



Erkennung, Quantifizierung und Verminderung punktuelle Pflanzenschutzmittel-Einträge in Oberflächengewässer

Dissertation

zur Erlangung
des akademischen Grades „Dr. agr.“
Doktor der Agrarwissenschaften

am Fachbereich 09
“Agrarwissenschaften, Ökotoxikologie und Umweltmanagement”

der
Justus-Liebig-Universität
Gießen

vorgelegt von
Annika Susanne Blarr

Gießen, November 2008

Erklärung

Ich habe die vorgelegte Dissertation selbständig und ohne unerlaubte fremde Hilfe und nur mit den Hilfsmitteln angefertigt, die ich in der Dissertation angegeben habe.

Alle Textstellen, die wörtlich oder sinngemäß aus veröffentlichten Schriften entnommen sind, und alle Angaben, die auf mündlichen Auskünften beruhen, sind als solche kenntlich gemacht.

Bei den von mir durchgeführten und in der Dissertation erwähnten Untersuchungen habe ich die Grundsätze guter wissenschaftlicher Praxis, wie sie in der „Satzung der Justus-Liebig-Universität Gießen zur Sicherung guter wissenschaftlicher Praxis“ niedergelegt sind, eingehalten.

Gießen, im November 2008

Erkennung, Quantifizierung und Verminderung punktueller Pflanzenschutzmittel-Einträge in Oberflächengewässer

Inhaltsverzeichnis	I
Abbildungsverzeichnis	IV
Tabellenverzeichnis	IX
Abkürzungsverzeichnis	XIII
1. Einführung ins Thema und Zielsetzung der Arbeit.....	1
2. Stand der Forschung.....	5
2.1 Freisetzungspotenzial von PSM-Wirkstoffen auf dem Hof	5
2.1.1 Lagerung von PSM und Entsorgung restentleerter Verpackungseinheiten	7
2.1.2 Befüllen der Feldspritze	9
2.1.3 Entleeren der Feldspritze	13
2.1.4 Reinigen von Feldspritze und Traktor	15
2.1.5 Reparatur und Instandhaltungsarbeiten an der Feldspritze	21
2.1.6 Unkrautbeseitigung auf dem Hof	21
2.1.7 Zusammenfassung	21
2.2 Ursachen von Punkteinträgen außerhalb landwirtschaftlicher Höfe	23
2.2.1 Einträge durch Abschwemmung von PSM-Rückständen von befestigten Flächen	23
2.2.2 Einträge von PSM-Rückständen aus der Behandlung von Bahngleisanlagen	25
2.2.3 Einträge von PSM-Rückständen aus Baumaterialien	25
2.2.4 Auswaschung von PSM-Rückständen aus der Atmosphäre	26
2.2.5 Einträge aus Winzereien und Obstgroßmärkten	26
2.2.6 Einträge aus Produktionsanlagen und Formulierungsbetrieben	27
2.3 Bewertung von Minderungsstrategien	28
2.3.1 Information und Schulung der Anwender	28
2.3.2 Einrichtung von Waschplätzen für Feldspritzen („Biobeds“)	32
2.3.3 Anschaffung neuer Technik bzw. Nachrüstung	38
2.3.4 Ordnungsrechtliche Maßnahmen zur Einhaltung von Handlungsvorschriften	39
2.3.5 Modifikation beim Umgang mit Präparaten auf der Hoffläche	43
2.3.6 Abwasserbehandlung	43
2.3.7 Auswahl geeigneter Maßnahmen	44
2.4 Bisherige Untersuchungen von Kläranlagen in Deutschland auf PSM-Rückstände	46

3. Material und Methoden	57
3.1 Auswahl der Kläranlagen	58
3.2 Beprobungsdesign	63
3.2.1 Probenahme und Transport der Proben	63
3.2.2 Wirkungsspektrum	66
3.2.2.1 Auswahlverfahren Ackerbau	66
3.2.2.2 Auswahlverfahren Weinbau	76
3.3 Analyse der Proben	78
3.4 Auswertung der Daten	79
3.4.1 Daten der Weinbau-Kläranlage	79
3.4.2 Daten der Ackerbau-Kläranlagen	80
3.4.3 Niederschlagsverteilung und Wirkstoff-Frachten	80
4. Pflanzenschutzmittel-Frachten im Ablauf der Weinbau-Kläranlage	82
4.1 Gesamtfrachten in den Applikationszeiträumen 2006 und 2007	82
4.2 Einzelwirkstoff-Frachten in den Applikationszeiträumen 2006 und 2007	83
4.3 PSM-Frachten im Zeitraum 01.11.2006 bis 14.05.2007	86
4.4 Atrazin- und Simazin-Frachten im Jahr 2007	89
4.5 Niederschlagsverteilung und Wirkstoff-Frachten	90
4.6 Frachten bezogen auf die Zahl der angeschlossenen Weinbaubetriebe	91
4.7 Frachten bezogen auf die Rebfläche im Einzugsgebiet	93
4.8 Applikationszeiträume und Wirkstoff-Frachten	94
4.9 Zwischenfazit Beprobung Weinbau-Kläranlage	99
5. Pflanzenschutzmittel-Frachten im Ablauf von sieben Ackerbau-Kläranlagen	104
5.1 PSM-Konzentrationen und Frachten im Herbst 2006	104
5.1.1 PSM-Gesamtfrachten in den sieben Kläranlagen im Herbst 2006	104
5.1.2 Fundhäufigkeiten und Konzentrationsmaxima der Wirkstoffe im Herbst 2006	105
5.2 PSM-Konzentrationen und Frachten im Frühjahr 2007	109
5.2.1 PSM-Gesamtfrachten in den sieben Kläranlagen im Frühjahr 2007	110
5.2.2 Fundhäufigkeiten und Konzentrationsmaxima der Wirkstoffe im Frühjahr 2007	110
5.3 Niederschlagsverteilung und Wirkstoff-Frachten	116
5.4 Frachten bezogen auf die Anzahl der Spritzgeräte	117
5.5 Frachten bezogen auf die landwirtschaftliche Nutzfläche	122
5.6 Applikationszeiträume und Wirkstoff-Frachten	124
5.6.1 Wirkstoffe Getreideanbau	126
5.6.2 Wirkstoffe Rapsanbau	127

Inhaltsverzeichnis	III
5.6.3 Wirkstoffe Zuckerrübenanbau	128
5.6.4 Wirkstoffe Maisanbau	129
5.7 Zwischenfazit Beprobung Ackerbau-Kläranlagen	131
6. Maßgebliche Kriterien für das Auftreten von PSM-Punkteinträgen in Deutschland	138
7. Zusammenfassung.....	144
8. Literaturverzeichnis.....	146
Anhang	162
Danksagung	

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1. Beispiel einer schwenkbaren Kanisterspüleinrichtung an modernen Applikationsgeräten	8
Abb. 2. Befüllsysteme moderner Applikationsgeräte	10
Abb. 3. Traktor mit herkömmlicher Anbau-Feldspritze	10
Abb. 4. Einfüllvorrichtung einer herkömmlichen Feldspritze	11
Abb. 5. Technische Restmengen von Feldspritzen nach Gerätetypen (Stand 2002) aus: Ganzelmeier (2005)	13
Abb. 6. Verteilung von Untersuchungen zur PSM-Fracht aus Kläranlagen im Bundesgebiet (eigene Darstellung)	48
Abb. 7. PSM-Gesamtfracht pro Betrieb [g] im Einzugsgebiet von Kläranlagen in Ackerbaugebieten während der Untersuchungsperiode	54
Abb. 8. Lage der beprobten Kläranlagen im Bundesgebiet (blau markiert: Ackerbau-Kläranlagen, gelb markiert Weinbau-Kläranlage)	62
Abb. 9. Transportverpackung der Proben	65
Abb. 10. Wöchentliche Pflanzenschutzmittel-Frachten (Summe 33 Wirkstoffe) im Ablauf der KA_N während der Hauptapplikationsperioden (20.-43. KW) in den Jahren 2006 und 2007	82
Abb. 11. Gesamtfracht der einzelnen Wirkstoffe im Ablauf der KA_N während der Hauptapplikationsperioden (20.-43. KW) in den Jahren 2006 und 2007	83
Abb. 12. Wöchentliche PSM-Frachten (Summe 33 Wirkstoffe) im Ablauf der KA_N im Zeitraum November 2006 bis Mai 2007	87
Abb. 13. Wöchentliche Frachten der Wirkstoffe Tebuconazol und Boscalid im Ablauf der KA_N von November 2006 bis Mai 2007	88
Abb. 14. Wöchentliche Frachten des Wirkstoffes Simazin im Ablauf der KA_N im Jahr 2007 (1.-43. KW)	89
Abb. 15. Frachten pro Weinbau-Betrieb für die einzelnen Wirkstoffe während der Hauptapplikationsperioden (20.-43. KW) in den Jahren 2006 und 2007	92
Abb. 16. Wöchentliche Frachten von Botrytiziden im Ablauf der KA_N während der Applikationsperiode 2006 (20.-43. KW)	95

Abb. 17. Wöchentliche Frachten von Peronospora-Fungiziden im Ablauf der KA_N während der Applikationsperiode 2006 (20.-43. KW)	96
Abb. 18. Wöchentliche Frachten eines Universal-Fungizids im Ablauf der KA_N während der Applikationsperiode 2006 (20.-43. KW)	97
Abb. 19. Wöchentliche Frachten von Botrytiziden im Ablauf der KA_N während der Applikationsperiode 2007 (20.-43. KW)	98
Abb. 20. Wöchentliche Frachten von Peronospora-Fungiziden im Ablauf der KA_N während der Applikationsperiode 2007 (20.-43. KW)	99
Abb. 21. Wirkstoff-Gesamtfrachten (ohne Diuron) pro Spritzgerät in den Einzugsgebieten der Ackerbau-Kläranlagen im Herbst 2006 (33.-43. KW)	118
Abb. 22. Wirkstoff-Gesamtfrachten (ohne Diuron) pro Spritzgerät in den Einzugsgebieten der Ackerbau-Kläranlagen im Frühjahr 2007 (10.-23. KW)	119
Abb. 23. Frachten pro Spritzgerät der hauptsächlich gefundenen Wirkstoffe in den Einzugsgebieten der Ackerbau-Kläranlagen im Herbst 2006 (33.-43. KW)	120
Abb. 24. Frachten pro Spritzgerät der hauptsächlich gefundenen Wirkstoffe in den Einzugsgebieten der Ackerbau-Kläranlagen im Frühjahr 2007 (10.-23. KW)	120
Abb. 25. Darstellung der Kenngröße „PSM-Fracht pro Feldspritze“ (bezogen auf die Betrachtungszeiträume Herbst 2006 und Frühjahr 2007) im Ablauf von sieben Kläranlagen	133
Abb. 26. Zeitlicher Zusammenhang von Anwendungsempfehlung bestimmter Präparate und Detektion der entsprechenden Wirkstoffe im Kläranlagenablauf der KA_N (Betrachtungszeitraum 20.-43. KW 2006)	138

Abbildungen im Anhang

Abb. A-1. Wochenfrachten von Azoxystrobin in den Hauptapplikationszeiträumen (20.-43.KW) im Ablauf der KA_N in den Jahren 2006 und 2007	
Abb. A-2. Wochenfrachten von Boscalid in den Hauptapplikationszeiträumen (20.-43.KW) im Ablauf der KA_N in den Jahren 2006 und 2007	
Abb. A-3. Wochenfrachten von Cyprodinil in den Hauptapplikationszeiträumen (20.-43.KW) im Ablauf der KA_N in den Jahren 2006 und 2007	
Abb. A-4. Wochenfrachten von Dimetomorph in den Hauptapplikationszeiträumen (20.-43.KW) im Ablauf der KA_N in den Jahren 2006 und 2007	
Abb. A-5. Wochenfrachten von Fenhexamid in den Hauptapplikationszeiträumen (20.-43.KW) im Ablauf der KA_N in den Jahren 2006 und 2007	

- Abb. A-6.** Wochenfrachten von Fenpropimorph in den Hauptapplikationszeiträumen (20.-43.KW) im Ablauf der KA_N in den Jahren 2006 und 2007
- Abb. A-7.** Wochenfrachten von Fludioxonil in den Hauptapplikationszeiträumen (20.-43.KW) im Ablauf der KA_N in den Jahren 2006 und 2007
- Abb. A-8.** Wochenfrachten von Folpet in den Hauptapplikationszeiträumen (20.-43.KW) im Ablauf der KA_N in den Jahren 2006 und 2007
- Abb. A-9.** Wochenfrachten von Iprovalicarb in den Hauptapplikationszeiträumen (20.-43.KW) im Ablauf der KA_N in den Jahren 2006 und 2007
- Abb. A-10.** Wochenfrachten von Pyrimethanil in den Hauptapplikationszeiträumen (20.-43.KW) im Ablauf der KA_N in den Jahren 2006 und 2007
- Abb. A-11.** Wochenfrachten von Tebuconazol in den Hauptapplikationszeiträumen (20.-43.KW) im Ablauf der KA_N in den Jahren 2006 und 2007
- Abb. A-12.** Fundzeiträume von 2,4 DP im Ablauf von sieben Kläranlagen (Betrachtungszeitraum 33.–46. KW 2006)
- Abb. A-13.** Fundzeiträume von 2,4 DP im Ablauf von sieben Kläranlagen (Betrachtungszeitraum 10.–23. KW 2007)
- Abb. A-14.** Fundzeiträume von Bentazon im Ablauf von sieben Kläranlagen (Betrachtungszeitraum 33.–46. KW 2006)
- Abb. A-15.** Fundzeiträume von Bentazon im Ablauf von sieben Kläranlagen (Betrachtungszeitraum 10.–23. KW 2007)
- Abb. A-16.** Fundzeiträume von Ethofumesat im Ablauf von sieben Kläranlagen (Betrachtungszeitraum 33.–46. KW 2006)
- Abb. A-17.** Fundzeiträume von Ethofumesat im Ablauf von sieben Kläranlagen (Betrachtungszeitraum 10.–23. KW 2007)
- Abb. A-18.** Fundzeiträume von Isoproturon im Ablauf von sieben Kläranlagen (Betrachtungszeitraum 33.–46. KW 2006)
- Abb. A-19.** Fundzeiträume von Isoproturon im Ablauf von sieben Kläranlagen (Betrachtungszeitraum 10.–23. KW 2007)
- Abb. A-20.** Fundzeiträume von MCPA im Ablauf von sieben Kläranlagen (Betrachtungszeitraum 33.–46. KW 2006)
- Abb. A-21.** Fundzeiträume von MCPA im Ablauf von sieben Kläranlagen (Betrachtungszeitraum 10.–23. KW 2007)

- Abb. A-22.** Fundzeiträume von MCPP im Ablauf von sieben Kläranlagen
(Betrachtungszeitraum 33.–46. KW 2006)
- Abb. A-23.** Fundzeiträume von MCPP im Ablauf von sieben Kläranlagen
(Betrachtungszeitraum 10.–23. KW 2007)
- Abb. A-24.** Fundzeiträume von Metamitron im Ablauf von sieben Kläranlagen
(Betrachtungszeitraum 33.–46. KW 2006)
- Abb. A-25.** Fundzeiträume von Metamitron im Ablauf von sieben Kläranlagen
(Betrachtungszeitraum 10.–23. KW 2007)
- Abb. A-26.** Fundzeiträume von Metazachlor im Ablauf von sieben Kläranlagen
(Betrachtungszeitraum 33.–46. KW 2006)
- Abb. A-27.** Fundzeiträume von Metazachlor im Ablauf von sieben Kläranlagen
(Betrachtungszeitraum 10.–23. KW 2007)
- Abb. A-28.** Fundzeiträume von Tebuconazol im Ablauf von sieben Kläranlagen
(Betrachtungszeitraum 33.–46. KW 2006)
- Abb. A-29.** Fundzeiträume von Tebuconazol im Ablauf von sieben Kläranlagen
(Betrachtungszeitraum 10.–23. KW 2007)
- Abb. A-30.** Summenfracht aller Wirkstoffe (26 Wirkstoffe und 2 Metabolite) im Ablauf der KA_B und Niederschlagssumme zum Zeitpunkt der Einzelproben (3- bzw. 4-Tages-Mischproben) im Beprobungszeitraum 33. bis 46. KW 2006 (n. a. = nicht analysiert)
- Abb. A-31.** Summenfracht aller Wirkstoffe (26 Wirkstoffe und 2 Metabolite) im Ablauf der KA_B und Niederschlagssumme zum Zeitpunkt der Einzelproben (3- bzw. 4-Tages-Mischproben) im Beprobungszeitraum 10. bis 23. KW 2007
- Abb. A-32.** Summenfracht aller Wirkstoffe (26 Wirkstoffe und 2 Metabolite) im Ablauf der KA_F und Niederschlagssumme zum Zeitpunkt der Einzelproben (3- bzw. 4-Tages-Mischproben) im Beprobungszeitraum 33. bis 46. KW 2006
- Abb. A-33.** Summenfracht aller Wirkstoffe (26 Wirkstoffe und 2 Metabolite) im Ablauf der KA_F und Niederschlagssumme zum Zeitpunkt der Einzelproben (3- bzw. 4-Tages-Mischproben) im Beprobungszeitraum 10. bis 23. KW 2007
- Abb. A-34.** Summenfracht aller Wirkstoffe (26 Wirkstoffe und 2 Metabolite) im Ablauf der KA_J und Niederschlagssumme zum Zeitpunkt der Einzelproben (3- bzw. 4-Tages-Mischproben) im Beprobungszeitraum 33. bis 46. KW 2006 (n. a. = nicht analysiert)
- Abb. A-35.** Summenfracht aller Wirkstoffe (26 Wirkstoffe und 2 Metabolite) im Ablauf der KA_J und Niederschlagssumme zum Zeitpunkt der Einzelproben (3- bzw. 4-Tages-Mischproben) im Beprobungszeitraum 10. bis 23. KW 2007

- Abb. A-36.** Summenfracht aller Wirkstoffe (26 Wirkstoffe und 2 Metabolite) im Ablauf der KA_L und Niederschlagssumme zum Zeitpunkt der Einzelproben (3- bzw. 4-Tages-Mischproben) im Beprobungszeitraum 33. bis 46. KW 2006
- Abb. A-37.** Summenfracht aller Wirkstoffe (26 Wirkstoffe und 2 Metabolite) im Ablauf der KA_L und Niederschlagssumme zum Zeitpunkt der Einzelproben (3- bzw. 4-Tages-Mischproben) im Beprobungszeitraum 10. bis 23. KW 2007
- Abb. A-38.** Summenfracht aller Wirkstoffe (26 Wirkstoffe und 2 Metabolite) im Ablauf der KA_O und Niederschlagssumme zum Zeitpunkt der Einzelproben (3- bzw. 4-Tages-Mischproben) im Beprobungszeitraum 33. bis 46. KW 2006 (n. a. = nicht analysiert)
- Abb. A-39.** Summenfracht aller Wirkstoffe (26 Wirkstoffe und 2 Metabolite) im Ablauf der KA_O und Niederschlagssumme zum Zeitpunkt der Einzelproben (3- bzw. 4-Tages-Mischproben) im Beprobungszeitraum 10. bis 23. KW 2007
- Abb. A-40.** Summenfracht aller Wirkstoffe (26 Wirkstoffe und 2 Metabolite) im Ablauf der KA_Reis und Niederschlagssumme zum Zeitpunkt der Einzelproben (3- bzw. 4-Tages-Mischproben) im Beprobungszeitraum 33. bis 46. KW 2006 (n. a. = nicht analysiert)
- Abb. A-41.** Summenfracht aller Wirkstoffe (26 Wirkstoffe und 2 Metabolite) im Ablauf der KA_Reis und Niederschlagssumme zum Zeitpunkt der Einzelproben (3- bzw. 4-Tages-Mischproben) im Beprobungszeitraum 10. bis 23. KW 2007
- Abb. A-42.** Summenfracht aller Wirkstoffe (26 Wirkstoffe und 2 Metabolite) im Ablauf der KA_Rh und Niederschlagssumme zum Zeitpunkt der Einzelproben (3- bzw. 4-Tages-Mischproben) im Beprobungszeitraum 33. bis 46. KW 2006 (n. a. = nicht analysiert)
- Abb. A-43.** Summenfracht aller Wirkstoffe (26 Wirkstoffe und 2 Metabolite) im Ablauf der KA_Rh und Niederschlagssumme zum Zeitpunkt der Einzelproben (3- bzw. 4-Tages-Mischproben) im Beprobungszeitraum 10. bis 23. KW 2007

Tabellenverzeichnis

Tab. 1. Freisetzung von PSM-Präparaten beim Befüllen von Applikationsgeräten (nach Glass et al., 2002)	11
Tab. 2. Gängige Formulierungstypen von PSM zum Einsatz in Feldspritzen nach Henser (2006)	13
Tab. 3. Empfohlene Termine für Innenreinigung der Feldspritze (nach Topagrar, 03/2007)	16
Tab. 4. Eigenschaften von sechs PSM-Wirkstoffen auf der Oberfläche von Applikationsgeräten (Ramwell et al., 2006)	19
Tab. 5. Freisetzungspotenzial von PSM-Wirkstoffen im Hofbereich	22
Tab. 6. Halbwertszeiten von PSM-Wirkstoffen in „Biomix“-Versuchen („Biomix“ bestehend aus: 50 % Stroh, 25 % Torfmull, 25 % Mutterboden), (Spliid et al., 2006)	34
Tab 7. Zusammenfassende Bewertung von Minderungsstrategien (in Anlehnung an Reichenberger et al., 2006; ergänzt)	45
Tab. 8. Untersuchungen von Kläranlagen-Abläufen in Ackerbaugebieten in Deutschland	51
Tab. 9. Untersuchungen von Kläranlagen-Abläufen in Weinbaugebieten in Deutschland	52
Tab. 10. Ranking der rechnerischen Wirkstoff-Frachten pro Betrieb aus den Kläranlagen-Untersuchungen der Tab. 8 und 9	55
Tab. 11. Beprobungszeiträume der Kläranlagen-Untersuchung in den Jahren 2006 und 2007	57
Tab. 12. Kenngrößen der ausgewählten Kläranlagen	60
Tab. 13. Boden-Klima-Regionen der ausgewählten Kläranlagen (nach der Systematik von Kaule und Schulzke, 1998)	61
Tab. 14. Probenahme an den Kläranlagen	65
Tab. 15. Spektrum der analysierten Wirkstoffe in den Proben der Ackerbau-Kläranlagen	67
Tab. 16. Spektrum der analysierten Wirkstoffe in den Proben der Weinbau-Kläranlage	77
Tab. 17. Wirkstoffe, deren Summe der Einzelfrachten 80 % der Gesamtfracht in der Applikationsperiode 2006 (20.–43. KW) betrug	85

Tab. 18. Wirkstoffe, deren Summe der Einzelfrachten 80 % der Gesamtfracht in der Applikationsperiode 2007 (20.–43. KW) betrug	86
Tab. 19. Vergleich der Wirkstoff-Frachten an der KA_N in unterschiedlichen Zeiträumen	87
Tab. 20. Bestimmtheitsmaße R^2 der Regressionen zwischen den Wirkstoff-Frachten und der Niederschlagsmenge im Einzugsgebiet der KA_N für alle Beprobungstermine mit Fracht > 0, verschiedene Auswertungszeiträume und Berechnungsansätze (n= Anzahl der Wertepaare)	90
Tab. 21. Kenngrößen zum Einzugsgebiet der KA_N	91
Tab. 22. Gemittelte Einzelwirkstofffracht pro Weinbaubetrieb im Durchschnitt der beiden Applikationszeiträume (jew. 20.–43. KW) 2006 und 2007	93
Tab. 23. Gesamtfrachten (Summe 32 Wirkstoffe) bezogen auf die Rebfläche im Einzugsgebiet der KA_N in den einzelnen Betrachtungszeiträumen	93
Tab. 24. Mittlere Einzelwirkstoff-Frachten bezogen auf die Rebfläche der Weinbaubetriebe im Einzugsgebiet der KA_N während der Applikationszeiten (jew. 20.–43. KW) 2006 und 2007 (Simazin-Werte beziehen sich ausschließlich auf 20.–43. KW 2007)	94
Tab. 25. Gesamtfrachten (Summe 28 Wirkstoffe) im Ablauf der Ackerbau-Kläranlagen im Herbst 2006 (33.–46. KW)	105
Tab. 26. Nachweishäufigkeit (Anzahl der Proben > BG) von PSM-Wirkstoffen im Ablauf der Ackerbau-Kläranlagen im Herbst 2006 (33.–46. KW 2006)	106
Tab. 27. Maximale Konzentrationen der PSM-Wirkstoffe in Einzelproben im Ablauf der Ackerbau-Kläranlagen im Herbst 2006 (33.–46. KW)	107
Tab. 28. Reihenfolge der Häufigkeiten der Nachweise (insgesamt und <BG) von Wirkstoffen in den Ackerbau-Kläranlagen im Herbst 2006 (33.–46.KW)	109
Tab. 29. Gesamtfrachten (Summe 28 Wirkstoffe) im Ablauf der Ackerbau-Kläranlagen im Frühjahr 2007 (10.–23. KW)	110
Tab. 30. Nachweishäufigkeit (Anzahl der Proben > BG) von PSM-Wirkstoffen im Ablauf der Ackerbau-Kläranlagen im Frühjahr 2007 (10.–23. KW 2006)	112
Tab. 31. Maximale Konzentrationen der PSM-Wirkstoffe in Einzelproben im Ablauf der Ackerbau-Kläranlagen im Frühjahr 2007 (10.–43. KW)	114
Tab. 32. Reihenfolge der Häufigkeiten der Nachweise (insgesamt und <BG) von Wirkstoffen in den Ackerbau-Kläranlagen im Frühjahr 2007 (10.-23.KW)	115

