

Teubner-Reihe UMWELT

W. Walther

Diffuser Stoffeintrag
in Böden und Gewässer

Teubner-Reihe UMWELT

Herausgegeben von

Prof. Dr. mult. Dr. h. c. Müfit Bahadır, Braunschweig

Prof. Dr. Hans-Jürgen Collins, Braunschweig

Prof. Dr. Bertold Hock, Freising

Diese Buchreihe ist ein Forum für Veröffentlichungen zum gesamten Themenbereich Umwelt. Es erscheinen einführende Lehrbücher, Monographien und Forschungsberichte, die den aktuellen Stand der Wissenschaft wiedergeben.

Das inhaltliche Spektrum reicht von den naturwissenschaftlich-technischen Grundlagen über umwelttechnische Fragestellungen bis hin zu juristisch, sozial- und gesellschaftswissenschaftlich ausgerichteten Titeln. Besonderer Wert wird dabei auf eine allgemeinverständliche, dennoch exakte und präzise Darstellung gelegt. Jeder Band ist in sich abgeschlossen.

Die Autoren der Reihe wenden sich vorwiegend an Studierende, Lehrende sowie in der Praxis tätige Fachleute.

Diffuser Stoffeintrag in Böden und Gewässer

Von Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Walther
Technische Universität Dresden



**Springer Fachmedien
Wiesbaden GmbH 1999**

Prof. Dr.-Ing. habil. Wolfgang Walther

Geboren 1939 in Kassel. Maurerlehre und bis 1963 Studium des Ingenieurbauwesens an der Ingenieurschule für Bauwesen in Kassel. Danach Arbeiten in Ingenieurbüros, davon mehrere Jahre in Hamburg, auf den Fachgebieten Wasserversorgung, Stadtentwässerung, Straßenbau; gleichzeitig Besuch des Abendgymnasiums, Abitur 1967.

In Braunschweig Studium des Bauingenieurwesens an der Technischen Universität mit der Vertiefungsrichtung Regional- und Landesplanung, Verkehrswesen. Ab 1973 wissenschaftlicher Mitarbeiter an der TU Braunschweig. Promotion 1979 und bis 1985 Leitung einer Arbeitsgruppe, die Forschungs- und Entwicklungsarbeiten zu dem Themenkomplex „Diffuse Belastung von Böden und Gewässern“ durchführte. Seit 1986 am Niedersächsischen Landesamt für Wasser und Abfall in Hildesheim, Aufbau und Leitung eines neu geschaffenen Dezernates „Grundwasser“. Aufbau und Ausbau der Landesmeßnetze „Grundwasser“ und an „Niederschlagsbeschaffenheit“. Aufbau und Durchführung von mehreren, interdisziplinär zusammengesetzten Forschungsvorhaben und Pilotstudien mit dem Ziel der Sicherung unterirdischer Wasservorkommen, gleichzeitig Mitarbeit in nationalen und internationalen Fachausschüssen verschiedener Fachverbände und der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser sowie Leitung von Ausschüssen.

Lehrbeauftragter für das Gebiet „Gewässergütewirtschaft“ von 1981 bis 1984 an der Gesamthochschule Kassel und seit 1989 im Rahmen des Fernstudiums „Umweltingenieurwesen“ und der Ausbildung von Bauingenieuren und Geoökologen an der TU Braunschweig. Im Jahr 1993 Habilitation an der TU Braunschweig. Im gleichen Jahr Übernahme der Professur für Grundwasserwirtschaft und Leitung des gleichnamigen Institutes an der Technischen Universität Dresden.

Gedruckt auf chlorfrei gebleichtem Papier.

Die Deutsche Bibliothek – CIP-Einheitsaufnahme

Walther, Wolfgang:

Diffuser Stoffeintrag in Böden und Gewässer / von Wolfgang

Walther.

