



Rolf Mull Henning Nordmeyer (Herausgeber)

Peter-Wilhelm Boochs Helmut Lieth (Mitherausgeber)

# Pflanzenschutzmittel im Grundwasser

Eine interdisziplinäre Studie

Mit 63 Abbildungen

Springer-Verlag

Berlin Heidelberg New York London Paris Tokyo

Hong Kong Barcelona Budapest

Univ. Prof. Dr.-Ing. Rolf Mull  
Universität Hannover, Institut für Wasserwirtschaft,  
Hydrologie und landwirtschaftlichen Wasserbau  
Appelstr. 9a, 30167 Hannover

Dr. rer. hort. Henning Nordmeyer  
Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft  
Institut für Unkrautforschung  
Messeweg 11-12, 38104 Braunschweig

Dr.-Ing. Peter-Wilhelm Boochs  
Universität Hannover, Institut für Wasserwirtschaft,  
Hydrologie und landwirtschaftlichen Wasserbau  
Appelstr. 9a, 30167 Hannover

Univ. Prof. Dr. rer. nat. Helmut Lieth  
Universität Osnabrück, Arbeitsgruppe Systemforschung  
Artilleriestr. 34, 49069 Osnabrück

Gefördert von der Volkswagen-Stiftung

Umschlagbild: BASF Bilderdienst

ISBN-13:978-3-540-58030-0

Die Deutsche Bibliothek – CIP-Einheitsaufnahme:

Pflanzenschutzmittel im Grundwasser : Eine interdisziplinäre Studie / Hrsg.: Rolf Mull ; Henning Nordmeyer.  
Mithrsg.: Peter-Wilhelm Boochs ; Helmut Lieth. – Berlin; Heidelberg; New York; London; Paris; Tokyo;  
Hong Kong; Barcelona; Budapest : Springer, 1994

ISBN-13:978-3-540-58030-0 e-ISBN-13:978-3-642-79023-2

DOI: 10.1007/978-3-642-79023-2

NE: Mull, Rolf [Hrsg.]

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, des Vortrags, der Entnahme von Abbildungen und Tabellen, der Funksendung, der Mikroverfilmung oder der Vervielfältigung auf anderen Wegen und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten. Eine Vervielfältigung dieses Werkes oder von Teilen dieses Werkes ist auch im Einzelfall nur in den Grenzen der gesetzlichen Bestimmungen des Urheberrechtsgesetzes der Bundesrepublik Deutschland vom 9. September 1965 in der jeweils geltenden Fassung zulässig. Sie ist grundsätzlich vergütungspflichtig. Zuwiderhandlungen unterliegen den Strafbestimmungen des Urheberrechtsgesetzes.

© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 1995

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 Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürfen.

Einbandgestaltung: E. Kirchner, Heidelberg

SPIN: 10468747 30/3130 — 5 4 3 2 1 0 — Gedruckt auf säurefreiem Papier

## **Vorwort**

Pflanzenschutzmittel dienen im wesentlichen der Sicherung der Nahrungsmittelproduktion. Durch ihre Anwendung ist es gelungen, die Menge und Qualität landwirtschaftlicher Produkte erheblich zu steigern. Allerdings hat der Einsatz von Pflanzenschutzmitteln auch dazu geführt, daß Rückstände in Ernteprodukten auftreten und der Naturhaushalt belastet werden kann. Das wichtigste Nahrungsmittel, das Trinkwasser, muß vor Rückständen dieser Stoffe geschützt werden.

Nachweislich sind aber Spuren dieser Stoffe in Wässern gefunden worden, die zur Trinkwasserversorgung dienen. In wenigen Fällen lagen die ermittelten Konzentrationen über den Grenzwerten, die von der Europäischen Union für Trinkwasser vorgegeben sind. Diese Befunde und die weit verbreitete Anwendung von Pflanzenschutzmitteln vornehmlich in der Landwirtschaft haben zu der Frage geführt, in welchem Maße die Trinkwasserversorgung in der Bundesrepublik Deutschland durch diese Stoffe bedroht ist. Die Volkswagen-Stiftung hat den Herausgebern des vorliegenden Berichtes Mittel zur Verfügung gestellt, um dieser Frage in einem dreijährigen Forschungsvorhaben nachzugehen.