Tab. 33. Bestimmtheitsmaße R^2 der Regressionen zwischen den Wirkstoff-Frachten und der Niederschlagsmenge im Einzugsgebiet der Ackerbau-Kläranlagen für verschiedene Auswertungszeiträume und Berechnungsansätze (n=Anzahl der Wertepaare)	116
Tab. 34. Ackerbau-Kläranlagen: Anzahl der Betriebe, durchschnittliche Betriebsgröße und Anzahl der Spritzgeräte im Einzugsgebiet der Kläranlagen	117
Tab. 35. Frachten pro Spritzgerät (hauptsächlich gefundene Wirkstoffe), gemittelt über die Ackerbau-Kläranlagen	121
Tab. 36. PSM-Frachten (gesamter Untersuchungszeitraum) bezogen auf die landwirtschaftliche Nutzfläche, die von Betrieben in den Einzugsgebieten der beprobten Ackerbau-Kläranlagen bewirtschaftet wird	122
Tab. 37. Übersicht über die Flächenanteile einzelner Kulturen an der Betriebsfläche der Betriebe in den Einzugsgebieten der Ackerbau-Kläranlagen	123
Tab. 38. Wirkstofffrachten (gesamter Untersuchungszeitraum, also Herbst 2006 und Frühjahr 2007) bezogen auf die Anbaufläche der behandelten Kulturarten in den Einzugsgebieten der Ackerbau-Kläranlagen	124
Tab. 39. Darstellung der mittleren PSM-Frachten pro Feldspritze [g] bezogen auf ein Wirtschaftsjahr (Herbst 2006 und Frühjahr 2007) im Ablauf von sieben Kläranlagen	132
Tab. 40. Einzelwirkstofffrachten [g/Feldspritze/Betrachtungszeitraum] als Mittelwert über alle KA (Betrachtungszeitraum Wirtschaftsjahr 2006/2007)	136
Tab. 41. PSM-Frachten [mg/ha Anbaufläche] bezogen auf die Anbaufläche einzelner Kulturen in den untersuchten Gebieten	142

Tabellen im Anhang

Tab. A-1. Maximalkonzentrationen [$\mu\text{g/l}$] von PSM-Wirkstoffen in Einzelproben im Ablauf von sieben Kläranlagen (33.–46. KW 2006)	
Tab. A-2. Maximalkonzentrationen [$\mu\text{g/l}$] von PSM-Wirkstoffen in Einzelproben im Ablauf von sieben Kläranlagen (10.–23. KW 2007)	
Tab. A-3. Mittelwerte der Konzentrationen [$\mu\text{g/l}$] von PSM-Wirkstoffen im Ablauf von sieben Kläranlagen (33.–46. KW 2006)	
Tab. A-4. Mittelwerte der Konzentrationen ($\mu\text{g/l}$) von PSM-Wirkstoffen im Ablauf von sieben Kläranlagen (Betrachtungszeitraum 10.–23. KW 2007)	
Tab. A-5. Gesamtfrachten [g] von PSM-Wirkstoffen im Ablauf von sieben Kläranlagen (33.–46. KW 2006)	

Tab. A-6. Gesamtfrachten [g] von PSM-Wirkstoffen im Ablauf von sieben Kläranlagen (10.–23. KW 2007)

Tab. A-7. Einzelwirkstofffrachten [g] pro Spritzgerät im Ablauf von sieben Kläranlagen (33.–46. KW 2006)

Tab. A-8. Einzelwirkstofffrachten [g/Spritzgerät] im Ablauf von sieben Kläranlagen (10.–23. KW 2007)

Tab. A-9. Frachtdominierende Wirkstoffe im Ablauf der KA_B (33.–46. KW 2006; n = 22)

Tab. A-10. Frachtdominierende Wirkstoffe im Ablauf der KA_B (10.–23. KW 2007; n = 26)

Tab. A-11. Frachtdominierende Wirkstoffe im Ablauf der KA_F (33.–46. KW 2006; n = 26)

Tab. A-12. Frachtdominierende Wirkstoffe im Ablauf der KA_F (10.–23. KW 2007; n = 26)

Tab. A-13. Frachtdominierende Wirkstoffe im Ablauf der KA_J (33.–46. KW 2006; n = 18)

Tab. A-14. Frachtdominierende Wirkstoffe im Ablauf der KA_J (10.–23. KW 2007; n = 26)

Tab. A-15. Frachtdominierende Wirkstoffe im Ablauf der KA_L (33.–46. KW 2006; n = 26)

Tab. A-16. Frachtdominierende Wirkstoffe im Ablauf der KA_L (10.–23. KW 2007; n = 26)

Tab. A-17. Frachtdominierende Wirkstoffe im Ablauf der KA_O (33.–46. KW 2006; n = 16)

Tab. A-18. Frachtdominierende Wirkstoffe im Ablauf der KA_O (10.–23. KW 2007; n = 26)

Tab. A-19. Frachtdominierende Wirkstoffe im Ablauf der KA_Reis (33.–46. KW 2006; n = 18)

Tab. A-20. Frachtdominierende Wirkstoffe im Ablauf der KA_Reis (10.–23. KW 2007; n = 26)

Tab. A-21. Frachtdominierende Wirkstoffe im Ablauf der KA_Rh (33.–46. KW 2006; n = 25)

Tab. A-22. Frachtdominierende Wirkstoffe im Ablauf der KA_Rh (10.–23. KW 2007; n = 26)

Abkürzungsverzeichnis

/	pro
°C	Grad Celsius
µg	Mikrogramm
Abb.	Abbildung
Abs.	Absatz
AHL	Ammonium-Harnstoff-Lösung
AWWR	Arbeitsgemeinschaft der Wasserwerke an der Ruhr
BASF	Badische Anilin- und Soda-Fabrik
BBA	Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft
BLE	Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung
BMELV	Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz
BVL	Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit
CPA	Crop Protection Association
DLG	Deutsche Landwirtschaftsgesellschaft
DLR	Dienstleistungszentrum Ländlicher Raum
DT ₅₀ -Wert	Disappearance Time, Halbwertszeit
ECPA	European Crop Protection Association
ENTAM	European Network for Testing Agricultural Machines
ETW	Destilliertes Wasser
EZG	Einzugsgebiet
g	Gramm
GC	Gaschromatographie
gfP	gute fachliche Praxis
GL	Grünland
h	Stunde
HPLC	High Performance Liquid Chromatography, Hochleistungs-Flüssigkeitschromatographie
i.V.m.	In Verbindung mit
InfU	Institut für Umweltforschung Universität Dortmund
INRA	Institute National de la Recherche Agronomique
IPU	Isoproturon
IVA	Industrieverband Agrar e.V.
KTBL	Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft
l	Liter
LAWA	Länderarbeitsgemeinschaft Wasser
LC-MS/MS	Tandemmassenspektrometrie, Flüssigchromatographie mit Massenspektrometrie-Kopplung
LF	Landwirtschaftliche Nutzfläche
Lfd. Nr.	Laufende Nummer
m ²	Quadratmeter
m ³	Kubikmeter
NAF	Nachauflauf
NEPTUN	Netzwerk zur Ermittlung des Pflanzenschutzmitteleinsatzes in unterschiedlichen Naturräumen Deutschlands
NFU	National Farmers' Union
o.ä.	oder ähnliches
PAMIRA	Packmittel-Rückgabe-Agrar

PflSchSachkundeV	Pflanzenschutz-Sachkundeverordnung vom 28.07.1987, BGBl. I S. 1752, geändert durch Verordnung vom 07.05.2001, BGBl. I S. 885
PflSchG	Gesetz zum Schutz der Kulturpflanzen in der Fassung der Bekanntmachung vom 14.05.1998, BGBl. I, S. 971, zuletzt geändert am 25.11.2003, BGBl. I, S. 2304
PSM	Pflanzenschutzmittel
SFLA	Staatliche Lehr- und Forschungsanstalt
SPE	Solid Phase Extraction, Festphasenextraktion
t	Tonne
Tab.	Tabelle
TOPPS	Train the Operators to Prevent Pollution from Point Sources
VA	Vorlauf
VI	Voluntary Initiative
WRRL	Richtlinie 2000/60/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik (ABl. Nr. L 327 vom 22.12.2000 S. 1; 2455/2001/EG – ABl. Nr. L 331 vom 15.12.2001 S. 1; geändert durch Beitrittsakte 2003)
z.B.	zum Beispiel

1. Einführung ins Thema und Zielsetzung der Arbeit

Pflanzenschutz und moderne konventionelle Landwirtschaft sind heutzutage untrennbar verbunden. Chemische Substanzen spielen dabei als sog. Pflanzenschutzmittel (PSM) eine wichtige Rolle bei der Abwehr von Krankheitserregern und Schädlingen sowie bei der Kontrolle von Unkräutern und können so entscheidend dazu beitragen, die Ernährung der Weltbevölkerung sicherzustellen.

Nach Angaben des Bundesamtes für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit (BVL, 2007) waren in Deutschland im Jahr 2006 insgesamt 1026 Präparate zum Einsatz in der Landwirtschaft und für den privaten Gebrauch zugelassen. Der Absatz der Herbizidwirkstoffe lag im Jahr 2006 bundesweit bei knapp 16 000 t für den landwirtschaftlichen Bereich und bei 114 t für Hausgärten (IVA, 2007); diese Zahl bezieht sich auf die Meldungen der 44 Mitgliedsfirmen des Industrieverbandes Agrar (IVA). Zur tatsächlich applizierten Menge von PSM gibt es keine statistisch belastbaren Daten. Die bundesweite NEPTUN-Erhebung kommt zu dem Schluss, dass im Jahr 2000 insgesamt rund 155 Einzelwirkstoffe in einer Gesamtmenge von rund 17 500 t PSM appliziert wurden (BBA, 2002).

Da davon auszugehen ist, dass keine völlig „verlustfreie“ Anwendung von PSM auf landwirtschaftlichen Kulturflächen möglich ist, besteht die Gefahr, dass es zu einer Verlagerung von PSM-Rückständen in andere Umweltkompartimente und dortigen Anreicherung der Substanzen kommt. Aufgrund der hydrophilen Eigenschaften vieler PSM und der Nutzung von Grundwasservorkommen zur Trinkwassergewinnung spielt in diesem Kontext der Schutz von Oberflächengewässern und Grundwasser eine große Rolle. Laut nationaler Trinkwasserverordnung¹, die auf der EU-Trinkwasserrichtlinie² basiert, gelten folgende Grenzwerte:

- 0,1 µg PSM-Einzelsubstanz pro Liter
- 0,5 µg PSM-Gesamtkonzentration pro Liter.

¹ TrinkwV vom 21.05.2001, BGBl. I, S. 127.

² Richtlinie 80/778/EWG des Rates vom 15.07.1980, geändert durch Richtlinie 98/83 vom 03.11.1998 über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch (ABl. EG 1998, Nr. L 330/32, berichtigt ABl. EG 1999, Nr. L 45/55).

Auch im Zusammenhang mit der Umsetzung der EG-Wasserrahmenrichtlinie (WRRL)³ rücken Einträge von PSM in den Vordergrund. Danach soll bis zum Jahr 2015 ein einheitlich „guter Gewässerzustand“ der Oberflächengewässer erreicht sein. Es bleibt aber zu befürchten, dass in Deutschland die Belastung von Oberflächenwasser mit PSM sehr wahrscheinlich großflächig nicht die EU-weit geltenden Anforderungen erfüllt. Um den tatsächlichen Umfang nötiger Minderungsstrategien aufzeigen zu können, sind detaillierte Aussagen zum tatsächlichen Ausmaß der Belastungen und vor allem zu den Ursachen nötig.

PSM können aus unterschiedlichen Quellen bzw. über verschiedene Transportpfade in Oberflächengewässer gelangen:

Diffuse Quellen

- Spraydrift
- Runoff und Erosion
- Drainageabläufe
- Abschwemmung von befestigten Wegen

Punktquellen

- Kläranlagen
- Regenentlastungen der Kanalisation
- Direkte Einleitungen von Landwirtschaftsbetrieben
- Einleitung von PSM-Herstellungs- und Formulierungsbetrieben.

Die Ursachen und Einflussfaktoren von PSM-Gewässereinträgen aus diffusen Quellen sind seit vielen Jahren vergleichsweise intensiv untersucht worden; Ergebnisse dazu sind z. B. in UBA (1999), Carter (2000), Bach et al. (2005) und Röpke et al. (2004) veröffentlicht. Nach einem im Auftrag des Umweltbundesamtes (UBA) durchgeführten Forschungsvorhaben ergeben die jährlichen Einträge in Oberflächengewässer über Drainage, Runoff und Abtrift bezogen auf die Bundesrepublik Deutschland zusammen etwa 0,5 Promille der geschätzten Anwendungsmenge (Bach et al., 2000).

³ Richtlinie 2000/60/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik (ABl. Nr. L 327 vom 22.12.2000 S. 1; 2455/2001/EG – ABl. Nr. L 331 vom 15.12.2001 S. 1; geändert durch Beitrittsakte 2003).

Die möglichen Wirkstoffeinträge in Oberflächengewässer über die Hofabläufe aus Landwirtschaftsbetrieben – also die sog. Punkteinträge – sind dagegen erst seit Mitte der neunziger Jahre in den Blickpunkt des Interesses gerückt. Beim Umgang mit Pflanzenschutzmittelpräparaten und Ausbringungsgeräten im Hofbereich kann im Verlauf des Ansetzens der Spritzbrühe, bei der Gerätereinigung und -wartung sowie bei der Entsorgung von Spritzbrüheresten PSM-haltiges Schmutzwasser anfallen. Darüber hinaus können bei Niederschlagsereignissen Mittelreste von befestigten Betriebsflächen abgespült werden, die dort bei der Handhabung oder Lagerung der Spritze abtropfen und dann zunächst auf der Oberfläche verbleiben. Infolge dieser Vorgänge kann wirkstoffbelastetes Schmutzwasser mit dem Waschwasser oder durch Regenfälle in die Kanalisation gelangen und dann über die Kläranlage oder direkt in einen Vorfluter eingeleitet werden. Der Vollständigkeit halber seien als weitere mögliche Punktquellen die Abwässer aus Produktions- und Formulierungsbetrieben von PSM, die Auswaschung von PSM aus Baumaterialien, Prozessabwässer aus der Weinherstellung und von Obstgroßmärkten sowie Auswaschung von PSM aus Gleisanlagen aufgeführt.

Untersuchungen in Deutschland und anderen EU-Ländern legen die Vermutung nahe, dass die PSM-Kontamination von Oberflächengewässern zumindest zu einem nicht unerheblichen Teil auf Punkteinträge zurückzuführen ist. Die Kernaussage – dass der Anteil der Punkteinträge an der Gesamtbelastung von Oberflächengewässern mit PSM relativ hoch ist (Jaeken und Debaer, 2005, sprechen von 40 bis 90 %) – wird auch nicht durch den Umstand eingeschränkt, dass die Untersuchungen mit unterschiedlichen Zielsetzungen, Untersuchungsdesigns und einer jeweils unterschiedlichen geographischen Ausdehnung stattgefunden haben. Für die Bundesrepublik seien beispielhaft die Arbeiten von Bach et al. (2000) und Peschka et al. (2006), für Belgien die Untersuchungen von Beernaerte et al. (2001) und die Arbeiten von Gerecke et al. (2002) aus der Schweiz genannt. Das Wissen über die konkrete mengenmäßige Bedeutung und die regionalen Schwerpunkte dieser Einträge in Europa ist allerdings insgesamt gesehen noch sehr lückenhaft.

In Deutschland wurde in den vergangenen 15 Jahren rund ein Dutzend Studien zu diesem Thema durchgeführt (ausführliche Darstellung s. Kapitel 2.3). Aufgrund der Situation der Hofentwässerung (siehe Huber, 1998) hat es sich in den meisten Fällen als praktikabler erwiesen, anstelle der Beprobung einzelner Hofabläufe die Abläufe von Kläranlagen zu untersuchen. Allerdings ist zu beachten, dass die im Hinblick auf diese Themenstellung untersuchten Kläranlagen allesamt mehr oder weniger zufällig ausgewählt worden sind. Das heißt, die

Auswahl der Anlagen sowie das Beprobungsdesign orientierten sich an der jeweiligen Fragestellung des einzelnen Projektes und verfolgten nicht das Ziel, eine repräsentative Übersicht der Situation in Deutschland zu skizzieren.

Ausgehend von diesem Sachstand werden mit der vorliegenden Arbeit als Ziele verfolgt:

- Die Höhe von PSM-Einträgen in Oberflächengewässer aus Punktquellen (Hofabläufen) im Bundesgebiet mit einer bundesweit einheitlichen Untersuchung zu quantifizieren,
- die Einflussfaktoren zu benennen, von denen diese punktuellen Einträge abhängen, und
- aufbauend auf diesen Erkenntnissen schließlich passgenaue Minderungsstrategien gegen punktuelle Einträge zu entwickeln.

Dazu wurden folgende Arbeitsschritte durchgeführt:

1. Literaturstudie zum Freisetzungspotenzial von PSM-Wirkstoffen im Hofbereich.
2. Bewertung von Strategien zur Verringerung von Punkteinträgen.
3. Analyse sämtlicher Forschungsvorhaben, die sich in Deutschland bislang mit dem Thema Punkteinträge beschäftigt haben und deren Ergebnisse publiziert wurden.
4. Eigene Beprobung der Abläufe von acht Kläranlagen im Bundesgebiet über einen Zeitraum von zwei Jahren.

Die Arbeit entstand im Kontext des *Reduktionsprogramms chemischer Pflanzenschutz* des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV) und wurde aus Mitteln der Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE) finanziert.

2. Stand der Forschung

Im Rahmen dieser Arbeit wird die einschlägige Literatur zum Thema Punkteinträge gesichtet. Dabei stehen vor allem vier Bereiche im Vordergrund, die in den anschließenden Ausführungen näher untersucht werden. Es handelt sich um die Themenfelder:

- Hauptursachen von Punkteinträgen
- Mutmaßliche Höhe von Punkteinträgen
- Gegenmaßnahmen, die bisher in diesem Zusammenhang untersucht wurden
- Feldstudien aus Deutschland.

Zunächst ist es von Interesse herauszuarbeiten, bei welchen Arbeitsschritten im Hofbereich unbeabsichtigt PSM-Wirkstoffe freigesetzt werden können und in welcher Größenordnung dies geschehen kann. Teilkapitel 2.2 beschäftigt sich anschließend mit anderen Punktquellen, deren Ursachen außerhalb des landwirtschaftlichen Betriebes liegen und die im Einzelfall von Bedeutung sein können. Dem folgt eine Auswertung der Minderungsstrategien, die in der Literatur beschrieben werden. Den Abschluss des Kapitels „Stand der Forschung“ bildet die detaillierte Analyse der bisher in Deutschland durchgeführten Untersuchungen zum Ausmaß von Punkteinträgen an Kläranlagen.

2.1 Freisetzungspotenzial von PSM-Wirkstoffen bei landwirtschaftlichen Arbeiten auf dem Hof

Verschiedene Autoren wie unter anderem Seel et al. (1996) und Müller et al. (2002) gehen davon aus, dass der Hauptanteil der Punkteinträge in Deutschland auf PSM-kontaminierte Hofabflüsse zurückzuführen ist. Für ein kleines Einzugsgebiet in Hessen haben Fischer et al. (1998) einen Anteil der Hofabläufe von 90 % ermittelt. Neumann et al. (1999) berechnen für einen Vorfluter im Kreis Viersen, dass dort 76,3 % der Gesamtwirkstofffracht durch direkte Abläufe von landwirtschaftlichen Hofflächen verursacht wird. Hoof (1994) kommt für das Stever-Einzugsgebiet zu dem Schluss, dass insgesamt rund 45 g PSM pro Betrieb und Jahr durch die beim „Spritzen-Handling“ anfallenden Verluste emittiert werden. Mit der Annahme einer durchschnittlichen Wirkstoffemission von 50 g pro Applikationsgerät und Jahr schätzen

Bach et al. (2000) die Gesamtmenge der PSM-Einträge in Oberflächengewässer aus Hofabläufen auf rund 11 t pro Jahr für die gesamte Bundesrepublik (Referenzjahr 1993).

An dieser Stelle sei angemerkt, dass bereits minimale Mengen verschüttetes Wirkstoffkonzentrat auf einer befestigten Hoffläche ausreichen können, eine deutlich messbare Verunreinigung von Oberflächengewässern mit PSM-Wirkstoffen zu verursachen. Ein Beispiel: Bei einer mittleren Aufwandmenge des Getreideherbizids Isoproturon von rund 1,5 kg Wirkstoff (gelöst in 200 l Wasser) auf einen Hektar Applikationsfläche sind in einem Liter Spritzbrühe ca. 7,5 g Wirkstoff enthalten (Aufwandmenge nach BVL, 2007). Das bedeutet, dass bereits 10 ml Spritzbrühe, die direkt oder über die Kanalisation in ein Oberflächengewässer gelangen, eine Überschreitung des Grenzwertes der Trinkwasserverordnung⁴ von 0,1 µg PSM-Einzelsubstanz pro Liter für eine Wassermenge von 75 000 Liter oder 75 m³ verursachen kann.

Es gibt eine Reihe von Arbeitsschritten in der landwirtschaftlichen Praxis, bei denen die Gefahr besonders hoch ist, dass es zu einer unbeabsichtigten Freisetzung von PSM in die Umwelt kommt. Die tatsächliche Höhe von Wirkstoffmengen, die so emittiert werden können, hängt allerdings mehr oder weniger stark vom individuellen Anwenderverhalten ab. Daher ist es wichtig, diese Arbeitsschritte zunächst zu charakterisieren und dabei auch die rechtlichen Rahmenbedingungen in Deutschland zu beachten; erst danach kann das tatsächliche Freisetzungspotenzial abgeschätzt werden. Folgende Arbeitsabläufe stehen bei der Literaturlauswertung im Vordergrund:

- Lagerung von PSM im Hofbereich
- Entsorgung restentleerter Verpackungseinheiten
- Befüllen des Applikationsgerätes
- Entsorgung der technischen Restmenge
- einfache Reinigung der Feldspritze nach dem Gebrauch
- Innenreinigung des Fasses
- Außenreinigung des Applikationsgerätes
- Außenreinigung des Traktors
- Reparatur- und Instandhaltungsarbeiten an der Feldspritze
- chemische Unkrautbeseitigung im Hofbereich

⁴ TrinkwV vom 21.05.2001, BGBl. I, S. 127.

2.1.1 Lagerung von PSM und Entsorgung restentleerter Verpackungseinheiten

Da alle PSM nach den Bestimmungen des Wasserhaushaltsgesetzes (WHG)⁵ als „stark wassergefährdende Stoffe“ gelten, sind bei der Lagerung dieser Substanzen neben den Unfallverhütungsvorschriften der Berufsgenossenschaften auch wasserrechtliche Vorschriften zu beachten.⁶ Das heißt, dass die PSM z. B. in einem separaten, verschließbaren Raum (bzw. auch Kleincontainer oder Umweltschrank) gelagert werden müssen, der eine ganze Reihe von Kriterien erfüllen soll (kühl, gut belüftet, trocken, frostsicher, nicht brennbare Wände usw.) (LFL Bayern, 2004; DLG, 2006). Außerdem dürfen PSM nach guter fachlicher Praxis nur in Originalverpackungen gelagert, also nicht umgefüllt werden und sind stets verschlossen aufzubewahren (BMELV, 2005).