(Teubner-Reihe Umwelt)

ISBN 978-3-519-00203-1 ISBN 978-3-322-99292-5 (eBook)

DOI 10.1007/978-3-322-99292-5

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Verlages unzulässig und strafbar. Das gilt besonders für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

© 1999 Springer Fachmedien Wiesbaden

Ursprünglich erschienen bei B.G.Teubner Stuttgart · Leipzig 1999

Vorwort

Das Thema des Buches ist besonders in den letzten zwanzig Jahren aktuell geworden. Heute hat die diffuse Stoffabgabe an Gewässer, seien es Säurebildner, Nährstoffe, Metalle, organische Stoffe transportiert über den Luftpfad oder Nährstoffe aus landwirtschaftlicher Bodennutzung, in einigen Regionen Zentraleuropas Ausmaße angenommen, die ein regelndes Eingreifen auf der Seite der Quellen der Belastungen zum Schutz der Wasserressourcen erforderlich macht. An vielen Grundwasserleitern kann beobachtet werden, daß die Fronten der Belastungen langsam in größere Tiefen wandern und über diesen Weg dann Fließgewässer erreichen. So wurden auf der Basis der Beschlüsse internationaler Konferenzen für die großen Stromgebiete Europas, wie Rhein, Elbe, Donau, in den letzten Jahren Bilanzen zu Phosphor und Stickstoff aufgestellt. Die wichtigsten Quellen dieser eutrophierenden Nährstoffe mußten erfaßt werden, um dann Gegenmaßnahmen ansetzen zu können. Die Verminderung der Auswaschung von Nährstoffen aus Böden, zum Beispiel in Wasserschutzgebieten der Trinkwassergewinnung, ist heute Gegenstand von administrativen Vorgaben in Form von Verordnungen und Gesetzen. Wenn man zum Schutz von Wasserressourcen in ihren Einzugsgebieten wirkungsvoll regelnd eingreifen will, sind Kenntnisse über die wichtigsten Quellen der Belastungen und über die Mechanismen des Stofftransportes und des Umsatzes in der betrachteten Landschaft notwendig. Heute befassen sich auf nationaler und auf internationaler Ebene verschiedene Organisationen auf der Seite der Verwaltung mit der Regelung und auf der Seite der Forschung mit der Erkundung und Modellierung der Prozesse. Das Thema wird deshalb auch weiterhin aktuell bleiben.

Dies war auch Anlaß, das Thema in Form von Lehrveranstaltung in die Ausbildung von Ingenieuren der Wasserwirtschaft und im Fernstudium „Umweltingenieurwesen“ an der Technischen Universität Braunschweig einzubinden. Die Erfahrungen in der Lehre und die Diskussionen mit Braunschweiger Kollegen und mit Kollegen in den verschiedenen Berufsverbänden waren Anlaß, dieses Thema in Buchform zu fassen.

Die Zunahme der diffusen Belastung mit ihren Wirkungen auf Gewässer wird seit den fünfziger Jahren beobachtet. Seit Mitte der siebziger Jahre wurde die Forschung auf diesem Gebiet intensiviert. Das vorliegende Buch zeigt einen Querschnitt dieser Entwicklung. Eingeflossen sind hier auch die Diskussionen und die fruchtbaren, fachlichen Auseinandersetzungen mit Kollegen aus den Bereichen Forst- und Landwirtschaft, Limnologie, Bodenkunde, Hydrologie und Wasserwirt-

schaft, die im Zusammenhang mit der Sicherung von Wasserressourcen übergeordnet oder auch am konkreten Problem eines Wasserschutzgebietes geführt wurden.

