleichung (ADG)	21
2.3.3 Sorption und Retardation	23
2.3.4 Stoffabbau	28
2.3.5 Zwei-Regionen-Modell	30
2.3.6 Nicht-Gleichgewichtsmodell mit kinetisch limitierter Sorption	32

3	Kenntnisstand zum Verhalten von Arzneimittelwirkstoffen in Böden	35
3.1	Einleitung	35
3.2	Auswahl der Pharmakawirkstoffe	36
3.3	Einzelbeschreibung der Wirkstoffe	37
3.3.1	Carbamazepin	37
3.3.2	Clofibrinsäure	41
3.3.3	Bezafibrat	45
3.3.4	Diclofenac	47
3.3.5	Fenoprofen	51
3.3.6	Ibuprofen	52
3.3.7	Tetracyclin	57
3.3.8	Sulfonamide	60
3.4	Erkenntnisse für die eigenen Versuche	77
4	Material und Methoden	79
4.1	Vorbemerkung	79
4.2	Materialien	82
4.2.1	Meckenheimer Boden	82
4.2.2	Uedorfer Boden	83
4.2.3	Quarzsand	84
4.2.4	Aktivkohle	84
4.2.5	Kompost	85
4.3	Aufbau der Versuchsanlage	86
4.3.1	Glassäulen	86
4.3.2	Online-Messtechnik	88
4.4	Durchführung der Säulenversuche	94
4.4.1	Versuchsphasen	94
4.4.2	Säulenfüllung	94
4.4.3	Aufsättigung der Säulen	96
4.4.4	Wirkstoffzugabe	96
4.4.5	Gelbwasserzugabe	97
4.4.6	Tracerzugabe	97
4.4.7	Versuchsstart	98
4.4.8	Beregnung	98
4.4.9	Probenahme	100
4.4.10	Versuchsende	101

4.5	Durchführung der Schüttelversuche	101
4.5.1	Bestimmung der Verteilungskoeffizienten	101
4.5.2	Aufnahme der Adsorptionsisotherme	102
4.6	Analytik	103
4.6.1	Vor-Ort-Analytik	103
4.6.2	Standardanalytik	104
4.6.3	Wirkstoffanalytik	105
4.6.4	Traceranalytik	106
4.7	Datenvorbereitung und -auswertung	107
4.7.1	Auswertung Schüttelversuche	107
4.7.2	Frachtberechnung	110
4.7.3	Modellierung	110
4.7.4	Regression elektrische Leitfähigkeit und Bromid	111
4.7.5	Online-Überwachung der Säule III	112
4.7.6	Online-Überwachung der Säulen I bis VI	113
4.8	Modellierung	114
4.8.1	Parameterbestimmung	114
4.8.2	Wirkstofftransport	116
5	Ergebnisse	117
5.1	Phase I der Säulenversuche	117
5.1.1	Vorbemerkungen	117
5.1.2	Massenbilanzierung	117
5.1.3	Entwicklung der Vor-Ort-Parameter	127
5.2	Phase II der Säulenversuche	132
5.2.1	Vorbemerkungen	132
5.2.2	Massenbilanzierung des Tracers Bromid	132
5.2.3	Online-Messung der Vor-Ort-Parameter	133
5.2.4	Tracerdurchbruchbestimmung über die elektrische Leitfähigkeit	141
5.3	Modellierung	144
5.3.1	Parameterbestimmung	144
5.3.2	Wirkstofftransport	156
5.4	Schüttelversuche	182
5.4.1	Verteilungskoeffizienten des Tracers	182
5.4.2	Adsorptionsisotherme Bromid an Aktivkohle	184

6	Diskussion und Bewertung	187
6.1	Vorbemerkung	187
6.2	Versuchsaufbau und -durchführung	187
6.2.1	Schüttelversuche	187
6.2.2	Säulenversuche	190
6.3	Vor-Ort-Parameter	194
6.4	Parameterbestimmung	197
6.5	Wirkstoffe	200
6.5.1	Massenbilanzierung	200
6.5.2	Modellierung	202
6.5.3	Einzelbewertung der Wirkstoffe	205
6.6	Schlussfolgerungen und Ausblick	210
7	Zusammenfassung	213
	Literaturverzeichnis	217