Der Umgang mit leeren Verpackungseinheiten richtet sich nach der Gebindegröße. Mehrweg-Großbehälter (ab 30 l) werden verschlossen und ungespült zweimal jährlich beim Landwirt abgeholt und vom Handel zurückgenommen. Für Kleingebinde wurde 1996 von Pflanzenschutz-Industrie und -Handel ein bundesweites Entsorgungssystem „Packmittel-Rücknahme Agrar“ (PAMIRA) eingeführt. Dazu werden restentleerte Verpackungseinheiten gespült und offen (ohne Deckel) auf den Landwirtschaftsbetrieben gelagert und können zweimal im Jahr im Landhandel abgegeben werden (Neck, 1998). Im Jahr 2006 sind von PAMIRA insgesamt 1876 t leere PSM-Verpackungen erfasst worden, was einer Rücklaufquote von 57 % entspricht (IVA, 2007).

Neuere Geräte verfügen im Allgemeinen über eine Kanisterspüleinrichtung. Testberichten der europäischen ENTAM (European Network for Testing Agricultural Machines) zufolge sind Geräte mit einer eingebauten Spülvorrichtung in der Lage, Kanister bis zu einer Restkonzentration von 0,001 % der Ausgangskonzentration des PSM im Spülwasser zu spülen (z. B. Anhängespritze Hardi, Commander Delta 4400, ENTAM Test report: D-1742, Oktober 2005). Bei Geräten, die nicht über eine Kanisterspüleinrichtung verfügen, müssen die Kanister per Hand gereinigt werden. Der Industrieverband Agrar (IVA) empfiehlt dafür ein dreimaliges Ausspülen mit Klarwasser (IVA, 2007).

⁵ Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushaltes vom 10.08.2002, BGBl. I Nr. 59 vom 23.08.2002, S. 3245, zuletzt geändert durch Artikel 2 des Gesetzes vom 10. Mai 2007, BGBl. I S. 666.

⁶ Insbesondere Technische Regel Gefahrstoffe TRGS 514, Ausgabe September 1998 und die Verordnungen über Anlagen zum Lagern, Abfüllen und Umschlagen wassergefährdender Stoffe; Anlagenverordnungen (VawS) der Länder.



Abb. 1. Beispiel einer schwenkbaren Kanisterspülvorrichtung an modernen Applikationsgeräten

Eine Untersuchung aus Großbritannien hat sich mit der Frage beschäftigt, welche Restmengen PSM-Präparat in restentleerten, gespülten Verpackungseinheiten verbleiben (Smith, 1998). Im Versuch wurde ein 5-Liter-Container jeweils zehn Sekunden dreimal manuell und zum Vergleich mittels Kanisterspülvorrichtung gespült. Bei insgesamt 197 Testdurchläufen betrug die Konzentration im letzten Reinigungsgang weniger als 0,01 % der Originalformulierung. Cooper und Taylor (1998) überprüften in einer Feldstudie, in welchem Umfang 103 Landwirte in der Lage waren, restentleerte 5-Liter-Kanister zu reinigen. 69 gelang es auf Anhieb, gesetzliche Mindeststandards zu erfüllen, in 21 % der Fälle lagen die erzielten Restmengen zwischen 0,5 und 2 ml, bei 6 % der Probanden betrug die Restmenge nach der Reinigung mehr als 4 ml. Cooper und Taylor (1998) kommen deshalb in der Gesamtschau zu dem Ergebnis, dass das Freisetzungspotenzial restentleerter Verpackungseinheiten in der Praxis bereits zum damaligen Zeitpunkt und auch bei Verwendung von Geräten ohne Kanisterspüleinrichtung relativ gering ist.

Die Gefahr einer unbeabsichtigten Freisetzung von PSM-Wirkstoffen bei der Lagerung von PSM in Landwirtschaftsbetrieben ist minimal und beschränkt sich auf Unfälle oder grob regelwidriges Verhalten des Anwenders. Bei der Lagerung restentleerter, gespülter Verpackungseinheiten ist zu bedenken, dass es hier bei unsachgemäßem Umgang (z. B. Lagerung unter freiem Himmel) zu Leckagen kommen kann. Bei der Kanisterspülung hängt das Freisetzungspotenzial außer von der Gründlichkeit des Anwenders im wesentlichen davon ab, ob das Spülwasser nach der Kanisterreinigung der Spritzflüssigkeit in der Feldspritze zugegeben wird. Ob dies tatsächlich stets so gehandhabt wird, hängt im Einzelfall vermutlich davon ab, wie bedienerfreundlich die Einfüllvorrichtung der Feldspritze zu erreichen ist und bei welchem der Arbeitsschritte die Kanister gespült werden.

2.1.2 Befüllen der Feldspritze

Um die Menge an unverbrauchten Spritzbrüheresten, die nach der Applikation im Gerät verbleiben, so gering wie möglich zu halten, soll der Anwender den Spritzflüssigkeitsbedarf individuell für jede zu behandelnde Fläche z. B. mit Hilfe von Flächennachweisen oder Hofkatastern vorab kalkulieren (Reschke, 2007; Meyer et al., 2006). Nach dieser Berechnung richtet sich die Menge des PSM-Präparats, welches in den Spritzbrühetank eingemessen wird.

Das Befüllen von Feldspritzen kann im Hofbereich oder direkt am Feld geschehen und hängt von der eingesetzten Technik ab. Bei einigen Geräten startet der Vorgang mit dem Einlaufenlassen des Klarwassers in das Fass. Zeitversetzt erfolgt nach Anschalten des Rührwerks die Zugabe des PSM-Wirkstoffkonzentrats über eine schwenkbare Dosiereinrichtung (Einspülschleuse) oder – bei älteren Geräten – über eine Öffnung an der Geräteoberseite (Eichhorn, 1999, siehe auch Abb. 1 bis 4). Falls keine Anmisch- oder Einspülvorrichtung zur Verfügung steht, wird eventuell verwendetes Spritzpulver „angeteigt“, also in einem separaten Behälter mit Wasser gemischt (Meyer et al., 2006). Bei einer solchen Vorgehensweise findet der Befüllvorgang in aller Regel auf dem Hof statt. Anders ist dies bei der Verwendung eines Direktinspeisungssystems, bei dem kein Anmischen der Spritzbrühe erforderlich ist (Eichhorn, 1999). Bei dieser Technik befinden sich fließfähiges PSM und das als Trägerflüssigkeit verwendete Klarwasser in getrennten Behältern. Dadurch entstehen im Hauptbehälter nach der Behandlung keine Spritzbrühereste (Meyer et al., 2006). Ein ähnliches Verfahren, bei dem das Befüllen der Spritze entweder mit Hilfe eines Saugschlauches oder eines Befüllanschlusses direkt am Feld vorgenommen werden kann, ist das sog. Ecomatic-System (Gussin, 1998, siehe Abb. 2).



Abb. 2. Befüllsysteme moderner Applikationsgeräte



Abb. 3. Traktor mit herkömmlicher Anbau-Feldspritze



Abb. 4. Einfüllvorrichtung einer herkömmlichen Feldspritze

Glass et al. (2002) haben das Freisetzungspotenzial von PSM-Wirkstoffen beim Befüllen von Applikationsgeräten untersucht. Dabei wurden das manuelle Befüllen über eine Öffnung an der Tankoberseite, das Befüllen mittels einer Einspülschleuse und die Verwendung geschlossener Zulaufsysteme verglichen. Die Testflüssigkeiten befanden sich jeweils in handelsüblichen PSM-Kanistern (mit 1 l, 5 l, 10 l und 20 l Volumen). In mehreren hundert Durchläufen wurde festgestellt, dass vor allem das manuelle Befüllen über eine Öffnung an der Tankoberseite aus Kanistern mit vergleichsweise enger Auslauföffnung das höchste Verschüttungsrisiko birgt. Leckagen bei der Verwendung geschlossener Systeme traten nur bei technischen Defekten auf. Die Ergebnisse von Glass et al. (2002) sind in Tab. 1 dargestellt.

Tab. 1. Freisetzung von PSM-Präparaten beim Befüllen von Applikationsgeräten (nach Glass et al., 2002)

Kanistergröße	Öffnung Tankoberseite	Einfüllvorrichtung	Geschlossenes Zuführsystem
	verschüttete Menge [ml/Befüllvorgang]	verschüttete Menge [ml/Befüllvorgang]	verschüttete Menge [ml/Befüllvorgang]
1 l	0,05	0,02	In 75 % aller Fälle lag die verschüttete Menge unter 0,05 ml
5 l	1,0	0,1	
10 l	> 1,0	0,1	
20 l	--	> 1,0	

Beim manuellen Befüllvorgang können außerdem Utensilien wie Handschuhe oder Messgefäße mit PSM in Kontakt kommen. Nicht alle Feldspritzen verfügen über eine separate Handspülvorrichtung (ENTAM, 2005). Falls die verwendeten Utensilien nicht gespült werden und das Spülwasser entsprechend entsorgt wird, ist eine unbeabsichtigte Freisetzung auch auf diesem Weg möglich.

Es ist anzunehmen, dass das Verschüttungspotenzial bei Verwendung von PSM-Präparaten mit vergleichsweise niedrigen Aufwandmengen von nur wenigen Gramm pro Hektar (z. B. Wirkstoffe aus der Gruppe der Sulfonylharnstoff-Verbindungen, BVL, 2007) minimiert wird.

Bei älteren Geräten kommt neben dem Verschütten von Wirkstoffkonzentrat beim Befüllen ein weiterer Problembereich hinzu: bei Fehlen eines Rückschlagventils können Anwenderfehler beim Befüllen, wie bspw. zu spätes Abdrehen des Frischwasserzulaufs oder keine Verwendung von Schaumhemmern, zu einem Überlaufen des Spritzbrühetanks führen. Dies wird durch die Arbeiten von Helweg (1994) und Haebecker (1989) bestätigt, die bei der Untersuchung von 20 „application facilities“ in Wisconsin PSM-Mengen in der Größenordnung von 0,1 bis 5900 mg/l bei Befüllvorgängen dokumentierten (Haebecker, 1989). Die potenzielle Gefahr des Überschäumens des Fasses wird bei neueren Geräten technisch verringert, indem das reale Tankvolumen in der Regel 10 % über dem Nennvolumen liegt (ENTAM, 2005); außerdem sorgen Ventile dafür, dass kein Rückfluss von Spritzbrühe in die Dosiereinrichtung möglich ist.

Auch die Art der Produktformulierung kann einen Einfluss auf das Freisetzungspotenzial von PSM-Wirkstoffen beim Befüllen des Applikationsgerätes haben (Mason, 2003, Fean und Bucklin, 1997). Verschüttete Granulate lassen sich bspw. auf befestigten Hofflächen leichter vom Verursacher entfernen als flüssige Konzentrate. Außerdem weisen Untersuchungen von Codis et al. (2005) darauf hin, dass die Formulierung von PSM einen wesentlichen Einfluss auf die Effizienz der Innenreinigung von Applikationsgeräten haben könnte; detailliertere Studien dazu stehen allerdings noch aus.

Laut Henser (2006) handelt es sich bei den in Deutschland vertriebenen PSM meist um Emulsionskonzentrate, Suspensionskonzentrate, wasserlösliche Konzentrate und wasserdispergierbare Granulate (siehe Tab. 2.). Sie werden im Landhandel in Einweg-Kleingebinden bis zu 20 l und in Mehrweg-Großbehältern ab 30 l verkauft.

Tab. 2. Gängige Formulierungstypen von PSM zum Einsatz in Feldspritzen nach Henser (2006)

Formulierungstyp	Anmerkungen
Emulsionskonzentrate	homogene Lösung der Formulierungsbestandteile, die bei Einmischung in Wasser direkt emulgiert
Suspensionskonzentrate	Mischung von fein vermahlten Wirkstoffpartikeln Größe < 4 µm, Dispergiermittel und Flüssigkeit
wasserlösliche Konzentrate	Wirkstoffe gelöst in wässriger Spritzbrühe
wasserdispergierbare Granulate	Sprüh- oder Extrudergranulate

In welchem Umfang es beim Befüllvorgang zur unbeabsichtigten Freisetzung von PSM kommen kann, hängt im Wesentlichen von der technischen Ausstattung der Feldspritze und dem Verhalten des Anwenders ab. Das Risiko des Danebenschüttens von Wirkstoffkonzentrat ist bei der Verwendung von Großgebinden in Verbindung mit speziellen Befüllsystemen generell geringer als beim Einfüllen kleiner Kanister von Hand in die Tanköffnung.

2.1.3 Entleeren der Feldspritze

In jedem Gerät verbleibt nach dem Leerspritzen eine sog. technische Restmenge – die Spritzbrühereste aus Armatur, Schlauchleitungen, Pumpe, Filter und Fass –, die sich nach wenigen Minuten am tiefsten Punkt des Gerätes sammelt. Die technische Restmenge ist je nach Gerätetyp und Arbeitsbreite unterschiedlich groß. Abb. 5. bezieht sich auf eine Zusammenstellung von Ganzelmeier (2005), wonach im Jahr 2002 die technischen Restmengen bei den in der Bundesrepublik Deutschland verwendeten Gerätetypen je nach Arbeitsbreite zwischen 2 und 120 l betragen.

Spritz- und Sprühgeräte für Flächenkulturen als						
	Anbaugeräte	Aufbaugeräte	Anhängengeräte	Selbstfahrer	Bandspritzgeräte	darunter: m. Luftunterstützung
Anzahl erklärter Gerätetypen	73 (38%)	25 (13%)	70 (37%)	19 (10%)	4 (2%)	14 (7%)
Behälter (l)	200 - 1500	600 - 5000	600 - 6000	300 - 5000	100 - 1000	600 - 4000
Gestänge (m)	7 - 24	8 - 36	12 - 45	4,5 - 45	4 - 12-reihig	12 - 36
Pumpe (l/min)	58 - 240	94 - 2x225	94 - 2x250	138 - 1400	16 - 225	100 - 344
tech. Restm. (% d. Beh. vol.)	1,6 - 2,6	1,9 - 3,0	1,2 - 3,0	0,8 - 2,1	1,2 - 3,1	1,6 - 3,0

Stand Februar 2002

Abb. 5. Technische Restmengen von Feldspritzen nach Gerätetypen (Stand 2002) aus: Ganzelmeier (2005)

Die ENTAM hat bis zum Jahr 2005 insgesamt 150 Feldsprizentypen bzw. -fabrikate geprüft, deren technische Restmengen zwischen 17 und 31 l lagen. Restmengen in dieser Größenordnung können entweder im Gerät verbleiben und beim nächsten Einsatz mit ausgebracht werden, oder sie sind nach guter fachlicher Praxis auf der Applikationsfläche zu entleeren (BMELV, 2005). Das kann vor oder nach einer Innenreinigung des Gerätes geschehen.⁷ Zum Entleeren wird ein Stutzen an der Unterseite des Gerätes geöffnet und die Restmenge abgelassen. Einer Befragung von rund 1500 Landwirten in Großbritannien zufolge gaben immerhin 3 % der Befragten an, nach dem Leerspritzen die verbleibende Restmenge ohne vorherige Innenreinigung abzulassen (Garthwaite, 2002).

Holst et al. (2002) haben Spülversuche an Feldspritzen zu der Frage durchgeführt, welchen Einfluss die Innenreinigung auf die Wirkstoffkonzentration der Restmenge hat. Nach drei Reinigungsdurchgängen (Innenreinigung) blieb bei einer technischen Restmenge von 23 l eine endgültige restliche Wirkstoffmenge von 91 ml übrig. Nach einem ersten Spüldurchgang mit 100 Litern Frischwasser wurde eine Wirkstoffkonzentration der Restmenge von 31,3 % der Ausgangsspritzbrühe gemessen. Nach einem weiteren Spüldurchgang mit 50 Litern Frischwasser konnte bereits 3,1 % der Ausgangskonzentration erreicht werden und nach einem dritten Durchgang mit wiederum 50 Litern Frischwasser betrug die Wirkstoffkonzentration der nun endgültigen Restmenge nur noch 0,7 % der Ausgangsspritzbrühe. Bei drei anderen Geräten mit einer technischen Restmenge von 10 l wurden nach dreimaligem Spülen jeweils noch 2 bis 5 % der Ausgangskonzentration gefunden.

Für die Entleerung der Feldspritze nach der Applikation gilt: Die Gefahr einer ungewollten PSM-Freisetzung, die zu Punkteinträgen führen kann, besteht dann, wenn dieser Arbeitsschritt auf der befestigten Hofffläche passiert. Das Gefahrenpotenzial ist somit am größten, wenn vor dem Entleeren keine Innenreinigung und kein erneutes Leerspritzen des Reinigungswassers auf unbefestigter Fläche vorgenommen worden ist. Bei den gängigen Anwendungen enthält ein Liter Spritzbrühe ein bis fünf Gramm Wirkstoff. Von einem einzigen Ablassen der technischen Restmenge von 20 Litern auf befestigten Hoffflächen können unter

⁷ In diesem Zusammenhang sei am Rande auf die Arbeit von Codis et al. (2005) in Frankreich hingewiesen. Hier wurden Möglichkeiten zur Effizienzsteigerung der Innenreinigung auf der Applikationsfläche an fünf Geräten getestet. Dabei konnte festgestellt werden, dass die technische Restmenge mit entsprechenden Reinigungsabläufen und technischer Ausstattung der Spritze um 56 bis 86 % verringert werden kann. Neuere Publikationen zu diesem Thema stehen noch aus.

sehr ungünstigen Umständen also theoretisch bis zu 100 g Wirkstoff direkt oder über die Kanalisation in ein Gewässer gelangen.

2.1.4 Reinigung von Feldspritze und Traktor

Spritzgeräte werden üblicherweise nicht grundsätzlich nach jedem Einsatz gereinigt (siehe auch Ramwell et al., 2002, Hoof, 1994). Generell ist zwischen einer einfachen Reinigung der spritzbrühführenden Bauteile, einer gründlichen Innenreinigung des Gerätes und einer Komplettreinigung (sowohl außen als auch innen) zu unterscheiden. Nach Ansicht u. a. von Hoof (1994) ist die Reinigung der Feldspritze im Hofbereich derjenige Arbeitsschritt, bei dem die Gefahr von Punkteinträgen am höchsten ist bzw. bei dem die zu erwartenden Ausstragsmengen am größten sind, verglichen mit dem Befüllen der Spritze und der Abschwemmung von befestigten Flächen durch Niederschläge. Die BBA schätzt die Menge an PSM-Wirkstoffen, die allein im Referenzjahr 1993 in Deutschland durch die Reinigung von Applikationsgeräten auf Hofflächen in Oberflächengewässer gelangt ist, auf 7 bis 22 t (BBA, 2000).

Eine einfache Außenreinigung wird durchgeführt, wenn es keine speziellen Hinweise zur Gerätereinigung in der Gebrauchsanweisung des verwendeten PSM gibt. Um zu verhindern, dass sich PSM-Rückstände anlagern und verkrusten können, werden die flüssigkeitsführenden Bauteile (Leitungen, Pumpe, Armaturen, Düsen) mit Frischwasser gespült; das geschieht bei einem Gerät mit integriertem Frischwassertank durch Umschalten eines Dreiwegehahns. Potenzial zur Freisetzung von PSM-Wirkstoffen besteht bei einer einfachen Reinigung durch die Wirkstoff-Rückstände, die sich an den zu reinigenden Bauteilen befinden. Zu Punkteinträgen als Resultat dieses Arbeitsschrittes kann es auch dann kommen, wenn Zulaufschläuche und Düsen vom Gerät abgebaut und separat in einem Eimer oder Waschbecken abgespült werden und das Reinigungswasser nicht im Spritzbrühetank, sondern in der Kanalisation „entsorgt“ wird. Das Risiko einer unbeabsichtigten Freisetzung von PSM wird vermindert, wenn druckluftunterstützte Reinigungssysteme eingesetzt werden sowie bei Düsen mit Membran-Rückschlagventilen, die Nachtropfen verhindern (BBA, 2007).

Eine gründliche Innenreinigung von Feldspritzen während der Applikationsperiode erfolgt dann, wenn die nachfolgende Kultur empfindlich auf den Wirkstoff reagieren kann, mit dem die Vorgängerkultur behandelt wurde (u. a. beschrieben bei Read und Taylor, 1998). Dies ist

z. B. dann der Fall, wenn ein Wechsel von Halm- auf Blattfruchtherbizide stattfindet (siehe auch Auflistung Tab. 3). Andere Anlässe sind die technische Überprüfung oder die Einwinterung des Gerätes.

Tab. 3. Empfohlene Termine für Innenreinigung der Feldspritze (nach Topagrar, 03/2007)

Innenreinigung vor der Behandlung von:	Wenn vorher folgende Wirkstoffe im Behälter waren:
Raps, Zuckerrüben, Leguminosen, Mais	Sulfonylharnstoffe, Wuchsstoffe und wuchsstoffhaltige Präparate
Mais	Gräserherbizide in Getreide, Raps, Rüben und Leguminosen
Getreide	Gräserherbizide in Mais, Raps, Rüben und Leguminosen

Bei der Innenreinigung kann es erforderlich sein, spezielle Reinigungsmittel zu verwenden (Handelsnamen u.a. Agro Clean, Agro Quick, All Clear Extra). Dies gilt besonders bei Wirkstoffunverträglichkeit derjenigen Kultur, die als Nächstes behandelt werden soll.

Bei Geräten mit Innenreinigungsdüsen wird ein rotierender Sprühkopf über eine separate Druckleitung zugeschaltet, der die Behälterinnenseite mit Reinigungswasser aus dem Frischwassertank reinigt (sowie ggf. Spezialreiniger) (BBA, 2007). Verfügt das Pflanzenschutzgerät nicht über eine Innenreinigungsdüse, wird der Spritzbehälter bis zu 10 % mit Klarwasser gefüllt. Das Klarwasser stammt entweder aus einem Frischwassertank am Gerät oder – im Fall älterer Geräte – aus einer externen Zuleitung (Wasseranschluss im Hofbereich); anschließend wird das ganze Spitzsystem durchgespült. Das Reinigungswasser sollte nach guter fachlicher Praxis auf der Applikationsfläche ausgebracht werden (BMELV, 2005). Die Innenreinigung dauert ca. 15 Minuten, bei älteren Geräten ohne entsprechende technische Hilfsmittel (druckluftunterstützte Düsen, Tank-Innenreinigungsdüsen, Frischwassertank) ggf. auch länger.

Aus Effizienzgründen kann es sinnvoll sein, diese Reinigung nicht direkt im Anschluß an die PSM-Applikation durchzuführen. Eine Umfrage des Industrieverbands Agrar e. V. aus dem Jahr 2002, bei der 1000 Landwirte aus Hessen, Bayern, Baden-Württemberg, Rheinland-Pfalz und Nordrhein-Westfalen zu ihrem Umgang mit Pflanzenschutzgeräten befragt wurden, kommt zu dem Ergebnis, dass die Hälfte der Befragten die Innenreinigung ihres Spritz- bzw.

Sprühgerätes aus Gründen der Arbeitserleichterung bei auf dem Hof durchgeführt hat (Kleffmann, 2002 sowie IVA-Pressemeldung Dechet, 2003).

Holst et al. (2002) kommen zu dem Schluss, dass nach mehrmaliger Innenreinigung die Wirkstoffkonzentration in der verbleibenden Restmenge 2 bis 5 % der Ausgangskonzentration betragen kann. Hoof (1994) hat Abwässer von drei PSM-Waschplätzen im Münsterland untersucht und festgestellt, dass auch nach mehrmaligem Nachbefüllen des Fasses mit Klarwasser und anschließendem Leerfahren auf dem Feld noch PSM-Konzentrationen im Spülwasser von > 1 mg/l gemessen wurden. Reschke (1997) kommt zu deutlich niedrigeren Größenordnung, Versuchen des Pflanzenschutzamtes Hannover zufolge konnten nach Leerspritzen des Gerätes und Verdünnen der technischen Restmenge nur noch 0,44 % der Konzentration der Ausgangsspritzbrühe festgestellt werden; nach einer kompletten Tankinnenreinigung mit Tankreinigungsdüsen betrug die Restkonzentration sogar nur noch 0,04 % der Ausgangsspritzbrühe.