Der Verfasser möchte sich auf diesem Wege für die Vielzahl von Gesprächen bedanken, besonders bei den Kollegen des Leichtweiss-Institutes für Wasserbau und des Institutes für Siedlungswasserwirtschaft der Technischen Universität Braunschweig, bei den Kollegen aus den Bereichen Bodentechnologie, Hydrogeologie und Wasserwirtschaft der beiden Niedersächsischen Landesämter für Bodenforschung und Ökologie und bei den Kollegen der entsprechenden Arbeitskreise in der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser, im Deutschen Verein des Gas- und Wasserfaches und im Deutschen Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau. Weiter gilt mein Dank den Herren M. Pätsch, Dr. F. Reinstorf aus dem Institut für Grundwasserwirtschaft der TU Dresden, Herrn Loges, Fa. Loges Datenservice, Hildesheim, für die Korrekturarbeiten, Herrn J. Weiß vom Teubner-Verlag für die Betreuung und meiner Frau für die Unterstützung während der Entstehung der Arbeit.

Dresden, April 1999

Wolfgang Walther

Inhalt

	Symbolverzeichnis	11
1	Einleitung	13
2	Definitionen zum betrachteten System, Übersicht über die Entwicklung der Forschung und über die untersuchten Landschaftsräume.....	14
2.1	Urban-industrielles System	14
2.2	Hydrologischer Kreislauf und Wasserbeschaffenheit	16
2.3	Entwicklung der Forschung zum Thema der diffusen Gewässerbelastung	20
2.4	Übersicht über Wasser- und Stoffflüsse am betrachteten System und interne Prozesse, Grundlagen.....	21
2.4.1	Stoff- und Wasserflüsse	21
2.4.2	Interne Prozesse	26
2.4.2.1	Die wichtigsten Stoffgruppen der diffusen Belastung	26
2.4.2.2	Aspekte des Stoffumsatzes in der Atmosphäre	29
2.4.2.3	Übersicht über die Grundprozesse des Stoffumsatzes im Boden und im Gewässer	34
2.4.2.4	Puffereigenschaften von Böden im Hinblick auf den Säureeintrag über die Atmosphäre	38
3	Luftgetragene Stoffe	40
3.1	Einführung	40
3.2	Zeitliche Entwicklung der Emissionen bzw. Immissionen	41
3.3	Depositionsmechanismen	46
3.4	Meßgeräte	52
3.5	Depositionsraten	56
3.5.1	Nährstoffe	56
3.5.2	Anorganische Spurenstoffe	65
3.5.3	Organische Spurenstoffe	70
4	Prozesse des Stoffumsatzes und des Stofftransportes im System Vegetation - Boden - Gewässer	81
4.1	Entwicklung der landwirtschaftlichen Produktion und Folgen für die diffuse Belastung von Ökosystemen	81

4.2	Stofftransport infolge Erosion und Oberflächenabfluß	84
4.2.1	Bedeutung der Erosion für die Landwirtschaft und für die Gewässer	84
4.2.2	Übersicht über den Stand der Erosionsforschung	86
4.2.3	Bodenabtragsgleichung und Einflußfaktoren der Wassererosion	88
4.2.4	Indirekte Erfassung der Erosion am Ausgang von Einzugs- gebieten sowie der Austrag von gelösten und gebundenen organischen und anorganischen Stoffen bei Regenereignissen..	94
4.3	Stoffumsatz sowie Stofftransport infolge Auswaschung.....	107
4.3.1	Stickstoffkreislauf im Boden und im Grundwasser	110
4.3.1.1	Stickstoffumverteilung im Boden und Bodenfruchtbarkeit	110
4.3.1.2	Stickstoffumsatz im Grundwasser	116
4.3.2	Prozeß des Austrags von Stoffen aus dem Bodenkörper in oberirdische Gewässer und ins Grundwasser	121
4.4	Wirkung luftgetragener Säurebildner auf Boden und Gewässer	126
4.4.1	Böden	128
4.4.2	Gewässer	130
4.5	Meßtechnik zur Erfassung der Wasser- und Stoffflüsse im Boden und im Gewässer	136
4.5.1	Bodensickerwasser	136
4.5.2	Fließgewässer	140
4.5.3	Grundwasser	141
5	Stoffauswaschung aus dem Bodenkörper	145
5.1	Auswaschung unter Wald	145
5.2	Stickstoffauswaschung unter Acker und Grünland	153
5.2.1	Grünland	154
5.2.2	Ackernutzung, besonders Fruchtfolge Hackfrucht - Getreide	161
5.2.3	Diskussion der Versuchsergebnisse, die unter Grünland und Acker gewonnen wurden	161
5.3	Auswaschung weiterer gelöster Stoffe, zusammenfassende Betrachtung	162