Eigene Ergebnisse lokaler und regionaler Untersuchungen des Transports verschiedener Wirkstoffe im Untergrund einschließlich der Grundwasserzone und solche anderer nationaler und internationaler Forscher und Forschergruppen haben eine Einschätzung der angesprochenen Gefahr ermöglicht. Das Hauptaugenmerk wurde auf das Grundwasser gerichtet, da in der Bundesrepublik Deutschland etwa 75 % des Trinkwassers aus dieser Ressource stammen.

Die Herausgeber und Autoren bedanken sich bei Frau Gesa Schnelle für die umsichtige Durchführung der Laborarbeiten und bei Herrn Dr. Thomas Eggers für die kritische Durchsicht des Manuskripts. Ferner danken sie der Volkswagen-Stiftung für die gewährte finanzielle Unterstützung und dem Springer-Verlag für die Mithilfe, die Ergebnisse einem breiten Fachpublikum zugänglich zu machen.

Rolf Mull

Hannover, im Juni 1994

## **Inhaltsverzeichnis**

<b>1</b>	<b>Einleitung</b> .....	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Pflanzenschutzmittel und Wasserversorgung</b> .....	<b>6</b>
2.1	Wasserversorgung .....	6
2.2	Herkunft des Trinkwassers .....	7
2.3	Belastungssituation des Grundwassers.....	7
2.4	Weg der Pflanzenschutzmittel zum Grundwasser .....	9
2.5	Ausbreitung der PSM im Grundwasser .....	11
2.6	Flächennutzung und PSM im Grundwasser .....	13
<b>3</b>	<b>Pflanzenschutzmittel und gesetzliche Bestimmungen</b> .....	<b>16</b>
3.1	Einteilung .....	16
3.2	Eigenschaften .....	18
3.3	Verbrauch und Anwendung .....	19
3.4	Gesetzliche Bestimmungen.....	23
3.4.1	Pflanzenschutzgesetz.....	23
3.4.2	Wasserhaushaltsgesetz .....	23
3.4.3	Trinkwasserverordnung .....	25
3.4.4	Pflanzenschutz-Anwendungsverordnung .....	26
3.4.5	Pflanzenschutz-Sachkundeverordnung.....	27
3.5	Zulassung von Pflanzenschutzmitteln .....	27
<b>4</b>	<b>Pflanzenschutzmittel in der Umwelt</b> .....	<b>34</b>
4.1	Aufwandmengen .....	34
4.2	Spritzfolge.....	35
4.3	Wiederholte Anwendungen .....	38
4.4	Bodenbearbeitung.....	40
4.5	Fruchtfolge .....	40
4.6	Aufnahme durch Pflanzen .....	41
4.7	Klima .....	42
4.7.1	Verdunstung und Verflüchtigung.....	42
4.7.2	Niederschlag .....	45
4.7.3	Temperatur .....	46

<b>5</b>	<b>Ausbreitung von Pflanzenschutzmitteln im Boden und im Grundwasser .....</b>	<b>47</b>
5.1	Prozesse .....	47
5.1.1	Advektion.....	48
5.1.2	Dispersion .....	50
5.1.3	Ad- und Desorption.....	51
5.1.4	Biochemische Umwandlungen und Abbau .....	53
5.2	Einflüsse auf die Prozesse .....	55
5.2.1	Boden.....	55
5.2.1.1	Textur und Struktur .....	55
5.2.1.2	Humusgehalt .....	56
5.2.2	Flurabstand.....	58
5.2.3	Alterung .....	58
5.3	Pflanzenschutzmittel im Grundwasser .....	59
<b>6</b>	<b>Experimentelle Untersuchungen .....</b>	<b>65</b>
6.1	Charakterisierung der Böden und Grundwasserleitersedimente.....	66
6.2	Auswahl der Pflanzenschutzmittel.....	69
<b>7</b>	<b>Laborexperimente.....</b>	<b>72</b>
7.1	Abbau- und Sorptionsstudien in der ungesättigten Zone .....	72
7.1.1	Versuchsaufbau und -bedingungen .....	73
7.1.1.1	Sorptionsstudien .....	73
7.1.1.2	Abbaustudien .....	73
7.1.2	Ergebnisse und Diskussion .....	75
7.1.2.1	Sorptionsstudien .....	75
7.1.2.2	Abbaustudien .....	76
7.2	Abbau und Sorption im Grundwasser .....	78
7.2.1	Versuchsaufbau und -bedingungen .....	78
7.2.3	Ergebnisse.....	81
7.2.4	Folgerungen für die Berechnungen .....	85
<b>8</b>	<b>Lysimeterstudien .....</b>	<b>86</b>
8.1	Versuchsaufbau und -durchführung.....	86
8.2	Ergebnisse und Diskussion .....	89