Ganzelmeier (1998) weist auf eigene Untersuchungsergebnisse aus 50 Test-Reinigungsdurchläufen hin, wonach selbst nach der Innenreinigung von Applikationsgeräten noch Wirkstoffreste im Fass verbleiben können, die ausreichen, bis zu 800 m² mit der zulässigen Höchstdosis zu behandeln. Zwischen den insgesamt 17 untersuchten Wirkstoffen wurden relativ große Unterschiede festgestellt; den höchsten Wert erreichte der Wirkstoff Anilazine mit einer Restmenge nach der Innenreinigung im Bereich von 9 g.

Balsari et al. (2002 a) beschäftigten sich mit der Frage, ob verschiedene Methoden der Innenreinigung unterschiedliche Reinigungsleistungen erzielen. Sie kommen für vier mögliche Reinigungsverfahren zu den folgenden Wirkstoffmengen in der technischen Restmenge:

- Reinigung der Zulaufschläuche und Kabelleitungen: 12,0 g Wirkstoff
- Auswaschen der Zulaufschläuche und Leitungen und Ablassen der Restmenge aus dem Tank: 10,6 g Wirkstoff
- Auswaschen der Zulaufschläuche und Leitungen sowie Tankinnenreinigung mit Hilfe einer Tankinnenreinigungsdüse: 8,8 g Wirkstoff
- Verwendung von 50 % des Klarwassers, um Zulaufschläuche und Leitungen zu reinigen und Verwendung von 50 % des Klarwassers, um mit Hilfe der Tankinnenreinigungsdüse die Tankinnenwände zu reinigen: 0,5 g

Eine vollständige Außenreinigung der gesamten Feldspritze ist erforderlich bei starker Verschmutzung, nach der Ausbringung aggressiver Agrochemikalien (z. B. zum Schutz vor Korrosion nach dem Ausbringen von PSM und AHL), vor der technischen Überprüfung und als Vorbereitung für die Einwinterung. Das führt zu einer möglichen Reinigungsfrequenz von drei bis zehn Reinigungsvorgängen pro Gerät und Jahr (s. auch IVA-Pressemitteilung Dechet, 2003). Ramwell et al. (2004) gehen in diesem Zusammenhang für Großbritannien generell von einer unregelmäßigen, nicht besonders sorgfältigen Reinigungspraxis aus. Die IVA-Studie aus dem Jahr 2002 kommt zu dem Schluss, dass im Bezugsjahr lediglich 16 % der befragten Landwirte die Außenreinigung auf dem Feld durchgeführt haben (Kleffmann, 2002 sowie IVA-Pressemitteilung Dechet, 2003).

Der IVA (2007) empfiehlt zur Außenreinigung die Verwendung von Hochdruckreinigern mit einer Dosierungsmöglichkeit für den Zusatz von Spezialreinigern. Moderne Applikationsgeräte verfügen oftmals über Zusatzgeräte zur Außenreinigung in unterschiedlichen Ausführungen, wobei es sich zum Teil um drucklose Systeme handelt (Schlauch, an dessen Ende eine Reinigungsbürste angebracht ist). Der Reinigungsvorgang dauert – sofern er nicht mit einer Innenreinigung verbunden wird – im Schnitt 15 Minuten (vgl. Holst et al., 2002; Ramwell et al., 2005). Holst et al. (2002) sprechen bei mittlerer Gerätegröße von einem Wasserbedarf von 120 l, abhängig vom Sprühkopf der Reinigungsvorrichtung und dem vorhandenen Wasserdruck.

Die Menge der möglichen PSM-Rückstände auf der äußeren Oberfläche von Applikationsgeräten hängt im Wesentlichen von den Witterungsverhältnissen bei der Applikation, den verwendeten Applikationsdüsen und dem Wasserdruck ab (vgl. Eichhorn, 1999; Cooper und Taylor; 1998, Kersting, 1994). Untersuchungen der Landwirtschaftskammer Hannover kommen zu dem Schluss, dass die Wirkstoffbelastung des Bodens infolge einer Außenreinigung von Feldspritzen, abhängig von der Größe des Gerätes (Behältervolumen 600 bis 2000 l), eine Größenordnung von 0,05 bis 70 mg/m² erreicht (Reschke, 1997). Hoof (1994) untersuchte die Abwässer von PSM-Waschplätzen im Münsterland und stellte nach einzelnen Außenreinigungen Frachten von 11,5 g Wirkstoff fest; für den Zeitraum von einem Jahr belief sich die PSM-Fracht für einen Waschplatz bei 11,6 m³ Wasseranfall auf insgesamt 42,7 g.

Einige Untersuchungen zeigen, dass durch eine Außenreinigung die PSM-Rückstände auf der äußeren Oberfläche von Applikationsgeräten nicht vollständig entfernt werden und es da-

durch schrittweise zu einer Wirkstoffakkumulation kommen kann (u. a. Ganzelmeier, 1998). Fogg et al. (1999) untersuchten unter Laborbedingungen Oberflächen von Feldspritzen vor und nach einer „typischen“ Applikation (10 ha Applikationsfläche, 200 l/ha Ausbringungsmenge IPU, 1000-l-Tank). Nach der Applikation wurde eine IPU-Deposition auf der äußeren Oberfläche des Gerätes von insgesamt 6,3 g gemessen, wovon lediglich 50 % bei der anschließenden Reinigung (Dampfstrahlung) entfernt wurden. Ramwell et al. (2004 b) führten in Großbritannien landesweit Stichproben an insgesamt 13 Feldspritzen durch, die im regelmäßigen Einsatz in landwirtschaftlichen Betrieben waren. Dazu wurden einzelne Bauteile der Applikationsgeräte (Ausleger, Düse und Tank) auf PSM-Rückstände beprobt. Das Ergebnis waren Rückstände von IPU, Pendimethalin, Metazachlor, Chlorothalonil und Azoxystrobin auf den Auslegergalgen in einer Größenordnung von bis zu 1 g pro m². Dies ist insofern zunächst erstaunlich, als der Einsatz einzelner Wirkstoffe in den jeweiligen Betrieben teilweise schon mehr als ein halbes Jahr zurücklag. Mit Blick auf die Arbeitssicherheit der Anwender wurde daraufhin der Frage nachgegangen, welche Mengen generell nach der Außenreinigung auf der Außenfläche von Applikationsgeräten verbleiben können. Von Ramwell et al. (2006) wurden dazu an einer repräsentativen Oberfläche unter Laborbedingungen Spülversuche durchgeführt. Bei den untersuchten sechs Wirkstoffen wurden erhebliche Unterschiede in Anhaftungsdauer und Abwaschbarkeit festgestellt. Ein Maß für diese beiden Eigenschaften ist die sog. „transfer efficiency“. Dieser Wert wird in Prozent ermittelt und betrug zwischen 80 % bei Azoxystrobin und < 25 % bei Flusilazole (Tabelle 4), wofür die Autoren die unterschiedlichen physiko-chemischen Eigenschaften (Flüchtigkeit, K_{ow}, Wasserlöslichkeit etc.) der Substanzen verantwortlich machen.

Tab. 4. Eigenschaften von sechs PSM-Wirkstoffen auf der Oberfläche von Applikationsgeräten (Ramwell et al., 2006)

Produkt	Wirkstoff	Wasserlöslichkeit [mg/l]	Log K _{ow}	Mittlere Transfer Efficiency [%]
Amistar	Azoxystrobin	6	2,5	80
Bavistin	Carbendazim	8	1,6	60
Lyric	Flusilazole	54	3,7	23
Trump	Isoproturon	70	2,5	65
Trump	Pendimethalin	0,3	5,2	39
Folicur	Tebuconazol	32	3,7	31

Festzuhalten bleibt, dass durch die Reinigung von Feldspritzen auf Hofflächen ein beträchtliches Risiko von PSM-Kontamination der Umwelt entsteht. Die Höhe möglicher Einträge ist aufgrund der wenigen vorhandenen Daten allerdings nicht präzise zu beziffern. Die Untersu-

chungen von Ramwell et al. (2006) deuten darauf hin, dass nicht sämtliche PSM-Rückstände durch die Außenreinigung entfernt werden und dass es zu einer Wirkstoffakkumulation kommen kann. Falls das gereinigte Applikationsgerät auf einer befestigten Fläche unter freiem Himmel abgestellt wird, kann es demzufolge bei Regen und entsprechendem Kanalanchluss der Abstellfläche zu einer Abwaschung und Verlagerung in Oberflächengewässer kommen.

Bei der Applikation von PSM können über Abdrift und Sprühnebel auch Bauteile des Traktors mit PSM-Wirkstoffresten kontaminiert werden (Ausnahme: selbstfahrende Applikationsgeräte). Eine Reinigung des Traktors nach Pflanzenschutzarbeiten findet vermutlich bei sichtbarer starker Verschmutzung und – zum Schutz vor Korrosion – nach dem Ausbringen aggressiver Agrochemikalien statt. Ramwell et al. (2004 b) kommen zu dem Ergebnis, dass die Außenreinigung der Traktoren in landwirtschaftlichen Betrieben in unregelmäßigen Zeitabständen im Mittel alle 10 bis 13 Wochen erfolgt.

Zur Frage, wie hoch das Freisetzungspotenzial von PSM-Wirkstoffen von der Oberfläche von Traktoren sein kann, existiert nur sehr wenig belastbares Material; Mason (2003) weist lediglich auf den möglichen Transport PSM-kontaminierter Erde an Traktorenreifen hin, ohne eine Größenordnung zu benennen. Die Untersuchungen von Ramwell et al. (2004b) und Kline (2003) beschäftigten sich mit der Arbeitssicherheit von Anwendern. Da die Außenreinigung vermutlich regelmäßig auf der Hoffläche (Wasseranschluss) durchgeführt wird, kann aber ein grundsätzliches Gefährdungspotenzial angenommen werden.

Ramwell et al. (2004 b) haben Außenflächen von Traktoren (Kotflügel, Kabinentür, Rückfenster) nach der PSM-Applikation beprobt und festgestellt, dass die Konzentrationswerte bei den Wirkstoffen IPU, Pendimethalin, Metazachlor, Chlorothalonil und Azoxystrobin bis zu einem Faktor 10 niedriger lagen als auf den Bauteilen der Feldspritzen. Die gefundenen Höchstkonzentrationen auf Kotflügeln und Tank betragen 10 mg pro m² (Isoproturon). Kline et al. (2003) untersuchten PSM-Rückstände unter anderem auf Windschutzscheiben (außen) von insgesamt fünf Traktoren; die festgestellten PSM-Konzentrationen betragen zwischen 0,6 und 2,4 µg pro Probe.

2.1.5 Reparatur- und Instandhaltungsarbeiten an der Feldspritze

Grundsätzlich kann es auch bei Reparatur- und Instandhaltungsarbeiten an Applikationsgeräten im Hofbereich zu einer Freisetzung von PSM kommen. Zur Größenordnung solcher Austräge liegen keine Literaturangaben vor. Hoof (1994) liefert lediglich einen Anhaltswert zur Filterreinigung, wonach eine einmalige Filterreinigung zu Spitzenkonzentrationen von PSM-Rückständen von 311 mg/l im Abwasser eines Waschplatzes führte.

2.1.6 Unkrautbeseitigung auf dem Hof

Praxisberichten zufolge ist es in manchen Landwirtschaftsbetrieben gängige Praxis, ihre befestigten Hofflächen mit den gleichen Präparaten gegen Verunkrautung zu behandeln, die sie auch auf ihren Feldflächen einsetzen. Beispielsweise kamen Untersuchungen im schwedischen Vemmenhög-Einzugsgebiet zu dem Ergebnis, dass (vor Beginn einer Beratungskampagne) ca. 20 % der Gesamtfracht der PSM-Rückstände im Flusswasser aus der PSM-Behandlung der Hofflächen stammten (Kreuger, 1998; die Gesamtfrachten lagen während eines 7-Jahres-Zeitraumes immerhin zwischen 0,5 und 2,8 kg/Jahr). Inwieweit diese Daten auf die Situation in Deutschland übertragbar sind, kann aufgrund fehlender Untersuchungen nicht beurteilt werden (siehe auch Ausführungen zur chem. Unkrautbeseitigung auf öffentlichen Wegen im Kapitel 2.2).

2.1.7 Zusammenfassung

Abgesehen von Unfällen, die auf grob fahrlässiges Verhalten des Anwenders zurückzuführen sind, beschränkt sich das Freisetzungspotenzial von PSM-Wirkstoffen auf dem Hof auf einige wenige Arbeitsschritte. Gerecke et al. (2001) gehen davon aus, dass es sich dabei vor allem um Reinigungsvorgänge an den Applikationsgeräten und Unachtsamkeiten bzw. Unfälle beim Befüllen handelt. Weitere Arbeitsgänge, die in diesem Zusammenhang als besonders problematisch zu bezeichnen sind, sind das Reinigen von Applikationsgeräten und Traktoren (innen und außen) sowie der Umgang mit technischen Restmengen. In der Gesamtschau wird deutlich, dass die Höhe des Freisetzungspotenzials zu einem großen Teil auch von der technischen Ausstattung der Spritzgeräte (Kanisterspülvorrichtung, Frischwasserbehälter, Möglichkeit zur Außenreinigung auf dem Feld) abhängt.

Tab. 5. Freisetzungspotenzial von PSM-Wirkstoffen im Hofbereich

Arbeitsschritt	Freisetzungspotenzial ⁸	Quelle/Referenz
Kanisterspülung mit Spüleinrichtung	0,1 bis 0,5 mg Wirkstoff pro Liter Spülwasser	ENTAM (2005)
Leckagen aus ungespülten restentleerten Verpackungseinheiten	abhängig von Art der Lagerung und Sorgfalt des Anwenders	
Unfälle beim Befüllen (Gerät ohne Befüllvorrichtung)	verschüttete Menge Konzentrat ⁹ 0,05 bis > 1,0 ml pro Befüllvorgang Bei 500 g Wirkstoff pro Liter Präparat gibt das 25 mg bis 500 mg Wirkstoff pro Befüllvorgang	Glass et al. 2002
Unfälle beim Befüllen (Gerät mit Befüllvorrichtung)	verschüttete Menge Konzentrat: 0,02 bis 0,01 ml pro Befüllvorgang Bei 500 g Wirkstoff pro Liter Präparat ergibt das 5 bis 10 mg Wirkstoff pro Befüllvorgang	Glass et al. 2002
Unfälle beim Befüllen mit einem geschlossenen Befüllsystem	verschüttete Menge Konzentrat in 75 % der untersuchten Fälle < 0,05 ml pro Befüllvorgang	Glass et al. 2002
Ablassen der technischen Restmenge auf der Hoffläche (unverdünnt)	Ein Liter Restmenge enthält zwischen 1 und 5 g Wirkstoff, das bedeutet bei 20 l Restmenge ein Freisetzungspotenzial von 20 bis 100 g Wirkstoff	durchschnittliche Wirkstoffmengen in der Spritzbrühe nach BVL (2007)
Ablassen der technischen Restmenge auf der Hoffläche (nach Innenreinigung und Ausbringen des Reinigungswassers auf dem Feld)	2–10 mg Wirkstoff nach Verdünnung in der technischen Restmenge des Spülwassers	Holst et al. (2002)
Tankinnenreinigung	0,52 g bis 12 g Wirkstoff pro Liter während der Reinigung 0,02 bis 0,1 g Wirkstoff nach dreistufiger Innenreinigung Wirkstoffreste nach der Innenreinigung im mg-Bereich 0,4 bis 2 mg Wirkstoff pro Liter Spülwasser nach der Innenreinigung nach Innenreinigung und Leerfahren des Gerätes noch Wirkstoffkonzentrationen im Spülwasser von > 1 mg/l	Balsari et al. (2002a) Holst et al. (2002) Ganzelmeier (1998) Resch (1997) Hoof (1994)
Außenreinigung von Applikationsgeräten	11,5 g Gesamt-Wirkstofffracht pro Reinigung < 1 g/m ² Geräteoberfläche (IPU und Chlo-rothalonil an Auslegergalgen, Zuführungssystem und Fass)	Ramwell und Johnson, 2002
Außenreinigung Traktoren	< 10 mg/m ² Geräteoberfläche	Ramwell und Johnson, 2002

⁸ Freisetzungspotenzial bezieht sich auf Spritzbrühe mit 0,1 – 0,5 % Wirkstoffkonzentration⁹ Annahme: 500 g Wirkstoff pro Liter Präparat

2.2 Ursachen für Punkteinträge außerhalb landwirtschaftlicher Höfe

Neben den Hofabläufen aus Landwirtschaftsbetrieben sind noch eine Reihe weitere Kontaminationsquellen zu erwähnen, die zu Punkteinträgen in Oberflächengewässer führen können. Ihr Anteil an der Gesamtbelastung ist vermutlich nur in Einzelfällen bedeutsam; sie werden aus Gründen der Vollständigkeit hier aufgelistet. Es handelt sich dabei um:

- Abschwemmung von PSM-Rückständen aus der chemischen Unkrautbeseitigung durch Niederschlagswasser auf befestigten Wegen
- Abschwemmung von PSM-Rückständen von Bahngleisanlagen
- Auswaschung von PSM-Rückständen aus Baumaterialien
- Auswaschung von PSM-Rückständen aus der Atmosphäre
- kontaminierte Waschwässer aus Winzereien und Obstgroßmärkten und
- PSM-haltige Abwässer aus der Industrie.

In der Literatur werden diese Eintragsquellen meist nur am Rande beschrieben. An dieser Stelle sei auf die Arbeit von Skark et al. (2004) hingewiesen. Untersuchungsgegenstand waren zwei kleinere Zuflüsse der Ruhr bei Schwerte (Einzugsgebiet jeweils ca. 5 km²). An 14 verschiedenen Beprobungsstandorten wurden in den Jahren 1994 bis 1996 PSM-Messungen vorgenommen. Dabei wurde festgestellt, dass immerhin zwei Drittel der Gesamtfracht von PSM aus dem nichtlandwirtschaftlichen Bereich, speziell aus der Behandlung von Bahngleisanlagen und aus dem Einsatz in Privathaushalten stammt, obwohl rund 30 % des Einzugsgebiets Ackerland sind. Bereits in früheren Untersuchungen hatten Skark et al. (1996) und Linneweber (1997) auf die Belastung der Ruhr durch Diuron aus nichtlandwirtschaftlichen Quellen hingewiesen. Im Jahr 1994 wurden an zwei Beprobungsstandorten Tagesfrachten von 10 bis 16 g Diuron nachgewiesen, die vermutlich aus dem Abstrom von Bahngleisen und aus dem Einzugsbereich einzelner Siedlungs- und Gewerbegebiete stammen.

2.2.1 Einträge durch Abschwemmung von PSM-Rückständen von befestigten Flächen

Die chemische Unkrautbeseitigung auf befestigten Flächen ist vor allem deshalb problematisch, weil die PSM-Wirkstoffe in der Regel nicht versickern können. Dies führt zu einer relativ schnellen Sättigung der Applikationsflächen und es kann zu einer Akkumulation der Substanzen auf der Oberfläche kommen (Ramwell et al., 2002a). Die bisherigen Studien legen die Vermutung nahe, dass auf befestigten Flächen keine nennenswerte Retention der Wirk-

stoffe stattfindet (z. B. Ramwell, 2005; Altmayer et al., 2003; Rose et al., 2001). Bei Regen besteht die Gefahr, dass die akkumulierten Wirkstoffe mit dem ablaufenden Wasser über die Kanalisation oder direkt in Oberflächengewässer transportiert werden. Mehrere Publikationen aus Dänemark und den Niederlanden weisen darauf hin, dass hier dieser Thematik besondere Aufmerksamkeit entgegengebracht wird (Rask und Kristoffersen, 2007, Spliid et al., 2004, Nitschke und Schüssler, 1998). Kempenaar und Spijker (2004) ermittelten, dass rund 50 % der PSM, die in den Niederlanden außerhalb der Landwirtschaft zum Einsatz kommen, auf die Unkrautbeseitigung auf öffentlichen Wegen zurückgehen. Im Mittelpunkt der Arbeiten steht die Frage, wie der Eintrag von Glyphosat aus nichtlandwirtschaftlichen Quellen in Gewässer verringert werden kann. Kempenaar et al. (2007) sowie Luijendijk et al. (2003) stellen in diesem Zusammenhang alternative Pflanzenschutzstrategien vor. In der Literatur finden sich unterschiedliche Angaben zur Größenordnung der PSM-Frachten über diesen Eintragspfad. Ramwell et al. (2002a) kommen für die untersuchten Substanzen (unter anderem Diuron und Glyphosat) zu dem Ergebnis, dass 10 % bis 73 % der gesamten ausgebrachten Menge mit dem Niederschlagswasser abgewaschen und verlagert werden; Chevre (2003) beziffert diese Zahl für die Schweiz auf 3 %. Spanoghe et al. (2005) untersuchten, welche Rolle die Beschaffenheit der Oberfläche bei der Verlagerung spielt, anhand der drei Herbizide Glyphosat, Diuron und Diflufenican auf Asphalt, Beton und Kies. Im Gegensatz zu Diuron und Diflufenican, die relativ stark an den Untergrund adsorbierten, fanden sich 75 % der Applikationsmenge von Glyphosat im Run-off wieder. Dagegen scheint der zeitliche Abstand zwischen Applikation und nächstem Regenereignis keinen wesentlichen Einfluss auf die Ausstragsmenge zu haben (Spanoghe et al., 2005; Rose et al., 2003). Safts und Staats (2002) schätzen den „runoff emission factor“ für PSM auf befestigten Gehwegen aufgrund der physikalischen und chemischen Eigenschaften der Wirkstoffe pauschal auf 50 %.

Die Gefahr, dass PSM von befestigten Wegen mit dem Niederschlag abgewaschen und verlagert werden, stellt nach Aussage von Altmayer et al. (2003) den zweitwichtigsten Eintragspfad von PSM in Oberflächengewässer in Weinanbaugebieten dar. Gründe hierfür werden in einem vergleichsweise dichten Netz an Wirtschaftswegen und einer kleinparzelligen Agrarstruktur im Weinbau gesehen (Twertek, 1995). Altmayer et al. (2003) errechnen für das Untersuchungsgebiet in einer deutschen Weinbauregion eine Gesamtwirkstofffracht von 15 g Wirkstoff pro Quadratmeter befestigter Wegfläche unter praxisüblichen Bedingungen allein durch Abtropfen und Abtrift.

2.2.2 Einträge von PSM-Rückständen aus der Behandlung von Bahngleisanlagen

PSM-Wirkstoffe können weiterhin auch über Bahnkörper in Oberflächengewässer gelangen. Torstensson (2001) weist im Zusammenhang mit chemischer Unkrautbekämpfung von Gleisanlagen darauf hin, dass sich hier aufgrund der Oberflächen der Materialien des Gleisbetts Wirkstoffdepots bilden können. Das ergab auch eine Untersuchung von Ramwell et al. (2004a) von Drainagegräben an Bahngleisanlagen. Allerdings konnte eine messbare Auswaschung nur mit der Simulation sehr hoher Niederschlagsmengen erreicht werden.

2.2.3 Einträge von PSM-Rückständen aus Baumaterialien

Gerecke et al. (2001) weisen auf die Gefahr der Auswaschung von PSM-Rückständen aus behandelten Baumaterialien hin. Dies betrifft unter anderem Algizide in Außenfarben und Herbizide als Bestandteil von Flachdachversiegelungen. Die Autoren kommen für das Einzugsgebiet des Greifensees in der Schweiz zu dem Ergebnis, dass dort ein Großteil der PSM, die im Siedlungsbereich eingesetzt werden, über punktuelle Quellen in Oberflächengewässer gelangt. Die Ergebnisse gehen teilweise auf die Arbeiten von Bucheli et al. (1998a, 1998b) zurück; hier wurden Dachabläufe und Regenüberlaufbecken auf PSM-Rückstände untersucht. Der Spitzenwert für die Frachten, die auf die Freisetzung aus Materialschutzanstrichen zurückgeführt werden, betrug für den Wirkstoff MCPP 1 ng/m^2 . Chevre (2003) geht davon aus, dass in der Schweiz in Einzelfällen bis zu 50 % der Gesamtfracht an PSM aus Materialschutz stammen können. In welchem Umfang in Deutschland PSM-Wirkstoffe im Bauschutz eingesetzt bzw. in welcher Größenordnung daraus mögliche Einträge in Oberflächengewässer erwartet werden können, kann aufgrund fehlender Untersuchungen nicht beurteilt werden; grundsätzlich finden auch in Deutschland in Dach- und Fassadenfarben Biozidwirkstoffe als Filmkonservierer Verwendung. Zur Auswaschung dieser Substanzen liegen zurzeit Resultate aus Modellstudien vor (Schoknecht et al., 2003, zum Prüfverfahren siehe Schoknecht et al., 2002), die grundsätzlich eine Auswaschungsgefahr bestätigen.