6	Stoffeintrag in kleine Fließgewässer land- und forstwirtschaftlich genutzter Einzugsgebiete	165
6.1	Entwicklung der Forschung, Methodik und Aussagekraft der Untersuchungsergebnisse	165
6.2	Stickstoffeintrag in Fließgewässer verschiedener Einzugsgebiete	179
6.2.1	Einfluß der Pflanzendecke und der Kulturart	180
6.2.2	Beziehung zwischen Stickstoff-Fracht im Fließgewässer und dem Kulturartenverhältnis im Einzugsgebiet	181
6.3	Einfluß der Art und Dichte der Probenahme sowie Bedeutung der Länge der Meßreihen bzw. der Variation des Wasserhaushaltes	183
6.4	Beziehung zwischen dem Austrag gelöster Stoffe, dargestellt an Nitrat, und den Eigenschaften verschiedener Einzugsgebiete	184
6.5	Beziehung von Konzentrationen und Frachten gelöster Stoffe zum Abfluß	185
6.6	Phosphor-Eintrag in Fließgewässer verschiedener Einzugsgebiete	193
6.7	Der Austrag von Metallen und der Vergleich mit dem Eintrag über die Atmosphäre	200
6.8	Chlorierte Kohlenwasserstoffe, Verbleib, Austrag und Vergleich mit dem Eintrag über die Atmosphäre	206
6.9	Zusammenfassung und Schlußbetrachtung zu Abschnitt 6	214
7	Diffuse Einwirkungen auf Grundwasservorräte, Beispiele	218
7.1	Abschätzung der Verlagerungsgeschwindigkeit von Stoffen im Boden und im Grundwasserleiter	218
7.2	Verteilung verschiedener Nitrat-Umbaureaktionen in Norddeutschland und Folgen für die Wassergewinnung	221
7.3	Einfluß des Kiesabbaus auf die Grundwasserbeschaffenheit in landwirtschaftlich genutzten Einzugsgebieten	225
7.3.1	Übersicht über die Hydrochemie des Grundwassers	230
7.3.2	Untersuchungen zum Wasser- und Stoffhaushalt als Hilfsmittel zur Bewertung von Stoffquellen und Stoffumsatz	235
7.3.3	Schlußbetrachtung zu den Untersuchungen über den Einfluß des Kiesabbaus bei landwirtschaftlicher Bodennutzung	241

7.4	Regelungsbedarf und Möglichkeiten zur Verminderung der Stickstoffbelastung in Grundwassereinzugsgebieten der Wasserversorgung	242
7.4.1	Situation und mögliche Vorgehensweisen	242
7.4.2	Fallstudie	248
7.5	Pflanzenschutzmittel und Pflanzenbehandlungsmittel	258
8	Schlußbetrachtung	269
	Zusammenfassung	274
	Literaturverzeichnis	275
	Sachwortverzeichnis	307