<b>9</b>	<b>Feldexperimente</b> .....	<b>94</b>
9.1	Versuchsdurchführung .....	94
9.2	Ergebnisse .....	95
9.2.1	Grundwasseruntersuchungen .....	95
9.2.2	PSM-Verlagerung im Bodenprofil .....	96
9.2.2.1	Standort Meyenfeld .....	96
9.2.2.2	Standort Ruthe.....	98
<b>10</b>	<b>Simulationsmodelle</b> .....	<b>101</b>
10.1	Modellhierarchie .....	101
10.2	Modelle für die ungesättigte Bodenzone.....	103
10.3	Modelle für das Grundwasser .....	105
<b>11</b>	<b>Modellrechnungen in der ungesättigten Bodenzone</b> .....	<b>107</b>
11.1	Modell PETMOS .....	107
11.1.1	Mathematische Grundlagen .....	108
11.1.2	Modellparameter .....	110
11.1.3	Van Genuchten-Parameter.....	110
11.1.4	Degradationskoeffizienten .....	112
11.2	Modell PRZM .....	117
11.2.1	Simulationsrechnungen.....	118
11.2.1.1	Sensitivitätsanalysen.....	118
11.2.1.1	Standort Meyenfeld .....	121
11.2.1.2	Standort Ruthe.....	123
11.2.1.3	Referenzstandort .....	123
11.2.2	Boden- und Klimaszenarien Standort Hausen.....	125
11.3	Abschätzung des Eintrags von PSM in das Grundwasser .....	129
<b>12</b>	<b>Modellrechnungen im Grundwasser</b> .....	<b>135</b>
12.1	Fallstudie "HAUSEN" .....	135
12.1.1	Geologie und Geometrie des Grundwassersystems .....	135
12.1.2	Grundwasserströmung .....	137
12.1.3	Grundwasserneubildung und Oberflächengewässer .....	139
12.1.4	Böden und landwirtschaftliche Nutzung .....	140
12.1.5	Auftreten von PSM im Untersuchungsgebiet .....	141
12.1.5.1	Nachweishäufigkeit .....	141
12.1.5.2	PSM-Konzentrationen im Grundwasser .....	144
12.1.5.3	PSM-Konzentrationen in Oberflächengewässern .....	146

12.1.6	Zeitliche Entwicklung der PSM-Belastung in Grund- und Oberflächenwasser .....	147
12.1.7	Berechnung der Ausbreitung von PSM im Grundwasser.....	152
12.1.7.1	Modellkonzeption.....	152
12.1.7.2	Aufbau des Strömungsmodells .....	152
12.1.7.3	Abschätzung des Atrazineintrags in das Grundwasser .....	153
12.1.7.4	Simulation der Atrazinausbreitung (stationäre Betrachtung) .....	157
12.1.7.5	Abschätzung der Halbwertszeit für den Abbau von Atrazin im Grundwasser .....	159
12.1.7.6	Simulation der Atrazinausbreitung (instationäre Betrachtung) .....	161
12.2	Abschätzung der Belastung des Rohwassers von Grundwasserförderbrunnen durch PSM.....	163
13	<b>Zusammenfassung</b> .....	168
14	<b>Literaturverzeichnis</b> .....	174
15	<b>Sachverzeichnis</b> .....	190



## **Autoren**

Dipl.-Ing. agr. Dirk Aderhold  
Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft  
Institut für Unkrautforschung, Messeweg 11-12, 38104 Braunschweig

Dipl.-Phys. Hans-Hermann Bode  
Universität Osnabrück, Arbeitsgruppe Systemforschung  
Artilleriestraße 34, 49069 Osnabrück

Dr.-Ing. Peter-Wilhelm Boochs  
Universität Hannover, Institut für Wasserwirtschaft, Hydrologie und  
landwirtschaftlichen Wasserbau, Appelstraße 9a, 30167 Hannover

Univ. Prof. Dr.-Ing. Rolf Mull  
Universität Hannover, Institut für Wasserwirtschaft, Hydrologie und  
landwirtschaftlichen Wasserbau, Appelstraße 9a, 30167 Hannover

Dr. rer. hort. Henning Nordmeyer  
Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft  
Institut für Unkrautforschung, Messeweg 11-12, 38104 Braunschweig

Dipl.-Geophys. Christoph Schöpfer  
Technologieberatung Grundwasser und Umwelt GmbH  
Niederlassung Erfurt, Brühler Herrenberg 2a, 99092 Erfurt