Im Auftrag des Landesumweltamtes Nordrhein-Westfalen wurde im Jahr 2002 untersucht, inwieweit die Dachsanierung und der damit verbundene Schutzanstrich des Daches mit Acryldispersionsfarben sich auf die Umwelt auswirken können. Dazu wurden insgesamt vier Dachfarben auf ihr Potenzial zur Auswaschung von Bioziden untersucht und für einzelne Farben Wirkstoffmengen bis zu 20 mg/m^2 (Terbutryn) und 60 mg/m^2 (Carbendazim) festgestellt. Im Laborversuch wurde die Wirkstoffkonzentrationen im Dachablaufwasser bei ver-

schiedenen Regenintensitäten ermittelt. Die maximale Anfangskonzentration der Biozide aus Dachfarben erreichte bei der geringsten modellierten Regenintensität von 0,3 mm/h bis zu 9 mg/l (Carbendazim). Menge (2005) kommt zu dem Schluss, dass Dachablaufwasser bis zu 13 Wochen nach einer Dachsanierung immer noch für Oberflächengewässer stark toxische Konzentrationen an PSM-Rückständen enthalten kann. Aufgrund der insgesamt sehr großen Unterschiede bei den ermittelten Werten für die einzelnen Farben und bei unterschiedlichen Regenintensitäten wird weiterer Untersuchungsbedarf auf diesem Gebiet gesehen.

2.2.4 Auswaschung von PSM-Rückständen aus der Atmosphäre

Bei Bucheli et al. (1998b) werden Auswaschungsvorgänge aus der Atmosphäre als weitere Quelle von PSM beschrieben. Für den Wirkstoff Atrazin wird im dortigen Schweizer Untersuchungsgebiet eine Gesamtdepositionsmenge aus der Atmosphäre von 13,9 $\mu\text{g}/\text{m}^2$ pro Jahr angenommen. In Schweden ist der Anteil der PSM-Einträge in Oberflächengewässer aus der Atmosphäre in den Jahren 2002 bis 2005 in einem landesweiten Monitoring-Programm untersucht worden. Laut Kreuger und Kylin (2006) entspricht die gemessene Menge an PSM-Wirkstoffen, die im Untersuchungszeitraum über die Atmosphäre ausgewaschen wurde, 0,01 bis 0,0004 % der Applikationsmenge. Altmayer et al. (2003) kommen im Gegensatz dazu für das Untersuchungsgebiet in einer deutschen Weinbauregion zu dem Schluss, dass hier die Einträge aus der Atmosphäre keine Rolle spielen. Dagegen haben Bach et al. (2000) insgesamt sieben Untersuchungsprogramme aus den 90er Jahren zur Höhe der atmosphärischen Depositionsraten von PSM an verschiedenen Standorten in Deutschland ausgewertet; sie errechnen als Summe der atmosphärischen Einträge in Oberflächengewässer für die gesamte Gewässerfläche Deutschlands rund 50 kg pro Jahr für Einzelwirkstoffe. Bach et al. (2000) kommen zu dem Schluss, dass die Depositionseinträge aus der Atmosphäre in Ausnahmefällen zwar relevant sein können, insgesamt gesehen aber im Vergleich zu den übrigen Eintragsquellen von untergeordneter Bedeutung sind.

2.2.5 Einträge aus Winzereien und Obstgroßmärkten

Die Verschmutzung von Waschwässern in Obstgroßmärkten in den Niederlanden wurde von Beltman et al. (2007) sowie von Giry et al. (2001) in Frankreich untersucht. Sie kommen auf mittlere Konzentrationen des PSM Carbendazim im Transportwasser von Äpfeln und Birnen von 13 – 550 $\mu\text{g}/\text{l}$ und 20 – 321 $\mu\text{g}/\text{l}$. Bei einer geschätzten Ernte- und Sortierzeit von 20 Wochen im Jahr und wöchentlichem Wechseln des Transportwassers (im Mittel 5 m^3) ergibt

das im Untersuchungsgebiet eine Gesamtmenge von 100 m³ Transportwasser mit einer hochgerechneten Carbendazim-Fracht von 1,3 – 55 g pro Betrieb und Saison (nach Beltman et al., 2007). Untersuchungen der SLFA Neustadt legen die Vermutung nahe, dass auch das Prozesswasser aus der Keller- oder Fassreinigung von Winzereibetrieben mit PSM-Wirkstoffen belastet sein kann, was dann im Einzelfall möglicherweise eine bedeutende Kontaminationsquelle darstellt (Altmayer, 2006, mündl. Mitteilung).

2.2.6 Einträge aus Produktionsanlagen und Formulierungsbetrieben

Im Jahr 2006 wurden in Deutschland von den Mitgliedsfirmen des IVA rund 92 000 t PSM-Wirkstoffe produziert (IVA, 2007). Die möglichen Einträge von PSM-Rückständen aus der chemischen Industrie – beispielsweise über kontaminierte Prozessabwässer aus der Produktion von PSM oder aus Formulierungsbetrieben – sind aufgrund fehlender Untersuchungen nur sehr schwer zu quantifizieren. Iske (1996) weist darauf hin, dass dieser Eintragspfad im Einzelfall von Bedeutung sein kann. Bei der Beprobung des Ablaufes der Kläranlage Hattingen wurde festgestellt, dass im Untersuchungszeitraum immerhin die Hälfte der gesamten Wirkstofffracht aus der Einleitung belasteter Produktionsabwässer eines Formulierungsbetriebes stammte. Im Jahr 1994 wurden im Einzugsgebiet des Rheins die Abläufe einer Reihe von Kläranlagen verschiedener Pflanzenschutzmittel-Produzenten beprobt (Bach et al., 2000); die Gesamt-Jahresfracht aller zwölf untersuchten Wirkstoffe betrug 3800 kg/Jahr. Auffällig war dabei das Ergebnis für den Wirkstoff Chloridazon, von dem insgesamt 2200 kg/Jahr eingeleitet wurden. Huber (1998) hat in seiner Arbeit eine nichtrepräsentative Zahl von Wirkstoffproduzenten in Deutschland zu deren überschlägigen Einleitungsmengen wirkstoffbelasteter Prozesswässer befragt; auch diese Ergebnisse bestätigen die Vermutung, dass dieser Eintragspfad in Einzelfällen von Bedeutung sein könnte.

2.3 Bewertung von Minderungsstrategien

Grundsätzlich ist eine ganze Reihe von Maßnahmen bekannt, mit denen PSM-Einträge aus Punktquellen in Oberflächengewässer verhindert oder zumindest weitgehend vermindert werden können. Beiträge und vor allem Erfahrungsberichte zu dieser Thematik sind überwiegend in sogenannter „grauer Literatur“ wie bspw. Konferenzbeiträgen oder Informationsbroschüren von Beratungsträgern, Industrieverbänden und ähnlichen Organisationen zu finden.

In diesem Kapitel wird eine Übersicht zu den verschiedenen Maßnahmen bzw. Ansatzstellen zur Verringerung von Gewässereinträgen aus Hofabläufen gegeben und es werden Untersuchungsergebnisse dazu ausgewertet. Bei den Maßnahmen handelt es sich im Einzelnen um:

- 1) Information und Schulung der Anwender
- 2) Einrichtung von Waschplätzen für Applikationsgeräte („Biobeds“)
- 3) Anschaffung neuer Technik bzw. Nachrüstung vorhandener Spritzgeräte
- 4) Ordnungsrechtliche Maßnahmen zur Einhaltung von Handlungsvorschriften
- 5) Modifikationen beim Umgang mit Präparaten auf der Hoffläche
- 6) Abwasserbehandlung.

2.3.1. Information und Schulung der Anwender

In der Diskussion über die Ursachen und möglichen Minderungsstrategien von Gewässerbelastungen durch PSM-Einträge aus der Landwirtschaft hat sich in den vergangenen Jahren die Erkenntnis durchgesetzt, dass Punktquellen zu diesem Problem maßgeblich beitragen. Anknüpfend an diese Erkenntnis ist eine Reihe von Informationskampagnen initiiert worden mit dem Ziel, die PSM-Anwender für die Problematik von PSM-Einträgen aus dem Hof zu sensibilisieren und ihre Sorgfalt darauf zu fokussieren; Beispiele derartiger Initiativen sind unter anderem in Deutschland die „H₂OK-Kampagne“ des IVA, die britische „Voluntary Initiative“ und das EU-weit angelegte TOPPS-Programm.

Die Kampagne „H₂OK – Eine Initiative für reines Wasser“ (IVA, 2001) wird vom IVA koordiniert und von der amtlichen Pflanzenschutzberatung und dem Deutschen Bauernverband unterstützt. Die Kampagne umfasst Anzeigen in der Fachpresse während der Behandlungssaison, Informationsposter auf landwirtschaftlichen Fachausstellungen sowie die Verbreitung von Informationsmaterialien wie Faltblättern, Folienserien und PowerPoint-Präsentationen.

Ziel von „H₂OK“ ist es weiterhin, das Thema Pflanzenschutz und Gewässerschutz im Unterricht landwirtschaftlicher Fach- und Berufsschulen stärker zu verankern.

In Großbritannien ist im Jahr 2001 von der agrochemischen Industrie unter Führung der CPA (Crop Protection Association) die sogenannte „Voluntary Initiative for Pesticides“ (VI) ins Leben gerufen worden, womit die CPA auf eine Gesetzesinitiative der britischen Regierung zur Einführung einer PSM-Steuer reagiert hat. Kern der VI ist es, die beteiligten Interessengruppen auf regionaler Ebene bzw. in Einzugsgebieten für eine Zusammenarbeit zu gewinnen (Humphrey et al., 2007). Das Hauptaugenmerk liegt dabei auf der strikten Einhaltung der Grundsätze der „good farming practice“. Ein Maßnahmenkatalog, der in den Jahren 2002 bis 2006 im Rahmen des „Pilot Water Catchment Projects“ in sechs ausgewählten britischen Untersuchungsgebieten entwickelt wurde, soll zukünftig in weiteren 40 Einzugsgebiete umgesetzt werden. Dabei sind laut Humphrey et al. (2007) vor allem drei Schritte von Bedeutung:

1. Identifikation der ansässigen Landwirte und der wichtigsten Multiplikatoren.
2. Erreichen der Zielgruppe; Konzentration der Aufmerksamkeit der Mitglieder auf ökologische Belange respektive den Gewässerschutz.
3. Zusammenarbeit der Multiplikatoren, um Problembereiche zu erkennen und gemeinsam Gegenmaßnahmen zu entwickeln.

Glass et al. (2006) und Humphrey et al. (2007) beurteilen die bisherigen Ergebnisse der VI insgesamt optimistisch. Flankierend zur VI hat die britische Landwirtschaftsgesellschaft NFU (National Farmers' Union) in den vergangenen Jahren ein Audit-System gestartet. Dabei handelt es sich um einen Pflanzenschutz-Managementplan, der den Landwirten die Auswirkungen von Pflanzenschutz auf die Umwelt stärker bewusst machen soll. Untersuchungen dazu liegen von Garratt und Kennedy (2006) vor, eine Erfolgsbewertung steht noch aus.

Ziel des TOPPS-Projekts (**T**rain the **O**perators to **P**revent **P**ollution from **P**oint **S**ources) ist es, auf europäischer Ebene eine Plattform für den Austausch von Informationen und Empfehlungen rund um die Pflanzenschutzbehandlung zu schaffen (TOPPS, 2007). Dabei wird das Hauptaugenmerk auf die Sensibilisierung der Anwender bei der Lagerung und dem Transport von PSM vor, während und nach der Applikation von PSM sowie beim Umgang mit Restmengen gelegt. Begleitende Studien finden in fünf ausgewählten „TOPPS-Pilot-Catchments“ in Polen, Dänemark, Deutschland, Italien sowie Frankreich/Belgien statt. Die Laufzeit von TOPPS beträgt drei Jahre (11/2005 bis 10/2008); finanzielle Unterstützung erhält das Netz-

werk von der EU-Kommission und dem Verband der europäischen Pflanzenschutzindustrie (ECPA).

Jaeken und Debaer (2005) betonen die Möglichkeit, neben den vorgestellten überregionalen Beratungsansätzen einzelne Landwirte individuell anzusprechen. Die Inhalte einer solchen Beratung können vielschichtig sein: von einem optimalen PSM-Management über die gezielte Vermittlung ökologischer Zusammenhänge bis hin zu einem ganzheitlichen Betriebsmanagement. Erfahrungsberichte aus der Beratungspraxis zur Reduzierung von Punkteinträgen in Gewässer liegen aus mehreren Studien vor. Allerdings sind die tatsächlichen Auswirkungen dieser Maßnahmen auf die PSM-Situation in den Untersuchungsgebieten nicht immer eindeutig zu quantifizieren; das liegt vor allem daran, dass solche Beratungsangebote erst in den vergangenen fünf bis zehn Jahren initiiert wurden und entsprechende Langzeitstudien fehlen.

Kreuger und Nilsson (2001) formulieren eine Reihe von Voraussetzungen, die nach ihren Erfahrungen für eine erfolgreiche Beratung zur Reduzierung von Punkteinträgen erfüllt sein sollten. Dazu gehört, dass die Maßnahmen individuell auf die örtlichen Gegebenheiten sowie die betrieblichen Rahmenbedingungen der Landwirte abgestimmt sind. Fischer et al. (1998) erwähnen als Erfolgsfaktoren insbesondere die möglichst lückenlose Erreichung der Zielgruppe und die Motivierung der beteiligten Landwirte.

Ob es im Einzelfall tatsächlich gelingt, eine bestimmte Zielgruppe zu erreichen, hängt nach Aussage von Lichtenberg und Zimmermann (1999) davon ab, ob die Art der Informationsvermittlung die innere Haltung der Adressaten zur Thematik „PSM und Gewässerschutz“ verändern kann. Die Autoren untersuchten in einer Studie in den US-Bundesstaaten Maryland, New York und Pennsylvania in den Jahren 1994 bis 1995 in diesem Zusammenhang die Reaktion von Landwirten auf verschiedene Formen der Informationsvermittlung wie Zeitungsartikel, Informationsbroschüren von Anbauverbänden oder Fachmessen. Als wichtigste Informationsquellen wurden von den 2700 Teilnehmern der Studie außer der individuellen Beratung auf Betriebsebene Hinweise auf Gebrauchsanweisungen von Pflanzenschutzpräparaten und das Fachpersonal im regionalen Landhandel genannt.

Wie eine Intensiv-Beratungskampagne gestaltet sein kann, zeigt das Beispiel der Kooperation von Landwirtschaft und AWWR (Arbeitsgemeinschaft der Wasserwerke an der Ruhr) in Nordrhein-Westfalen zur Verminderung der Einträge von Diuron in diesem Flussgebiet Mitte

der 90er Jahre. Adressaten der Kampagne waren in diesem Fall allerdings nicht in erster Linie die Landwirte, sondern die Haus- und Gartenbesitzer im Einzugsgebiet als hauptsächliche Anwendergruppe von Diuron. Nach Linneweber (1997) wurde die Diuron-Belastung in der Ruhr mit Hilfe der Kombination folgender Maßnahmen erfolgreich reduziert:

- Pressemitteilungen in Tageszeitungen und Fachzeitschriften
- Ankündigung verschärfter Kontrollen der Haus- und Grundstücksbesitzer durch die Landwirtschaftskammer
- Anschreiben sämtlicher Haushalte im Landkreis als mögliche Verursacher zur Information über die Rechtslage
- Kontrollfahrten während der Vegetationsperiode, Beprobung bei Verdachtsfällen
- Zwischenberichte in der Lokalpresse mit Erfolgsmeldungen
- Stellwandausstellung „Unkrautvernichtung und Trinkwasser“.

Als Alternative zu freiwilligen Beratungs- und Informationsangeboten für die Landwirte käme im Prinzip auch ein obligatorischer zusätzlicher Sachkundenachweis zum Thema Gewässerschutz in Betracht, der über den gegenwärtig im Rahmen der Pflanzenschutz-Sachkundeverordnung¹⁰ in Deutschland geforderten Umfang hinausginge. Dieser Vorschlag stammt unter anderem von Seel und Gabriel (2001). Sie berufen sich auf eine Untersuchung von 106 hessischen Kläranlagen, bei der sie unter anderem zu dem Schluss kommen, dass Punkteinträge durch das Fehlverhalten einer kleinen Minderheit der Landwirte erklärt werden können, die mit freiwilligen Beratungsangeboten nicht erreicht werden. Die Erfahrung lehrt allerdings, dass ein derartiger zusätzlicher Nachweis von den Landwirten als „Zwangsmassnahme“ empfunden würde, was für die angestrebte Wirkung ausgesprochen kontraproduktiv wäre.

Aus mehreren europäischen Ländern werden mittlerweile Erfahrungen mit der Wirksamkeit von Beratungs- und Informationskampagnen berichtet. Im Jahr 1995 startete im Einzugsgebiet des Vemmenhoeg (Schweden) nach einer fünfjährigen Monitoringphase eine intensive Beratungskampagne mit dem Ziel, die Anwender über die Gefahr der unbeabsichtigten Freisetzung von PSM zu informieren. Noch im selben Jahr konnte im Gewässer ein Rückgang der PSM-Gesamtbelastung von 90 % festgestellt werden (Kreuger und Nilsson, 2001). Nach

¹⁰ Pflanzenschutz-Sachkundeverordnung vom 28.07.1987, BGBl. I S. 1752, geändert durch Verordnung vom 07.05.2001, BGBl. I S. 885.

dem Ende der Kampagne hielt dieser Rückgang allerdings nur kurze Zeit an; bereits nach wenigen Jahren stieg die Gesamtbelastung wieder auf das Ausgangsniveau.

Ähnliche Erfahrungen beschreiben Fischer et al. (1996) für ein kleineres Gewässer in Hessen, in dem durch eine intensive Beratung der ansässigen Landwirte die Fracht des Wirkstoffs Isoproturon im Ablauf der Kläranlage um 50 bis 80 % reduziert werden konnte. Nach zwei Jahren ohne weitere Informationen wurde aber wieder nahezu die ursprüngliche Isoproturon-Fracht gemessen. Auch im Einzugsgebiet des Flusses Nil (Belgien) wurde nach einem Anfangserfolg der Beratungskampagne beobachtet, dass die Landwirte bereits kurz nach Abnahme der Beratungsintensität offensichtlich wieder in ihre gewohnten Verhaltensmuster zurückfielen (Beernaerts et al., 2002). Publikationen aus Großbritannien (Einzugsgebiete des Leam, beschrieben bei Hankinson und Welland, 2001) und Frankreich (Einzugsgebiet Fontaine du Theil, beschrieben bei Mailliet-Mezerey et al., 2004) unterstreichen gleichfalls, dass die Beratung zwar grundsätzlich ein erfolgreiches Instrument sein kann, Punkteinträge zu reduzieren, eine nachhaltige Verhaltensänderung bei den Anwendern aber häufig nicht erreicht wird (s. a. Peschka et al., 2006).

2.3.2 Einrichtung von Waschplätzen für Feldspritzen („Biobeds“)

Eine technische Möglichkeit, den Eintrag freigesetzter PSM-Wirkstoffe in ein Gewässer zu verhindern, ist die Benutzung speziell eingerichteter Plätze, an denen das Befüllen und das Reinigen von Spritz- und Sprühgeräten sowie Instandhaltungsarbeiten ohne die Gefahr einer Gewässerkontamination durchgeführt werden können. Solche Bereiche können auf den einzelnen Landwirtschaftsbetrieben oder betriebsübergreifend (z. B. ein Waschplatz pro Ortschaft) eingerichtet werden. Sie sind so ausgestattet, dass das mit PSM kontaminierte Wasser (von der Reinigung der Applikationsgeräte oder Niederschlagswasser, welches PSM-Rückstände von Geräteoberflächen oder Bodenbelag abtransportiert) aufgefangen und mit Hilfe von Mikroorganismen unter kontrollierten Bedingungen gereinigt wird. In der Literatur liefert z. B. Vidali (2001) einen Überblick über Möglichkeiten und Grenzen der biologischen Sanierung von Schadstoffen mit Bioremediationssystemen, darunter auch Pestizide.

In den vergangenen Jahren sind Bioremediationssysteme in mehreren europäischen Ländern intensiv untersucht worden. Dabei wurden sowohl technisch einfache Systeme wie überfahrbare Biobeds (u. a. Torstensson und Castillo, 1997; Carter, 2000; Fogg et al. 2000, 2003;

Henriksen, 2003) als auch aufwändige, kostenintensive Systeme getestet, bei denen das kontaminierte Wasser aufgefangen und vor der Bioremediation weitergeleitet wird (z. B. Hoof, 1994; Rose et al., 2001; Felgentreu und Bischof, 2006). Nach De Wilde et al. (2007) sind vor allem zwei Methoden in der einschlägigen Literatur umfassend beschrieben werden, die unter den Aspekten Zuverlässigkeit und Investitionskosten für den einzelnen Landwirt interessant sein können:

- 1) Anlage so genannten Biobeds
- 2) Verwendung von Biofiltern.

Bei einem Biobed handelt es sich in der Regel um eine Grube, die mit einer biologisch aktiven Matrix (z. B. einem sogenannten „Biomix“ aus Stroh, Torf oder Kompost und Mutterboden) gefüllt und befahrbar ist. Es besteht die Möglichkeit, die Gruben vor dem Verfüllen mit einer wasserundurchlässigen Schicht (Ton oder Folie) abzudichten, um Versickerung in tiefere Bodenschichten zu verhindern. Einen Überblick und Ergebnisse zu den getesteten Füllmaterialien liefern De Wilde et al. (2007), Fogg et al. (2003) und Rose et al. (2001); im Rahmen der „Voluntary Initiative“ stehen in Großbritannien detaillierte Bauanleitungen im Internet zur Verfügung (<http://www.biobeds.info/content/default.asp>, Stand 25.08.2008). Die oberste Schicht von Biobeds besteht in aller Regel aus Mutterboden und ist mit Gras bewachsen. Die Lebensdauer eines solchen Systems hängt außer von der Häufigkeit der Benutzung auch von den klimatischen Bedingungen ab. In Südschweden sind seit 1993 bereits rund 1000 Biobeds im Einsatz; Torstensson (2000) spricht dort von einer Funktionsdauer von fünf bis sechs Jahren.

Das Funktionsprinzip ist einfach: Zum Befüllen oder vor der Außenreinigung wird das Applikationsgerät auf das Biobed gefahren, so dass das Waschwasser und möglicherweise ausgetretene Spritzbrühe bzw. verschüttetes Wirkstoffkonzentrat darin versickern können. Die PSM-Rückstände sorbieren auf der organischen Matrix des Füllmaterials und werden dann im Laufe der Zeit mikrobiell abgebaut. Die wichtigsten Unterhaltungsmaßnahmen bestehen im jährlichen Auffüllen des Biobeds mit „Biomix“ und der standortangepassten Regelung des Wassereintritts (ggf. Abdecken des Biobeds im Winter).

Laut Fogg et al. (2003) dauert der vollständige Abbau eines Wirkstoffgemisches bei der Verwendung von „Biomix“ ungefähr zwölf Monate. Die Gesamtreinigungsleistung von Biobeds liegt nach De Wilde et al. (2007) im Mittel zwischen 95 und 99 %. Fogg et al. (2004a)

stellten in einer weiteren Studie Abbauraten von > 99 % innerhalb von neun Monaten fest. Die Abbauraten verringerten sich im Feldversuch erst nach einer Applikation sehr hoher Konzentrationen von Isoproturon und Chlorothalonil (20-mal höher als die maximal empfohlene Aufwandmenge) deutlich.