Symbolverzeichnis

Wasserhaushalt

P	Niederschlag	l/m^2
ET	Evapotranspiration	l/m^2
E	Evaporation, Verdunstung von der Wasseroberfläche oder einer feuchten, vegetationsfreien Oberfläche	l/m^2
T	Transpiration, Abgabe von Wasserdampf über die Spaltöffnungen der Blätter, Wasseraufnahme der Pflanzen und Einbau in Zellsubstanz	l/m^2
A	Abfluß aus einem Gebietsabschnitt	l/m^2
A_o	oberirdischer Abfluß	l/m^2
A_u	unterirdischer Abfluß	l/m^2
A_{oo}	Oberflächenabfluß; es ist der Abflußteil, der bei Niederschlagsereignissen über die Landfläche abläuft und direkt das Fließgewässer erreicht.	l/m^2
A_{ob1}	Oberflächennaher Abfluß, auch lateraler Abfluß oder Zwischenabfluß genannt	l/m^2
A_{ob2}	Basisabfluß	l/m^2
A_{od}	Direkter Abfluß	l/m^2
ΔS	Speicheränderung	l/m^2
Z	Zufluß	l/m^2
K	Kapillaraufstieg, in Gebieten mit oberflächennah anstehendem Grundwasser	l/m^2
$Q_{oi}(t)$	oberirdischer Abfluß, bezogen auf die Zeiteinheit im Intervall i	m^3/s
J	Grundwasserneubildung	l/m^2
A_{Eo}	Fläche des oberirdischen Einzugsgebietes	ha, km^2
t	Zeit	s
Δt	Zeitschrittlänge	s
l	Abflußkomponente	

Stoffhaushalt

$F A_o$	Fracht eines Stoffes mit dem oberirdischen Abfluß	mg/s , $mmol/s$ $Kg/ha \cdot a$
c_o	Stoffkonzentration im oberirdischen Abfluß	mg/l , $mmol/l$
N1	Nährstoffentzug durch Biomasse (Pflanzen), wenn er aus dem Gebiet, z. B. mit der Ernte abgefahren wird	$Kg/ha \cdot a$

N2	Nährstoff - Eintrag mit der organischen und anorganischen Düngung	Kg/ha • a
G	Gasförmige Verluste infolge mikrobiologischer Umsetzungen, z. B. CO ₂ , N ₂ , N ₂ O, H ₂ S	Kg/ha • a
k	Nummer eines Stoffes	
ΔF	Speicheränderung für Stoffe	Kg/ha • a
D	Stoffdeposition im Gebiet aus der Atmosphäre in fester Form (Stäube), flüssiger Form (Regen, Nebel, Tau) und als Gas.	Kg/ha • a
Dges	Gesamt - Deposition, Summe der nassen und trockenen Deposition	Kg/ha • a
Da	Nasse Deposition, Summe der Stoffe, die während Niederschlägen (Regen, Schnee) in nasser Form auf die Erdoberfläche oder auf Vegetationsflächen gelangen	Kg/ha • a
Db	Trockene Deposition, Sedimentation+ Interzeption	Kg/ha • a
Db ₁	Sedimentation, Transport aus der Atmosphäre unter Schwerkrafteinwirkung (Staubteilchen > 5 μm),	Kg/ha • a
Db ₂	Interzeption, Anlagerung von Aerosolen (Teilchen < 1 μm) + Nebeltröpfchen + Gasen an Vegetationsoberflächen	Kg/ha • a
D _n	bulk, Niederschlagsdeposition, Summe aus der nassen Deposition und der Sedimentation	Kg/ha • a
Db ₂₁	Anlagerung von Aerosolen	Kg/ha • a
Db ₂₂	Anlagerung von Nebeltropfen	Kg/ha • a
Db ₂₃	Anlagerung von Gasen an Vegetationsoberflächen	Kg/ha • a
k, k ₁ , k _n , k _f	Reaktionskonstanten	
q	Beladung eines Austauschers	mg/kg
TS	Trockensubstanz	mg/l
LF	elektrische Leitfähigkeit	μS/cm
DOC	Gelöster organischer Kohlenstoff (dissolved organic carbon)	
TOC	Organischer Kohlenstoff, gesamt (Total organic carbon)	mg/l
AE	Ende der Abflußwelle	s
AA	Anfang der Abflußwelle	s
ASP	Scheitelabfluß	m ³ /s
TSP	Scheitel der Welle Trockensubstanz	mg/l
b ₀ , b ₁	Regressionskoeffizienten	
r	Korrelationskoeffizient	
s _{y,x}	Standardabweichung	