Rose et al. (2003) simulierten an drei Versuchsstandorten Befüll- und Reinigungsvorgänge von Spritzgeräten. Während eines insgesamt viermonatigen Untersuchungszeitraumes konnten Ausgangskonzentrationen von 100 000 µg/l in den Biobeds auf unter 0,1 µg/l abgebaut werden. Spliid et al. (2006) beprobten in Dänemark „Biomix“ (50 % Stroh, 25 % Torfmull, 25 % Mutterboden) in drei unterschiedlichen Tiefen jeweils vor und nach der Applikation von 5 g Wirkstoff auf die Biobed-Oberfläche. Dabei wurde festgestellt, dass zwar alle untersuchten PSM-Wirkstoffe nach 169 Tagen zu mindestens 50 % abgebaut waren; allerdings wurden relativ große Unterschiede bei den einzelnen DT₅₀-Werten festgestellt (siehe Tab. 6.).

Tab. 6. Halbwertszeiten von PSM-Wirkstoffen in „Biomix“-Versuchen („Biomix“ bestehend aus: 50 % Stroh, 25 % Torfmull, 25 % Mutterboden) (Spliid et al., 2006)

Wirkstoff	DT ₅₀ -Wert	Wirkstoff	DT ₅₀ -Wert
Azoxystrobin	38	Metamitron	18
Bentazon	< 20	Methabenzthiazuron	151
Dimethoat	18	Metribuzin	26
Diuron	108	Pirimicarb	93
Fenpropimorph	84	Propiconazole	160
Kresoxim-methyl	<20	Propyzamide	91
Linuron	90	Prosulfocarb	< 20
MCPA	<20	Terbuthylazin	60
MCPP	<20		

Sowohl Spliid et al. (2006) als auch Henriksen et al. (2003) untersuchten die Frage, inwieweit es durch den Einsatz von Biobeds zu einer Verlagerung von PSM-Wirkstoffen in tiefere Bodenschichten kommen kann. Dazu wurden bei Henriksen et al. (2003) die Aufnahmekapazität einzelner Anlagen mit Hilfe radioaktiv markierter Wirkstoffe (Isoproturon und MCPP) überprüft und die Adsorptions- und Abbauraten bestimmt. Es wurde festgestellt, dass während der Wintermonate 13 % des aufgebrachten MCPP und 1,4 % des aufgebrachten IPU in tiefere Bodenschichten unterhalb der (nach unten nicht abgedichteten) Biobeds versickerten (Sammlung des Perkolats in 60 cm Tiefe unterhalb der Bodenoberfläche). Auch bei den Versuchen von Spliid et al. (2006) wurde, trotz einer Tonauskleidung (10 cm Stärke) des Biobeds, eine

Verlagerung von PSM-Wirkstoffen in tiefere Bodenschichten (> 60 cm) beobachtet. Bei den Untersuchungen wurden 11 der 21 Wirkstoffe im Perkolat in Konzentrationen von 0,4 bis 445 µg/l nachgewiesen.

Ein Kennzeichen von Biobeds ist die Kompostierbarkeit des alten Füllmaterials. Nach Aussage von De Wilde (2007) sind nach rund einem Jahr im Altmaterial fast keine Rückstände mehr nachweisbar. Felgentreu und Bischoff (2006) untersuchten die Möglichkeiten, das Material zu recyceln, und stellten fest, dass mit Ausnahme von Diuron und Isoproturon zunächst alle untersuchten Substanzen am „Biomix“ zu 99,9 % adsorbierten. De Wilde (2007) weist auf die oftmals unklare Rechtslage bzgl. der Entsorgung des Altmaterials hin. Laut Fogg et al. (2004) müssen die Rückstände in Dänemark und Frankreich als „gefährlicher Abfall“ deklariert werden; in Großbritannien stellt ihre Lagerung eventuell einen Verstoß gegen die „Ground Water Regulations“ dar.

Schwierigkeiten in der Praxis treten bei Biobed-Systemen vor allem dadurch auf, dass der Wasserhaushalt schwer regulierbar ist (Torstensson, 2000; Henriksen et al., 2003; Fogg et al., 2004; Spliid et al., 2006; De Wilde et al., 2007). Sowohl ein Austrocknen der obersten Schicht (< 75 % Bodenfeuchte) als auch eine Wassersättigung in tieferen Bereichen vermindert den mikrobiellen Abbau und erhöht damit die Gefahr einer Verlagerung von PSM-Wirkstoffen in tiefere Bodenschichten. Eine Austrocknung in den oberen Schichten wird als besonders problematisch angesehen, weil hier die höchste Abbauleistung stattfindet (Toller und Flaim, 1996; Rose et al.; 2003, Fogg et al., 2004). Nach Erfahrungen von Rose et al. (2003) fördert vor allem eine Abdeckung von Biobeds eine ungünstige Feuchtigkeitsverteilung innerhalb des „Biomixes“. Aufgrund der Schwierigkeiten mit dem „Wasser-Management“ lehnen Fogg et al. (2006) nach unten abgedichtete Systeme ab.

Eine Möglichkeit, die Probleme mit dem Wasserhaushalt von Biobeds zu vermeiden, zeigt Hoof (1994) auf: Hier wurde in drei landwirtschaftlichen Betrieben das PSM-kontaminierte Waschwasser aus der Reinigung von Spritzgeräten jeweils in den betriebseigenen Güllebehälter eingeleitet und mit der Gülle auf die Felder ausgebracht. Allerdings konnte das Abbauverhalten der PSM-Wirkstoffe in der Gülle nicht abschließend geklärt werden. Für die untersuchten drei Betriebe wurden durchschnittliche PSM-Konzentrationen in der Gülle von rund 35 mg/m³ berechnet, was bei einer Ausbringungsmenge von 30 m³ Gülle/ha einer PSM-Menge von rund 1 g/ha entspricht. In Anbetracht dieser sehr geringen Aufbringungsmenge ist

davon auszugehen, dass von dieser Art der Entsorgung von Wasch- und Reinigungswässern keine Gefährdung von Oberflächengewässern oder Grundwasser ausgeht. Im Rahmen des TOPPS-Projektes wird gegenwärtig im Gebiet der Stever-Talsperre erneut die Abbauleistung von zwei neu installierten Waschplätzen mit Anschluss an den betriebseigenen Güllebehälter untersucht (Bockholt und Feuerborn, 2007).

In der Zusammenschau sind verschiedene Vor- und Nachteile von Biobeds hervorzuheben. Als Vorteile sind zu nennen:

- Befüllen und Reinigung der Spritz- bzw. Sprühgeräte kann auf dem Landwirtschaftsbetrieb erfolgen
- Relativ geringer Aufwand für Investition und Unterhaltung
- Systeme sind leicht an die örtlichen bzw. klimatischen Bedingungen anzupassen (Bewuchs, Überdachung).

Nachteile:

- Einige besonders mobile Pestizide (z. B. Bentazon) wurden in einzelnen Versuchen nicht ausreichend zurückgehalten (siehe Fogg et al., 2004; Henriksen et al. 2003), die Halbwertszeiten der Wirkstoffe im „Biomix“ zeigen deutliche Unterschiede (Spliid et al., 2006)
- Wassermanagement entscheidet über die Abbauleistung und die Austragsgefahr; Uneinigkeit herrscht in der Literatur über die Frage, ob aus diesem Grund Abdeckung und Abdichtung von Biobeds sinnvoll ist oder nicht (z. B. Fogg et al., 2004 v. Henriksen et al., 2003)
- Gefahr der Schaffung neuer Kontaminationsquellen durch unzureichend instand gehaltene Biobeds (z. B. Helweg et al., 2002)
- ungleichmäßige Wirkstoffverteilung innerhalb der Biobeds bei befahrbaren Systemen
- Gefahr von Verunreinigung des Füllmaterials durch Motoröl, Hydrauliköl oder Schmierfett
- Bislang wurde nicht untersucht, wie Mikroorganismen in Biobeds auf eventuell verwendete Reinigungssubstanzen reagieren (z. B. „Agroclean“)
- Unklare Rechtslage zum Status des Altmaterials, anfallende Entsorgungskosten daher eventuell schwer bezifferbar.

Unklarheit herrscht in der Bewertung der Abbauleistung von Biobeds. Während z. B. De Wilde et al. (2007) einen Abbau der PSM-Rückstände von 95 bis 99 % als gut bezeichnen,

kritisieren z. B. Rose (2003) und Spliid et al. (2006), dass die Abbauleistung bei den untersuchten Biobeds stets unter 100 % lag.

Neben den klassischen Biobeds existieren ähnliche Systeme, bei denen das kontaminierte Wasser gesammelt und dann einem modifizierten Biobed zugeführt wird. Diese Systeme funktionieren als Biofilter, der in einem geschlossenen Tank installiert ist; als Beispiele sind das sog. Biobac-System des französischen INRA (Institut National de la Recherche Agronomique), das Sentinel-System oder das Phytobac-Verfahren (Fogg et al., 2000; Carter, 2000) zu nennen. Über die Leistungsfähigkeit dieser Filtersysteme, die teilweise auf die Initiative von PSM-Herstellern zurückgehen, sind bisher wenig Untersuchungsergebnisse veröffentlicht worden. Spliid et al. (2006) bescheinigen dem in Belgien im Rahmen des „CleanRegion“-Projektes untersuchten Biofilter ähnlich gute Abbauraten wie einem Biobed. Dies bestätigen auch De Wilde et al. (2007), verweisen aber auf die relativ hohen Investitionskosten. Als Vorteil wird die Möglichkeit angeführt, zusätzlich Ölabscheider zu installieren. Empfohlen werden solche Systeme von De Wilde et al. (2007) für den Einsatz in wärmeren Klimaten, da über die Regulation des Wasserzu- und -ablaufs das Wasser-Management gesteuert werden kann.

Bei dem „Biomassbed“ handelt es sich um eine modifizierte Form des Biobeds; anstatt des „Biomix“ kommen hier landwirtschaftliche Abfallprodukte aus dem Weinanbau oder Schalen von Zitrusfrüchten als Füllmaterial zum Einsatz (Vischetti et al., 2004). Die Abbauraten sind mit denen der herkömmlichen Biobeds vergleichbar. Fait et al. (2007) untersuchten den Einsatz eines Biomassbed-Systems im Weinbau und sprechen von Reinigungsleistungen > 90 %.

Bei dem sog. Phytopur-System werden an Waschplätzen während der Applikationsperiode alle anfallenden Abwässer in einem Sammelbehälter aufgefangen und anschließend mittels einer mobilen Umkehrosmose-Anlage gereinigt (Altmayer et al., 2003). Das gereinigte Wasser kann in die Kanalisation abgeleitet werden, konzentrierte Restmengen (ca. 5 % des Tankvolumens) werden als Sondermüll der thermischen Verwertung zugeführt. Bei Untersuchungen der SLFA Neustadt konnten mit Hilfe des Phytopur-Verfahrens 99 bis 100 % der PSM-Wirkstoffe entfernt werden.

2.3.3 Anschaffung neuer Technik bzw. Nachrüstung

Die Problematik von Punkteinträgen aus Hofabläufen ist eng verknüpft mit dem Stand der Technik der eingesetzten Spritzgeräte (vgl. Codis et al., 2005). Reinigungsarbeiten auf dem Feld setzen beispielsweise voraus, dass das Spritzgerät mit den dafür notwendigen Einrichtungen (Außenwaschvorrichtung, Innenwascheinrichtung, zusätzlicher Wassertank, ggf. Spüllanze für Kanisterspülung etc.) ausgestattet ist. Auch ist bei den neueren Geräten darauf geachtet worden, die technisch bedingte Spritzbrühe-Restmenge im Tank so weit wie möglich zu reduzieren. Herbst und Ganzelmeier (2002) gehen davon aus, dass bei neuer Applikationstechnik, die den gängigen Regularien wie der technischen Standard-Norm EN 12761¹¹ entspricht, sämtliche Bauteile so ausgestaltet sind, dass die Gefahr einer Umweltbeeinträchtigung minimiert ist.

Die Abschreibungsdauer für Feldspritzen liegt bei ca. zwölf Jahren respektive 2500 h Einsatzdauer (KTBL, 2002). Der Umfrage im Auftrag des IVA zufolge waren im Jahr 2002 79 % der Spritzgeräte und 76 % der Sprühgeräte älter als fünf Jahre (Kleffmann, 2002). Eine Außenwaschvorrichtung besaßen demnach (zum Zeitpunkt der Befragung) nur 27 % der Spritzgeräte in Marktfruchtbetrieben; ein zusätzlicher Wassertank war bei 58 % und eine Einrichtung zur Innenreinigung bei 49 % der Spritzen vorhanden. Je nach Betriebsgröße und Auslastung der Geräte ist davon auszugehen, dass ein Teil der Feldspritzen auch 15 bis 20 Jahre lang eingesetzt wird.

Hellemanns (2001) hat für ein belgisches Obstanbaugebiet festgestellt, dass dort der Einsatz veralteter Pflanzenschutztechnik eng mit der Betriebsstruktur zusammenhängt. Vor allem ältere Betriebsleiter mit relativ kleinen Betrieben ohne Betriebsnachfolger tätigten üblicherweise keine Investitionen mehr in neue Pflanzenschutztechnik.

Mit Investitionszuschüssen bzw. Förderprogrammen kann ein Anreiz für Einzelbetriebe geschaffen werden, veraltete Spritzgeräte nachzurüsten oder durch moderne Geräte zu ersetzen. Mit der EU-Verordnung EG Nr. 1257/1999¹² steht ein konzeptioneller und rechtlicher Rahmen zur Verfügung, Agrarinvestitionen zu fördern. Auf Grundlage dieser Verordnung besteht

¹¹ EN 12761 Sprayer and liquid fertilizer distributors – Environmental protection

¹² Verordnung EG Nr. 1257/1999 des Rates vom 17.05.1999 über die Förderung und Entwicklung des ländlichen Raumes durch den Europäischen Ausrichtungs- und Garantiefonds für die Landwirtschaft (EAGLF) und zur Änderung bzw. Aufhebung bestimmter Verordnungen, Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften, L160/80.

seit 2001 das sog. Agrarinvestitionsförderprogramm (AFP), welches Investitionshilfen zur Modernisierung und größeren Wirtschaftlichkeit von Landwirtschaftsbetrieben bereitstellen soll. Dirkmeyer et al. (2006) haben die Umsetzung des AFP in Deutschland untersucht und stellten fest, dass in den Jahren 2000 bis 2004 80 % aller Förderfälle Bauvorhaben betrafen. Inwieweit sich die Möglichkeit, in den Jahren 2003 bis 2006 einen Zuschuss für Fördertatbestände mit Umweltbezug zu erhalten, auf die Investition in neue Pflanzenschutztechnik ausgewirkt hat, ist nicht bekannt. Eine entsprechende Ausgestaltung dieses Förderprogramms bzw. eine aktivere Bewerbung der Fördermöglichkeit für Investitionen in neue Gerätetechnik könnte dazu beitragen, die Übernahme innovativer Pflanzenschutztechnik in die Landwirtschaftsbetriebe in Zukunft zu beschleunigen.

Ein anderer Ansatzpunkt, den Einsatz veralteter Spritz- und Sprühgeräte zu unterbinden, ist die Förderung des überbetrieblichen Maschineneinsatzes im Pflanzenschutz oder die Erledigung der Pflanzenschutzarbeiten durch einen Lohnunternehmer. Im überbetrieblichen Maschineneinsatz entstehen Einsatzkosten für Pflanzenschutzspritzgeräte von 4 bis 14 €/ha (Taschenbuch Landwirtschaft 2002/2003); die Arbeitserledigung komplett (Traktor, Maschine, Fahrer) im Fremdauftrag vergeben wird mit 12 bis 23 €/ha veranschlagt (KTBL, 2002). Der Wechsel von Betriebsinhabern mit veralteter Technik zu diesen Formen der Pflanzenschutz erledigung könnte gleichfalls durch finanzielle Förderprogramme beschleunigt werden.

Eine regelmäßige Funktionskontrolle der Spritz- und Sprühgeräte, wie sie in der Bundesrepublik bereits durchgeführt wird¹³, bewerten einige Autoren wie Braekman et al. (2002) und Reichenberger et al. (2006) als wichtiges Instrument zur Beschleunigung der Einführung technischer Neuerungen in den Gerätebestand.

2.3.4 Ordnungsrechtliche Maßnahmen zur Einhaltung von Handlungsvorschriften

Die meisten der Arbeitsschritte, bei denen es zu einer Freisetzung von PSM im Hofbereich kommen kann, werden im Rahmen von Handlungsvorschriften reglementiert; für einige wenige (wie die Außenreinigung von Traktoren) ist dies nicht der Fall. In Deutschland sind diese Handlungsvorschriften in den Grundsätzen der „guten fachlichen Praxis“ zusammengefasst (BMELV, 2005). Standards mit vergleichbaren Regelungsinhalten existieren auch in

¹³ Pflichtkontrollen für Feldspritzen gibt es auch in Dänemark (nicht bußgeldbewehrt), Polen und Ungarn (seit 2003) sowie auf freiwilliger Basis in Finnland, Norwegen, Schweden und der Schweiz (Ganzelmeier, 2005).

den Niederlanden, in Dänemark, England und Schweden (Nitsch und Osterburg, 2004). Trotz einiger Regelungslücken gehen Autoren wie De Wilde et al. (2007) und Higginbotham (2001) davon aus, dass bei einer Beachtung der jeweiligen Handlungsvorschriften durch die Landwirte die Gewässereinträge aus Hofabläufen vollständig oder doch zumindest weitestgehend unterbunden werden könnten.

Die Vermutung, dass sich auch in Deutschland die Anwender nicht immer an die Handlungsvorschriften der guten fachlichen Praxis halten, wird gestützt durch die Ergebnisse einer Feldstudie des Umweltbundesamtes zur Anwendung von PSM in der Landwirtschaft in den Jahren 2004 und 2005 (UBA, 2006). Durch unangekündigte Feldbeobachtungen sollten dabei empirische Daten zum (Fehl-)Verhalten bei der PSM-Anwendung erhoben werden (Arbeitsschritte auf dem Hof wurden nicht erfasst). Die nicht-repräsentativen Zwischenergebnisse der Studie, die im Januar 2006 veröffentlicht wurden, weisen immerhin auf eine Fehlanwendungsquote von etwa 50 % hin. Die bis zu diesem Zeitpunkt erhobenen Daten deuteten auf ein derart hohes Fehlverhalten der Landwirte im Umgang mit PSM hin, dass die Durchführung weiterer, bis 2007 ursprünglich geplanter Beobachtungen zur Gewinnung repräsentativer Ergebnisse gestoppt wurde (UBA, 2006). Weiterhin unterstreichen die Ergebnisse der IVA-Befragung zum Umgangsverhalten der Landwirten mit PSM (Kleffmann, 2002), dass in einer nicht unbeträchtlichen Zahl von Fällen infolge von Unachtsamkeit (z. B. Überlaufen der Spritze, Verschütten von Präparat) oder technischen Problemen (Undichtigkeit, Leckagen) PSM im Hofbereich freigesetzt werden.

Bei derartigen Verstößen gegen die gute fachliche Praxis besteht für die Aufsichtsbehörden die Möglichkeit, mit ordnungsrechtlichen Maßnahmen zu reagieren. Nach §§ 40 Abs. 2 i. V. m. 49 Abs. 1 PflSchG¹⁴ können bei Nichteinhalten der Handlungsvorschriften im Einzelfall Bußgelder bis 50 000 Euro verhängt werden. Seit dem 01.01.2006 wurden die Sanktionsmöglichkeiten noch verschärft, indem von diesem Zeitpunkt an Verstöße zu einer Kürzung der EU-Direktzahlungen führen können.¹⁵ Laut Nitsch und Osterburg (2004) werden in der Praxis in der weit überwiegenden Zahl der Fälle (aufgrund des damit verbundenen enormen verwaltungstechnischen Aufwandes) ausschließlich Anlasskontrollen in Verdachtsfällen

¹⁴ Gesetz zum Schutz der Kulturpflanzen in der Fassung der Bekanntmachung vom 14.05.1998, BGBl. I, S. 971, zuletzt geändert durch Artikel 1 des Gesetzes vom 5. März 2008, BGBl. I S. 284.

¹⁵ Die Einhaltung der guten fachlichen Praxis als Fördervoraussetzung bestimmt z. B. die Verordnung (EG) Nr. 1257/1999 des Rates vom 17. Mai 1999 über die Förderung der Entwicklung des Ländlichen Raums durch den europäischen Ausrichtungs- und Garantiefonds für die Landwirtschaft (EAGFL).

vorgenommen.¹⁶ Über die Zahl der festgestellten Verstöße lassen die zuständigen Behörden bislang nichts verlauten.

In diesem Kontext stellt sich zunächst die Frage, warum die Handlungsvorschriften der guten fachlichen Praxis offensichtlich zumindest teilweise nicht beachtet werden. Gründe dafür können im Unverständnis für ungewohnte – aus Sicht der Anwender möglicherweise „unpraktische“ – Arbeitsabläufe liegen. Diesen Schluss ziehen bspw. Altmayer et al. (2003), die speziell die Situation in Weinbaugebieten untersucht haben. Nach Aussage der Autoren werden „umständliche“ Regeln der guten fachlichen Praxis, deren Umsetzung zeitintensiv ist, von den Weinbauern oftmals nicht befolgt. Dies gilt vermutlich auch für die Vorschrift, die Spritzenreinigung auf dem Feld auszuführen, insbesondere dann, wenn das Applikationsgerät keinen Klarwasserbehälter hat. Auch die IVA-Befragung zeigte auf, dass (Bezugsjahr 2002) 84 % der Befragten ihre Geräte nicht, wie von der guten fachlichen Praxis gefordert, auf dem Feld, sondern auf dem Hof reinigten (Kleffmann, 2002). Ein weiteres Beispiel für möglicherweise „unpraktikable“ Vorschriften ist die Anforderung der guten fachlichen Praxis, dass „Wartung und Pflege von Anwendungsgeräten auf einer Anwendungsfläche“ erfolgen soll (Ausnahme ist das Durchführen dieser Arbeiten auf einer befestigten Fläche mit Schmutzwasserfang, BMELV, 2005, S.33).

Auch ungenaue Formulierungen in den Grundsätzen der guten fachlichen Praxis, die dem Anwender Interpretationsspielraum eröffnen, können in der Praxis möglicherweise Fehler begünstigen. Ein Beispiel dafür ist der Hinweis, dass Geräte beim Befüllen „zu beaufsichtigen“ sind (BMELV, 2005, S. 32): Es bleibt offen, ob diese Aufsichtspflicht auch beispielsweise das Bereithalten saugfähiger Materialien umfasst, um verschüttete Spritzbrühe aufzunehmen. Weiterhin ist auch nicht klar geregelt, wo das Befüllen stattfinden soll.

In der Gesamtschau ist festzuhalten, dass Fehler bzw. Unfälle bei der Handhabung von Präparaten und Spritzen auf dem Hof in erster Linie auf mangelnde Sorgfalt zurückzuführen sind. Die dadurch verursachten Gewässereinträge wären daher grundsätzlich relativ einfach zu vermeiden bzw. zu beheben, indem die Anwender alle anfallenden Arbeiten mit der erforderlichen Aufmerksamkeit und Sorgfalt durchführen und strikt darauf achten, Fehler zu vermeiden, worauf u. a. auch Rose et al. (2003) hinweisen. Eine derartige Verhaltensänderung

¹⁶ Ausnahmen bilden Kontrollen nach Förderrecht, wonach jährlich 5 % aller betroffenen Betriebe kontrolliert werden sollen.

lässt sich allerdings nicht mit einer Verschärfung des Ordnungsrechts erreichen, wodurch die Betroffenen sich „kriminalisiert“ fühlen und dementsprechend ablehnend reagieren. Nachhaltige Verhaltensänderung bedarf langfristiger Überzeugungsarbeit, die schließlich eine Verhaltensänderung infolge eines Wandels der inneren Einstellung einer Person (im Sinne eines Wertewandels) bewirkt. Nebenbei bemerkt existiert in Deutschland keine Verpflichtung, den obligatorischen Sachkundenachweis, den jeder Landwirt erbringen muss, um mit PSM zu hantieren, nach einer gewissen Frist zu erneuern bzw. die dort vermittelten Kenntnisse aufzufrischen. Bei immerhin rund 50% der Teilnehmer an der repräsentativen IVA-Studie aus dem Jahre 2002 lag der Erhalt des Sachkundenachweises mehr als 20 Jahre zurück (Kleffmann, 2002).

Feather und Anmacher (1994) haben in den USA im Zusammenhang mit der Vermittlung der „best management practices“ die Rolle untersucht, die der umfassenden Aufklärung der Landwirte über die Bedeutung von Maßnahmen zum Gewässerschutz zukommt. Sie gehen ebenfalls davon aus, dass die gezielte Information und Schulung der Anwender im Endeffekt nicht nur wirksamer, sondern auch kostengünstiger ist als ein rein ordnungsrechtliches Vorgehen. Jaeken und Debaer (2005) sprechen sogar davon, dass der alleinige Fokus auf die Einhaltung bestimmter Grenzwerte und daraus abgeleitete Handlungsbeschränkungen an der Realität vorbeigeht. Sie schlagen in jedem Fall ein gemeinsames Vorgehen der Interessensvertreter aus Industrie, Landwirtschaft, Umweltverbänden und Behörden sowie das Erarbeiten standortangepasster Lösungen vor.

Unbeschadet dieser Schlüsse kann es in Ausnahmefällen angebracht sein, auf ordnungsrechtliche Sanktionen zurückzugreifen. Foppe und Kunisch (1994) erwähnen das erfolgreiche Vorgehen der Überwachungsbehörde im Falle zweier Lohnunternehmer im Einzugsbereich der Stever-Talsperre, die als Verursacher namhafter PSM-Einträge aus deren Betriebsbereich identifiziert worden waren. Nachdem zunächst auch nach persönlicher Ansprache der Verantwortlichen keine Verhaltensänderung festgestellt worden war, wurde die Einleitung der Hofentwässerung über die vorhandene Kanalisation untersagt und angeordnet, dass das anfallende Reinigungswasser aufzufangen und fachgerecht zu entsorgen ist; außerdem wurden entsprechende Nachweise des Reinigungserfolgs angefordert.

2.3.5 Modifikation beim Umgang mit Präparaten auf der Hoffläche

Um eine unbeabsichtigte Freisetzung von PSM-Wirkstoffen auf dem Hof zu verhindern, schlagen verschiedene Autoren weitere Maßnahmen im Zusammenhang mit der Handhabung von PSM-Präparaten auf Hofflächen vor. Carter (2000) erkennt bei der Verpackung von PSM noch Optimierungsbedarf und schlägt Modifikationen bei den Verschlusssystemen und der Größe von Verpackungseinheiten vor. Im Rahmen der „Voluntary Initiative“ wurde im Einzugsgebiet des Cherwell (UK) die Verbrennung restentleerter Verpackungseinheiten propagiert (Humphrey et al., 2007). Carter (2000) schlägt außerdem ein einheitliches Rücknahmesystem für leere Verpackungsbehälter vor, wie es in Form des PAMIRA-Systems (s. Punkt 2.1) in Deutschland bereits existiert. Mills-Thomas et al. (1998) setzen dagegen auf eine Ausweitung von Pfandsystemen.

Als eine andere Möglichkeit wird die Einfärbung von PSM-Wirkstoffen vorgeschlagen, um eine Verunreinigung von Oberflächen auf Applikationsgeräten und Traktoren sichtbar zu machen. Peschka et al. 2006 empfehlen generell die Entwicklung „umweltverträglicherer“ PSM, um die Anwendung hochpolarer, schwer abbaubarer Substanzen zu minimieren.

2.3.6 Abwasserbehandlung

De Wilde et al. (2007) schlagen die Reinigung kontaminierter Hofabwässer in kommunalen Kläranlagen vor. Zum einen wäre dies aber nur für diejenigen Regionen relevant, in denen die Hofentwässerung an das öffentliche Kanalnetz angeschlossen ist; zum anderen ist bekannt, dass in Kläranlagen mit dem üblichen Stand der Technik der Abwasserbehandlung die meisten PSM-Wirkstoffe nicht nennenswert abgebaut werden (siehe dazu Kap. 2.4). Carter (2000) schlägt vor, die Entwässerung von Hofflächen technisch grundsätzlich so zu gestalten, dass das aufgefangene Wasser nicht in einen Vorfluter gelangt (weder direkt noch über eine Kläranlage), sondern auf dem Feld versickert oder in einem Güllebehälter aufgefangen wird.

Eine andere Möglichkeit besteht darin, die Hofabwässer aufzufangen und im Betrieb zu behandeln (Hoof, 1994; Wen, 2002). Dies könnte entweder mit Hilfe der bereits beschriebenen Biofilter-Systeme (siehe Abschnitt 2.3.2) oder mit Verfahren geschehen, die in der Abwassertechnik bekannt und erprobt sind, wie unter anderem Aktivkohlefilter, Ozonierung oder die Behandlung mit H₂O₂/UV. Dem stehen jedoch unter anderem die hohen Investitions- und Verfahrenskosten entgegen. Bernecker (1999) hat sich mit dem Abbau von Insektiziden (Imi-

dacloprid und Pirimicarb) bei Prozessen der chemischen Nassoxydation beschäftigt. Als Vorteil dieses vergleichsweise kostenintensiven Verfahrens wird hervorgehoben, dass keine kontaminierten Schlämme bzw. Konzentrate anfallen.

2.3.7 Auswahl geeigneter Maßnahmen

Welche der vorstehend beschriebenen Maßnahmen den besten Weg darstellen, Punkteinträge nachhaltig zu reduzieren, kann nicht pauschal beurteilt werden. In vielen Fällen werden integrierte Ansätze, die mehrere Maßnahmen kombinieren, den größten Erfolg versprechen. Der Auswahl von Minderungsstrategien für ein konkretes Gebiet sollte in jedem Fall eine genaue Analyse der örtlichen Verhältnisse vorausgehen (u. a. zum Ausmaß der Punkteinträge, Ausstattung der Landwirtschaftsbetriebe, vorhandene Beratungsstrukturen etc.). Bei der Zusammenstellung eines Maßnahmenpakets sind weiterhin das Kosten-Nutzen-Verhältnis und die Praktikabilität der Einzelmaßnahmen zu berücksichtigen. Der Erfolg von Minderungsstrategien hängt schließlich auch vom Zusammenspiel der beteiligten Interessengruppen ab (Landwirte/Anwender, öffentliche Verwaltung, Industrie, Wasserversorger, Wissenschaft, Umweltverbände, Öffentlichkeit). Eine zusammenfassende Bewertung von Minderungsmaßnahmen gibt die nachstehende Tab. 7.

Tab. 7. Zusammenfassende Bewertung von Minderungsstrategien (in Anlehnung an Reichenberger et al., 2006; ergänzt)

Maßnahme	Minderungswirkung	Bewertung
Informations-, Aufklärungskampagnen, Bewusstseinsbildung	potenziell sehr hoch	Zielgruppenerreichung unter Umständen schwierig; langfristige Ausrichtung nötig
obligatorische Anwenderschulung	potenziell hoch	Widerstände der Betroffenen gegen „Zwangsmaßnahmen“ zu erwarten
Befüllen und Reinigen der Spritzgeräte auf speziellem Waschplatz mit Biobed oder Biofiltersystem	sehr hoch	Kosten für Anlage und Unterhaltung; möglicherweise Grundwassergefährdung; Gefahr von Leckagen; Entsorgung des Filtermaterials ungeklärt
Befüllen und Reinigen der Spritzgeräte auf speziellem Waschplatz mit Anschluss an Güllebehälter	sehr hoch	ggf. Kosten für Einrichtung; nur in Betrieben mit Güllebehälter möglich
Befüllen der Spritzgeräte ausschließlich auf dem Feld	sehr hoch	Alternative zum Waschplatz mit Biobed od. Güllebehälter; erfordert ggf. Wasserwagen/-tank auf dem Feld; Gewässergefährdung bei Wasserentnahme aus Oberflächengewässer
Reinigen der Spritzgeräte ausschließlich auf dem Feld	sehr hoch	Alternative zum Waschplatz mit Biobed od. Güllebehälter; setzt Spritzgerät mit Einrichtung für Innen- und Außenreinigung voraus
Investitionshilfen zur Anschaffung moderner Sprizentechnik bzw. Nachrüstung	technische Voraussetzung für Durchführung der Reinigungsarbeiten auf dem Feld	hoher finanzieller Aufwand
überbetriebliche Nutzung von Spritzgeräten und/oder betriebsübergreifende Erledigung des Pflanzenschutzes	mäßig – hoch	Voraussetzung: Verwendung moderner Spritzgeräte; evtl. Akzeptanzprobleme bei Landwirten (Befürchtung: PS-Behandlung wird nicht termingerecht durchgeführt)
Erledigung des Pflanzenschutzes durch Lohnunternehmer	hoch – sehr hoch	Voraussetzung: Verwendung moderner Spritzgeräte; Sorgfalt des Lohnunternehmers muss gewährleistet sein; Reduzierung der Befüll- und Reinigungsvorgänge
Einführung eines flächendeckenden Container-Mehrwegsystems	mäßig	Wirkstoff-Freisetzung durch Kanisterspülung od. Leckagen bei der Lagerung leerer Verpackungen eher von untergeordneter Bedeutung
Rücknahmesystem für leere Verpackungen	mäßig	PAMIRA in Deutschland bereits eingeführt. Wirkstoff-Freisetzung durch (unsachgemäße) Lagerung leerer Verpackungen eher von untergeordneter Bedeutung
Abwasserbehandlung (im Betrieb)	gering (mit konventioneller Technik), hoch (mit Aktivkohle, Ozonierung oder UV-Behandlung)	sehr hoher finanzieller Aufwand für Anlage und Unterhaltung; Technik für Kleinanlagen möglicherweise nicht ausgereift

2.4 Bisherige Untersuchungen von Kläranlagen in Deutschland auf PSM-Rückstände

Der Stand des Wissens über die Größenordnung und die regionalen Schwerpunkte punktueller PSM-Einträge in Deutschland ist lückenhaft. Um die Bedeutung von Punktquellen zu erfassen, kommen unterschiedliche Untersuchungsansätze in Betracht. Da eine Beprobung der einzelnen Abläufe von befestigten Hofflächen von Landwirtschaftsbetrieben in den Vorfluter in größerem Maßstab sehr aufwändig ist, werden in Deutschland momentan Untersuchungen zu Punkteinträgen hauptsächlich in Gebieten durchgeführt, in denen die Hofentwässerung der einzelnen Landwirtschaftsbetriebe an eine Kläranlage angeschlossen ist. Ein derartiger Ansatz bietet die Möglichkeit, über die Beprobung der Abläufe einer Kläranlage die Menge der PSM-Einleitungen aus den Hofabläufen als primären Punktquellen mit vertretbarem Untersuchungsaufwand zu erfassen.

Die Entwässerung der befestigten Flächen von Landwirtschaftsbetrieben kann grundsätzlich auf verschiedene Arten erfolgen:

1. Hoffläche – Kanal – Kläranlage – Vorfluter (Mischkanalisationssystem)
2. Hoffläche – Trennkanal – Vorfluter (Trennkanalisationssystem)
3. Hoffläche – betriebseigene Auffangeinrichtung (z.B. Güllegrube) – Landwirtschaftsflächen (Versickerung)
4. Hoffläche – Direkteinleitung in nächstgelegenen Vorfluter.

Die jeweils regional vorherrschende Entwässerungssituation hängt von den naturräumlichen Gegebenheiten sowie von der Lage des Betriebes im Siedlungsgefüge (innerorts, außenliegend) ab. Huber (1998) unterscheidet zwischen sog. Haufendörfern mit Landwirtschaftsbetrieben innerhalb geschlossener Ortslagen, Weilern, Einzelgehöften und Streusiedlungen. In Verbindung mit der entsprechenden, historisch gewachsenen Entwässerungstechnik ergibt sich der Anschlussgrad der Landwirtschaftsbetriebe in einer Region an das Kanalisationssystem bzw. an eine Kläranlage. In den vergangenen 15 Jahren sind in Deutschland rund ein Dutzend Untersuchungen durchgeführt worden, in denen der Ablauf von Kläranlagen auf PSM aus der Landwirtschaft beprobt worden ist. Aufgrund der regionalen Unterschiede der Siedlungs- und Entwässerungsstruktur beschränken sich diese Untersuchungen bislang auf

Süd- und Westdeutschland (s. Abb. 6), für die östlichen Bundesländer sowie für Niedersachsen und Schleswig-Holstein sind keinerlei Ergebnisse zur Bedeutung von PSM-Punktquellen vorhanden.

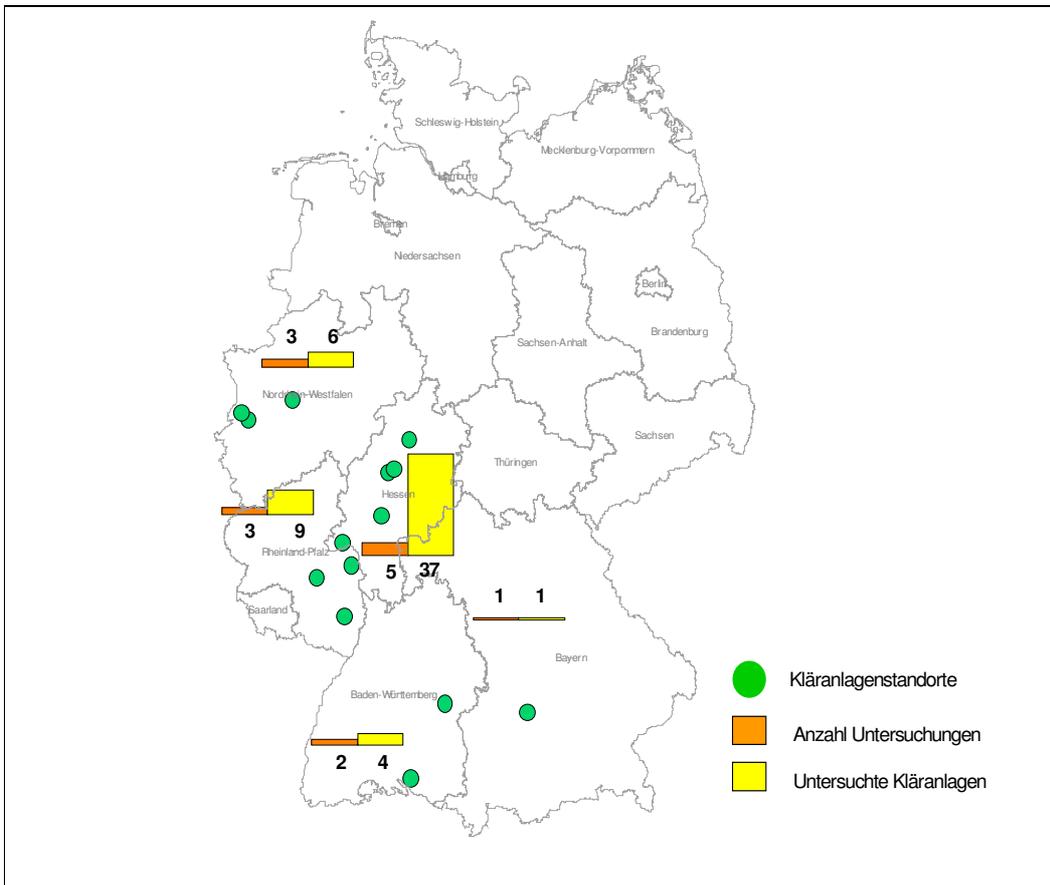


Abb. 6. Verteilung von Untersuchungen zur PSM-Fracht aus Kläranlagen im Bundesgebiet (eigene Darstellung)

Bei den meisten dieser Untersuchungen wurde die potenzielle Elimination von PSM-Wirkstoffen in den beprobten Kläranlagen nicht berücksichtigt. Dabei beziehen sich die meisten Autoren methodisch unter anderem auf die Arbeit von Seel et al. (1994), in der zwar ein gewisser Rückhalt von Wirkstoff in Kläranlagen festgestellt wurde, der in der Gesamtschau aber als vernachlässigbar eingestuft worden ist. Die Frage, in welchem Umfang in Kläranlagen, die dem heutigen Stand der Technik entsprechen, ein Rückhalt (durch Abbau und Sorption) von PSM-Wirkstoffen stattfindet, ist aufgrund der geringen Zahl von Untersuchungen nicht eindeutig zu beantworten (Bach et al., 2000). Die Ergebnisse der verfügbaren Studien zeigen, dass das Abbaupotenzial in hohem Maße von den Stoffeigenschaften abhängig

ist, übereinstimmende Angaben verschiedener Autoren zu Eliminationsraten liegen bis zum heutigen Zeitpunkt nicht vor (vgl. Seel et al., 1994 und 1996a, Hoof, 1994, Klein, 1998). Linneweber (1997) untersuchte Zu- und Ablaufproben der Kläranlage Hattingen auf PSM-Rückstände. Bei hohen Zulauffrachten wurden bei 30 untersuchten PSM-Wirkstoffen für Einzelsubstanzen Eliminationsraten von 25 bis 45 % festgestellt, die auf Sorptionsvorgänge an Schlamm- und Feststoffpartikel zurückgeführt wurden, jedoch bei geringen Zulauffrachten – vermutlich aufgrund der damit verbundenen längeren Aufenthaltszeit des Abwassers in der Kläranlage – nicht reproduziert werden konnten. Altmayer und Twertek (2001) konnten während einer zwölfstündigen Verweildauer des Abwassers in zwei untersuchten Kläranlagen in der Vorderpfalz keine nennenswerte Verminderung der PSM-Fracht feststellen. In einer älteren Studie untersuchten Hill et al. (1986) u. a. das Verhalten MCPP und 2,4 DP im Belebtschlamm und stellten keinerlei Abbau dieser Substanzen während des Klärvorgangs fest. Nitschke et al. (1999) untersuchten das Abbauverhalten von MCPP, Isoproturon, Terbutylazin und Metamitron im Belebtschlamm und fanden dagegen einen vollständigen Abbau von MCPP, während die übrigen Wirkstoffe die Kläranlage in unveränderter Menge passierten.

Ein anderes Manko der meisten Untersuchungen betrifft die eingeschränkte Erfassung der Abflusssituation: In fast allen Fällen wurde ausschließlich die PSM-Fracht im Trockenwetterabfluss der Kläranlagen gemessen. Mischkanalisationssysteme bzw. Kläranlagen, die an ein Mischkanalisationssystem angeschlossen sind, verfügen jedoch stets über sog. Regenentlastungsbauwerke: Diese Einrichtungen sorgen dafür, dass bei stärkeren Niederschlägen diejenige Abflussmengen, die von der Kläranlage nicht mehr aufgenommen werden können, entweder direkt in einen Vorfluter oder in ein Regenüberlaufbecken geleitet werden. Die PSM-Frachten aus diesen Teilströmen des Kanalisationsnetzes werden bei der gängigen Messstrategie (Installation eines Probenehmers im Ablauf der Anlage) nicht erfasst. Als einzige Ausnahmen sind die Untersuchungen von Müller et al. (1998) und Neumann et al. (2002) zu erwähnen. Von Müller et al. (1998) wurden für das Einzugsgebiet der Kläranlage Hachborn (Hessen) über die gesamte Untersuchungsperiode sowohl der Kläranlagenablauf als auch die Regenüberlaufbecken im Einzugsgebiet beprobt. Die Ergebnisse von Neumann et al. (2002) zeigen, dass dort fast 20 % der PSM-Gesamtfracht im Gewässer aus den Regenentlastungen stammten. In dieser Untersuchung wurde einer Wirkstoffgesamtfracht von rund 80 g pro Landwirtschaftsbetrieb im Einzugsgebiet ermittelt, ein im Vergleich zu anderen Untersuchungen hoher Wert (vgl. Tab. 8).

Bei der Analyse der Untersuchungen, die in der Vergangenheit in Deutschland stattgefunden haben, ist festzuhalten, dass die Auswahl der untersuchten Kläranlagen nicht systematisch erfolgte. Die Auswahl der Anlage(n) sowie das Beprobungsdesign orientierten sich an der jeweiligen Fragestellung des einzelnen Projektes, eine repräsentative Übersicht zur Situation der PSM-Punktquellen in Deutschland kann auf dieser Basis nicht gewonnen werden. Maßgebliche Unterschiede zwischen den einzelnen Studien betreffen unter anderem folgende Bereiche:

- Anzahl bzw. Spektrum der analysierten Wirkstoffe (Herbizide, Insektizide, Fungizide)
- Anbauverhältnisse im Einzugsgebiet der Anlage (vorherrschende Kulturarten, Sonderkulturen)
- Untersuchungsjahr (Witterungsverlauf, Häufigkeit von PSM-Behandlungen, Marktanteil verschiedener Präparate, spezifischer Unkrautdruck bzw. Befallsituation im Einzeljahr)
- Dauer der Beprobungsperiode (ganzjährig, saisonal)
- Beprobungsstrategie und Probenahmetechnik (Zahl und Häufigkeit von Stichproben oder kontinuierliche Sammelprouben; zeitproportionale, abflussproportionale oder ereignisbezogene Probenahme)
- bei Stichproben: Verfahren zur Hochrechnung auf Periodenfracht (proportional zur Untersuchungszeit oder zum Ablaufvolumen der Kläranlage).

Hinzu kommt, dass in den letzten 15 Jahren die Nachweisempfindlichkeit der Pestizid-Analytik, vor allem durch die Einführung der LC-MS/MS-Methodik, erheblich verbessert werden konnte (vgl. Oechslin et al., 2002).

Tab. 8 und Tab. 9 geben eine Übersicht über alle Untersuchungen in Deutschland, deren Ergebnisse in den vergangenen Jahren in allgemein zugänglichen Quellen veröffentlicht wurden, die Zahl der insgesamt durchgeführten Studien liegt möglicherweise darüber. Bei den in Tab. 8 und 9 aufgeführten Studien wurde außerdem auf diejenigen verzichtet, die nur einen sehr geringen Analysen- bzw. Stichprobenumfang hatten, sowie auf jene, bei denen keine Fracht ermittelt werden konnte. Für jedes der dargestellten Kläranlagen-Einzugsgebiete wurden ergänzende Erhebungen zur Struktur der angeschlossenen Landwirtschaftsbetriebe, zum Anbauspektrum, zur Spritzenausstattung sowie zu der Abflusssituation der Anlage im Untersuchungszeitraum mit dem Ziel durchgeführt, eine möglichst einheitliche Datengrundlage zu erhalten. Neben der PSM-Gesamtfracht wird die Wirkstofffracht (summiert über den gesam-

ten Beprobungszeitraum) pro Landwirtschaftsbetrieb im Einzugsgebiet der Kläranlage als wesentliche Aussagegröße interpretiert.

Tab. 8. Untersuchungen von Kläranlagen-Abläufen in **Ackerbau**gebieten in Deutschland

Quelle	Region	Anzahl der untersuchten KA	Zeitraum	Beprobung	Anzahl Proben pro KA	Anzahl analysierte Wirkstoffe und Metaboliten	Dauer der jeweiligen Messperiode [d]	Anzahl angeschlossener Betriebe [Summe]	PSM-Fracht pro Betrieb [g pro Untersuchungsperiode] ^a
Seel et al. (1994)	Mittelhessen Nidda-EZG	22	04/94–05/94	1d Stichproben	37	33	3 Perioden: 36 4 262	1474	Mittel: 30,9 Min: 0,2 Max: 98,0
Honnen et al. (1997)	Schwäbische Alb	1	06/95–05/96	7d (tlw. 14d) Mischproben	42	7	365	19	2,7
Fischer 1996 und Fischer et al. (1998)	Mittelhessen	3	09/96–11/96	3d Mischproben	31	6	90	100	Mittel: 12,7 Min: 9,9 Max: 15,0
Nitschke und Schüssler (1998)	Ländl. KA Bayern	1	03/96–02/97	14d Mischproben	26	8	365	61	13,8
Müller et al. (1998)	Hachborn	1 (mit RÜB ^b)	03/97–05/98	1d, 3d, 7d Mischproben	264 (und 67 RÜB)	18	448	164	24,4
Neumann et al. (2002)	Kreis Viersen, NRW	1 (mit RÜB ^b)	05/98–07/98	ereignisabhg. Beprobung, 24h Mischp.	15	20	70	25	76,1
Rott und Schlichtig (2003), Schlichtig et al. (2001)	Seefelder Aach	3	05/99–05/00	2d, 3d, 7d Mischproben	124	37	365	566	Mittel: 6,5 Min: 2,8 Max: 14,1
Ilttel und Sälzer (2004)	Rhein Hessen Hahnheim	1	05/03–10/03	14d Mischproben	13	43	98	182	15,3
Ilttel und Sälzer (2006)	Rhein Hessen	4	03/03–06/03	14d Mischproben	7	43	97	312	Mittel: 12,4 Min: 8,0 Max: 27,2

a) Ohne Diuron, Glyphosat und AMPA

b) RÜB: Regenüberlaufbauwerke

Tab. 9. Untersuchungen von Kläranlagen-Abläufen in **Weinbaugebieten** in Deutschland

Quelle	Region	Anzahl der untersuchten KA	Zeitraum	Beprobung	Anzahl Proben pro KA	Anzahl analysierte Wirkstoffe und Metabolite	Dauer der jeweiligen Messperiode [d]	Anzahl angeschlossene Betriebe [Summe]	PSM-Fracht pro Betrieb [g pro Untersuchungsperiode] ^a
Altmayer und Twertek (2001)	Vorderpfalz	2	06/98–12/00	täglich, 24h-Mischprobe	943	20	943	547	Jeweils auf ein Jahr umgelegt: 11,45 und 12,75
Gabriel und Seel (2004)	Rheingau	4	05/03–09/03	15 7d Mischproben und 1 Stichprobe nach Regen	16+1	18	105	543	Mittel: 8,7 Min: 2,6 Max: 9,7
Ittel und Sälzer (2006)	Rheinhessen Weisenheim	1	03/03–06/03	14d Mischproben	15	43	97	241	13,0

a) Ohne Diuron, Glyphosat und AMPA

Zunächst ist festzustellen, dass in sämtlichen Untersuchungen PSM-Rückstände in nicht unerheblichem Maß in den Abläufen der untersuchten Kläranlagen gefunden wurden. In den vorliegenden Untersuchungen reicht die Spanne der Messergebnisse zur rechnerischen Wirkstoff-Gesamtfracht pro Betrieb während der jeweiligen Untersuchungsperiode von 2,7 bis 98 g in Ackerbau-Regionen und von 8,7 bis 13 g in Weinbauregionen (siehe Tab. 8 und 9).

Im Gesamtdurchschnitt aller in Tab. 8 dargestellten Untersuchungen in Ackerbauregionen betrug die Fracht pro Betrieb und Jahr (bzw. Messperiode) 24,1 g. Allerdings ist ein solcher Mittelwert für die weitere Diskussion nur bedingt hilfreich, da die Einzelwerte teilweise sehr weit auseinanderliegen: Während z. B. in der Schwäbischen Alb 2,7 g errechnet wurden, waren es in der Kläranlage (KA) Düren 76 g. Auch die Ergebnisse der 22 KA in Hessen (Seel et al. 1994) weisen starke Unterschiede auf, obwohl in dieser Region agrarstrukturelle Unterschiede zwischen den Einzugsgebieten der KA nur eine untergeordnete Rolle spielen und ein identisches Beprobungsschema zum Einsatz kam. Die berechneten Gesamtwirkstoff-Frachten pro Landwirtschaftsbetrieb und Untersuchungsperiode liegen dort zwischen 0,2 und 98,0 g (Mittelwert rund 30 g).

Die langfristige Entwicklung der Kläranlagenfrachten lässt keinen Trend erkennen: betrachtet man die Frachtergebnisse jeweils gemittelt über alle Untersuchungen eines Jahres im Zeitablauf, dann ist keine eindeutige Zu- oder Abnahme der Frachten festzustellen.

An dieser Stelle ist eine relativ umfangreiche Untersuchungsreihe des HLUg zu erwähnen, die aufgrund ihres Beprobungsdesigns nicht in die Auswertung (Tab. 8) aufgenommen werden konnten, da keine Frachtberechnungen möglich sind. Im Jahr 1999 wurden in Hessen 106 Kläranlagen auf PSM-Rückstände untersucht (Seel und Gabriel, 2001, ausführlich beschrieben bei Peschka et al., 2006). Die Beprobung erfolgte vom 6. April bis zum 17. Mai 1999 in Form von zweimal 3-Wochen-Mischproben, das Wirkstoffspektrum umfasste insgesamt 66 Wirkstoffe inkl. Metabolite. Die Ergebnisse wiesen ebenfalls eine sehr hohe Varianz auf: Während in einigen Kläranlagen keine nennenswerten PSM-Konzentrationen festgestellt wurden, verzeichneten andere Anlagen eine durchschnittliche Konzentration in der Einzelprobe von bis zu 40 µg/l; die mittlere PSM-Konzentration von 33 der insgesamt 106 Anlagen lag im Konzentrationsbereich von 1,6 bis 3,2 µg/l (ohne Diuron). Seel und Gabriel (2001) verweisen darauf, dass das Gesamtniveau unterhalb der Werte liegt, die bei Seel et al. (1994) publiziert wurden (Anlagen teilweise deckungsgleich). In 70 Fällen wurden bei den Wirkstoffen Isopro-

turon, 2,4 DP und MCPP Konzentrationen in den einzelnen Proben mit Werten >BG gemessen. Nach einer Informationskampagne der Landwirte in den Einzugsgebieten wurden im Jahr 2000 die 35 Kläranlagen mit den höchsten Frachten im Vorjahr erneut mit demselben Beprobungsdesign beprobt, eine nennenswerte Verringerung der PSM-Funde konnte aber nicht festgestellt werden. Einen möglichen Grund für die sehr unterschiedlichen Ergebnisse sehen Seel und Gabriel (2001) im Fehlverhalten einer kleinen Minderheit von Landwirten.

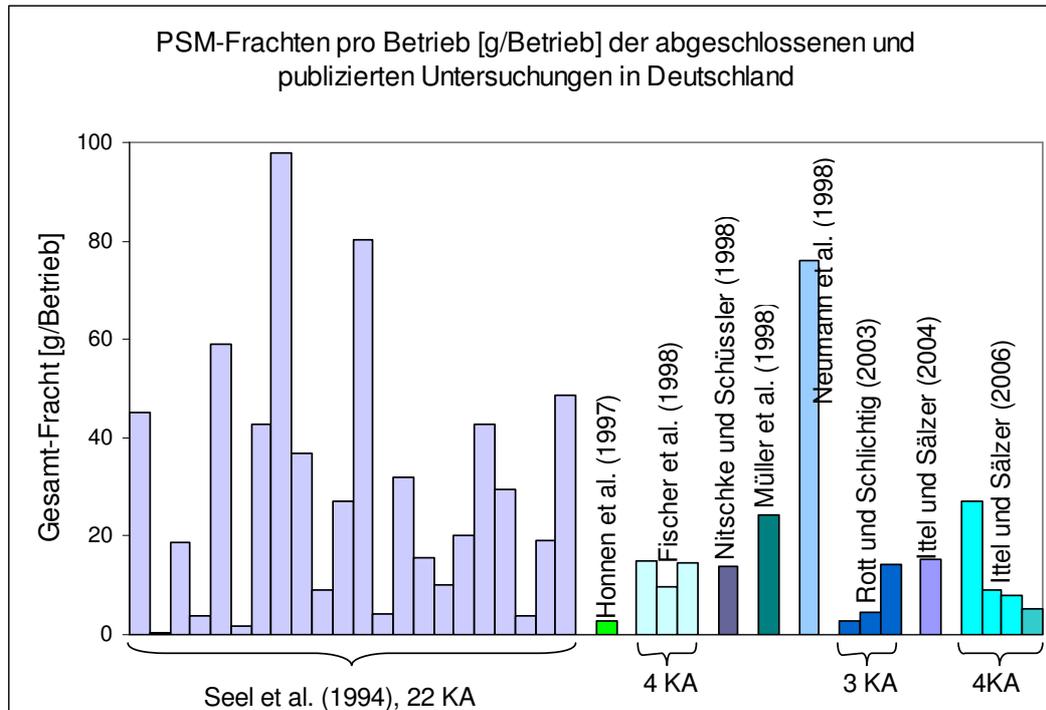


Abb. 7. PSM-Gesamtfracht pro Betrieb [g] im Einzugsgebiet von Kläranlagen in Ackerbaugebieten während der Untersuchungsperiode

Eine wesentliche Ursache für die außerordentlich große Spannweite der Ergebnisse zur PSM-Fracht pro Landwirtschaftsbetrieb im Kläranlagenablauf (Abb. 7) ist in der Vielzahl von Einflussfaktoren zu suchen, die dabei eine Rolle spielen. Als wesentliche Faktoren sind unter anderem zu nennen:

- Struktur der Landwirtschaftsbetriebe, die an die Kläranlage angeschlossen sind (mittlere Betriebsgröße, Anteil der Betriebe mit eigenem Applikationsgerät, Alter der Applikationsgeräte)
- Anbauverhältnisse (Anteil relativ behandlungsintensiver Kulturen an der Fruchtfolge wie Kartoffeln, Zuckerrüben oder Sonderkulturen)

- Agrarregion (unterschiedliche Marktanteile verschiedener PSM-Präparate)
- Problembewusstsein der Personen, die für den Pflanzenschutz in den Landwirtschaftsbetrieben verantwortlich sind
- Struktur der Siedlungsentwässerung (Hoffläche entwässert direkt oder über ein Kanalisationssystem in einen Vorfluter, Anzahl angeschlossener Landwirtschaftsbetriebe; siehe Einführung zu diesem Kapitel)
- Beprobungsdesign.

Auf welche spezifischen Ausprägungen bestimmter Einflussgrößen die Ergebnisse im Einzelfall jeweils zurückzuführen sind, kann nicht geklärt werden, solange einzelne dieser Faktoren nicht direkt erfasst werden können. Insbesondere ein „weicher“ Faktor wie das Problembewusstsein der Landwirte, wovon die primäre Freisetzung von Wirkstoffen im Hofbereich entscheidend abhängt, lässt sich mit den üblichen naturwissenschaftlichen Methoden nicht ermitteln.

Tabelle 10 gibt eine Übersicht über die „Top 8“ der Wirkstoffe, die in Kläranlagenabläufen gefunden wurden. Die Reihenfolge spiegelt in erster Näherung die Absatzmengen in Deutschland wider (gemäß Meldungen der Mitgliedsfirmen an den IVA).

Tab. 10. Ranking der rechnerischen Wirkstoff-Frachten pro Betrieb aus den Kläranlagen-Untersuchungen der Tab. 8 und 9

Ackerbau		Weinbau	
Wirkstoff	Rechnerische Wirkstofffracht pro Betrieb [g/Messperiode]	Wirkstoff	Rechnerische Wirkstofffracht pro Betrieb [g/Messperiode]
Metamitron	ca. 9,6	Tebuconazol	ca. 6,3
Isoproturon	ca. 7,3	Dimetomorph	ca. 4,9
2,4 DP	ca. 2,7	Vinclozolin	ca. 1,8
Chloridazon	ca. 2,7	Dichlofluanid	ca. 1,4
MCPP	ca. 2,5	Methidathion	ca. 1,1
MCPA	ca. 1,7	Pyrimethanil	ca. 1,0
Bentazon	ca. 1,7	Iprodion	ca. 0,9
Atrazin	ca. 0,7	Metalaxyl	ca. 0,9

Aus der Durchsicht der ausgewerteten Studien geht hervor, dass die Wirkstoffe mit den höchsten rechnerischen Einleitungsmengen im Ablauf von Kläranlagen (Ackerbau-Regionen) die Herbizid-Wirkstoffe Metamitron und Isoproturon waren. Für Metamitron wurden im Mit-

tel aller Kläranlagen 9,6 g pro Betrieb und für Isoproturon 7,3 g pro Betrieb als Höchstwerte detektiert, jeweils bezogen auf eine Messperiode. Für Weinbau-Kläranlagen sind es die Fungizid-Wirkstoffe Tebuconazol mit 6,3 g pro Betrieb und Dimetomorph mit 4,9 g pro Betrieb. Aus der Gruppe der meistverkauften Wirkstoffe fehlt in Tab. 10 das Glyphosat (bzw. dessen Metabolit AMPA), dessen analytische Bestimmung aufwendig und vergleichsweise kostenintensiv ist. Weiterhin ist der Wirkstoff Diuron nicht aufgeführt, da dessen Funde im wesentlichen auf den Einsatz außerhalb der Landwirtschaft zurück geführt werden.

Als zentrale Schlussfolgerung der verschiedenen Untersuchungen in Deutschland ist festzuhalten: Immer wenn die Entwässerung der Hofflächen von Landwirtschaftsbetrieben, die ein Spritzgerät unterhalten, an eine Kläranlage angeschlossen ist, findet man auch die PSM-Wirkstoffe, die in der Landwirtschaft eingesetzt werden, in nicht unbeträchtlichen Mengen im Ablauf dieser Kläranlage. Den vorliegenden Auswertungen zufolge ist dabei mit folgenden Mittelwerten der rechnerischen PSM-Gesamtfrachten (in der Summe der jeweils analysierten Wirkstoffe) pro Betrieb und Jahr zu rechnen:

- rund 15-20 g pro Ackerbaubetrieb (mit großem Schwankungsbereich), und
- rund 11 g pro Weinbaubetrieb.

Bei der Interpretation dieser Werte ist zu berücksichtigen, dass in den meisten Untersuchungen die PSM-Fracht über die Regenentlastung nicht erfasst wurde, das heißt die tatsächlichen Frachten aus Punktquellen sind noch höher.

3. Material und Methoden

Die bisherigen Ausführungen verdeutlichen, dass die Beprobung des Ablaufs von Kläranlagen ein eingeführtes Verfahren darstellt, um die Größenordnung punktueller PSM-Einträge in Oberflächengewässer zu erfassen. Diese Methodik wurde auch im experimentellen Teil der vorliegenden Untersuchung eingesetzt, in der insgesamt acht ausgewählte Kläranlagenabläufe im Bundesgebiet (siehe Tab. 11) in den Jahren 2006 und 2007 beprobt und die PSM-Frachten ermittelt wurden. Ziel war es zunächst, die Punkteinträge in den Einzugsgebieten der Kläranlagen zu quantifizieren, um im zweiten Schritt Einflussfaktoren zu erkennen, mit denen die Höhe von Punkteinträgen möglicherweise in Beziehung steht.

Tab. 11. Beprobungszeiträume der Kläranlagen-Untersuchung in den Jahren 2006 und 2007

Beprobungszeiträume		
7 Ackerbau-Kläranlagen	14. 08. bis 13. 11.2006	5.03. bis 4.06.2007
1 Weinbau-Kläranlage	15.05.2006 bis 28.10.2007	

Die Bezeichnungen „Ackerbau“- bzw. „Weinbau-Kläranlage“ in Tab. 11 beziehen sich auf die vorwiegende landwirtschaftliche Nutzung in den Einzugsbereichen der Anlagen. Die Abläufe dieser Anlagen wurden während der Applikationsperioden von PSM kontinuierlich beprobt (jeweils zeitproportionale 3- bzw. 4 Tagesmischproben pro Woche). Der Beprobungszeitraum der Weinbau-Kläranlage umfasste dabei fast 18 Monate (15.05.2006 bis zum 28.10.2007), während die Ackerbau-Kläranlagen über ein Anbaujahr beprobt wurden, das heißt während der Hauptapplikationsperioden im Herbst 2006 und wiederum im Frühjahr 2007.

In den folgenden Kapiteln wird zunächst dargestellt, nach welchen Kriterien die am Untersuchungsprogramm beteiligten Kläranlagen ausgewählt wurden; außerdem werden die einzelnen Anlagen und ihre Einzugsgebiete vorgestellt. Danach wird die Vorgehensweise bei der Probenahme erläutert und die Auswahl der zu untersuchenden Wirkstoffe nachvollzogen. Den Abschluss bilden die Beschreibung der Analysemethoden und die Vorgehensweise bei der Auswertung der erhaltenen Daten.

3.1 Auswahl der Kläranlagen

Die Auswahl der Kläranlagen richtete sich nach folgenden Kriterien:

- geografische Verteilung im Bundesgebiet
- Kapazität der Anlage (5000 – 30 000 Einwohnergleichwerte)
- Anschluss an ein Mischkanalisationssystem
- ländlich bzw. landwirtschaftlich geprägtes Einzugsgebiet.

Ein weiteres Kriterium für die Auswahl der Kläranlagen war die Flächennutzung im Einzugsgebiet. In sieben Fällen sollte Ackernutzung vorherrschen, eine Kläranlage sollte in einer Weinbauregion stehen. Kläranlagen mit einem hohen Anteil an Obstanbaufläche oder anderen Sonderkulturen im Einzugsbereich wurden nicht berücksichtigt. Außerdem stellte die Bereitschaft des Klärwerkspersonals, die Beprobung über den gesamten Beprobungszeitraum sicherzustellen, eine unverzichtbare Voraussetzung dar.

Zunächst wurden alle vorliegenden PSM-Untersuchungen von Kläranlagen im Bundesgebiet gesichtet. Dabei ist auffällig, dass solche Studien in der Vergangenheit lediglich in Baden-Württemberg, Bayern, Hessen und Nordrhein-Westfalen stattgefunden haben (siehe auch Kapitel 2.4). Im Anschluss an diese Sichtung wurde Kontakt zu den jeweiligen Behörden aufgenommen, in deren Verantwortungsbereich die Untersuchungen stattgefunden haben:

- Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (Ansprechpartnerin Dr. Letzel)
- Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie (Ansprechpartner Dr. Seel)
- Nordrhein-Westfalen: Staatliches Amt für Umwelt und Arbeitsschutz Ostwestfalen-Lippe (Ansprechpartner Dr. Kirchhoff)
- Dienstleistungszentrum Ländlicher Raum Rheinpfalz (Ansprechpartner Dr. Altmayer).

Mit freundlicher Unterstützung der Ansprechpartner konnte in diesen Bundesländern eine Reihe potenzieller Beprobungsstandorte identifiziert werden. Nach telefonischer Anfrage bei den in Frage kommenden Anlagen und anschließendem persönlichem Kontakt vor Ort erfolgte dann die endgültige Auswahl. Auf diesem Weg wurden Kläranlagen KA_Reis, KA_O, KA_F, KA_L, KA_Rh und KA_N ausgewählt.

In den Ländern Brandenburg, Mecklenburg-Vorpommern, Niedersachsen, Sachsen, Sachsen-Anhalt, Schleswig-Holstein und Thüringen sind in der Vergangenheit keine entsprechenden

Studien durchgeführt worden. Hier wurde so vorgegangen, dass zunächst Kontakt zu den Aufsichtsbehörden der Kläranlagen aufgenommen wurde. Es stellte sich heraus, dass hier als zentrales Kriterium für die Vorauswahl das Vorhandensein einer Mischkanalisation im Einzugsbereich der Anlagen darstellte. Nach telefonischer Anfrage und persönlichem Gespräch vor Ort wurden schließlich als weitere Kläranlagen KA_B und KA_J in die Untersuchung einbezogen.

Datenerhebung

Tab. 12 gibt einen Überblick über die wichtigsten Eckdaten der ausgewählten acht Kläranlagenstandorte; aus Datenschutzgründen wird auf die Nennung der Klarnamen der Anlagen verzichtet. Die Angaben zur Zahl der angeschlossenen Landwirtschaftsbetriebe im Einzugsgebiet, der durchschnittlichen Betriebsgröße und der Anbausituation gehen auf die jeweilige Agrarstatistik der Länder auf Gemeindeebene¹⁷ zurück (Bezugsjahr 2003); für die KA_B und KA_J wurden zusätzlich eigene Recherchen vor Ort durchgeführt (Abfahren der Einzugsgebiete mit dem Pkw).

Die Zahl der angeschlossenen Applikationsgeräte bezieht sich jeweils auf die Angabe der zuständigen Landwirtschaftsämter und basiert auf den Prüfberichten der Gerätekontrollen der Jahre 2004, 2005 und 2006.¹⁸ Für das Einzugsgebiet der KA_N (Weinbau-Kläranlage) war es nicht möglich, die Zahl der amtlich geprüften Feldspritzen im Einzugsgebiet zu ermitteln. Der Hauptgrund dafür liegt im technischen Ablauf der Datenspeicherung in der zuständigen Landesbehörde. Auf Grund der Betriebsstruktur im Einzugsbereich (relativ viele kleine Betriebe mit Eigenmechanisierung) wird davon ausgegangen, dass hier die Zahl der Geräte annähernd der Zahl der angeschlossenen Betriebe entspricht. Diese Annahme wird von der Aufsichts- und Dienstleistungsdirektion Rheinland-Pfalz (2007) bestätigt.

¹⁷ Bayerisches Landesamt für Statistik und Datenverarbeitung (2006 a, 2006 b und 2002), Hessisches Statistisches Landesamt (2005), Statistisches Landesamt Mecklenburg-Vorpommern (2005 a und 2005 b), Landesamt für Datenverarbeitung und Statistik NRW, (2005 und 2004), Statistisches Landesamt Rheinland-Pfalz (2005), Statistisches Landesamt des Freistaates Sachsen (2004).

¹⁸ Amt für Landwirtschaft und Forsten Deggendorf (2007), Amt für Landwirtschaft und Forsten Würzburg (2007), Aufsichts- und Dienstleistungsdirektion Rheinland-Pfalz (2007), Regierungspräsidium Gießen, Pflanzenschutzdienst Hessen (2007), Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft (2007), Landesamt für Landwirtschaft, Lebensmittelsicherheit und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern (2007), Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen (2007).

Tab. 12. Kenngrößen der ausgewählten Kläranlagen

Kläranlagen-kürzel	Bundesland	Kapazität [EWG]	Angeschlossene Landwirtschaftsbetriebe	Anzahl Feld-spritzen im EZG	Durchschnittliche Betriebsgröße [ha]	Aufteilung der landwirtschaftlichen Nutzfläche (LF) im EZG [%]	Anteil der wichtigsten Kulturen an der LF [%]
KA_B	Sachsen	50 000	8 Ackerbaubetriebe	5	164 ha	88 % Acker 11 % Grünland 1 % Obst	55 % Getreide 18 % Raps 11 % Mais
KA_F	Hessen	25 000	191 Ackerbaubetriebe	111	54 ha	87 % Acker 13 % Grünland	71 % Getreide 10 % Raps 13 % Zuckerrüben
KA_J	Mecklenburg-Vorpommern	5000	7 Ackerbaubetriebe	9	1.133 ha	82 % Acker 18 % Grünland	61 % Getreide 24 % Raps
KA_L	Nordrhein-Westfalen	23 000	97 Ackerbaubetriebe	64	48 ha	87 % Acker 13 % Grünland	40 % Getreide 33 % Zuckerrüben 18 % Kartoffeln
KA_N	Rheinland-Pfalz	85 000	334 Weinbaubetriebe 21 Ackerbaubetriebe	--	8,9 ha (Weinbau)	70 % Rebland 30 % Acker	Ackerland: 60 % Getreide, 5 % Raps, 8 % Mais, 8 % Zuckerrüben
KA_O	Bayern	34 000	637 Ackerbaubetriebe	482	30 ha	94 % Acker 3 % Grünland 2 % Obst 1 % Rebland	58 % Getreide 16 % Mais 23 % Zuckerrüben
KA_Reis	Bayern	15 800	315 Ackerbaubetriebe	284	27 ha	92 % Acker 8 % Grünland	44 % Getreide 28 % Mais 7 % Gemüse 5 % Zuckerrüben
KA_Rh	Nordrhein-Westfalen	20 550	161 Ackerbaubetriebe	72	68 ha	81 % Acker 19 % Grünland	67 % Getreide 16 % Mais 3 % Kartoffeln

Kaule und Schulzke (1998) unterteilen Deutschland in 34 Boden-Klima-Regionen, die durch ähnliche Standorteigenschaften (Boden, Klima) und landwirtschaftliche Nutzungsverhältnisse gekennzeichnet sind. Auch die bundesweite NEPTUN-Erhebung¹⁹ zur Schätzung von PSM-Aufwandmengen verwendet diese Raumeinheiten (BBA 2003 und 2002). In Tab. 13 erfolgt eine Zuordnung der untersuchten Kläranlagen zu den Boden-Klima-Regionen nach Kaule und Schulzke (1998); die eine Übersichtskarte zur Lage der Untersuchungsstandorte im Bundesgebiet zeigt Abb. 8.

Tab. 13. Boden-Klima-Regionen der ausgewählten Kläranlagen (nach der Systematik von Kaule und Schulzke, 1998)

Kläranlagenkürzel	Boden-Klima-Region (BKR)
KA_B	Leipziger Ackerland
KA_F	Oberes Rheintal
KA_J	Pommersches Küstenland
KA_L	Kölner Bucht
KA_N	Pfälzer Wald/Oberes Rheintal
KA_O	Mittelfränkisches Hügelland
KA_R	Niedersächsische Ebene
KA_Reis	Niederbayerisches Hügelland

¹⁹ Neptun = Netzwerk zur Ermittlung des Pflanzenschutzmitteleinsatzes in unterschiedlichen Naturräumen Deutschlands.

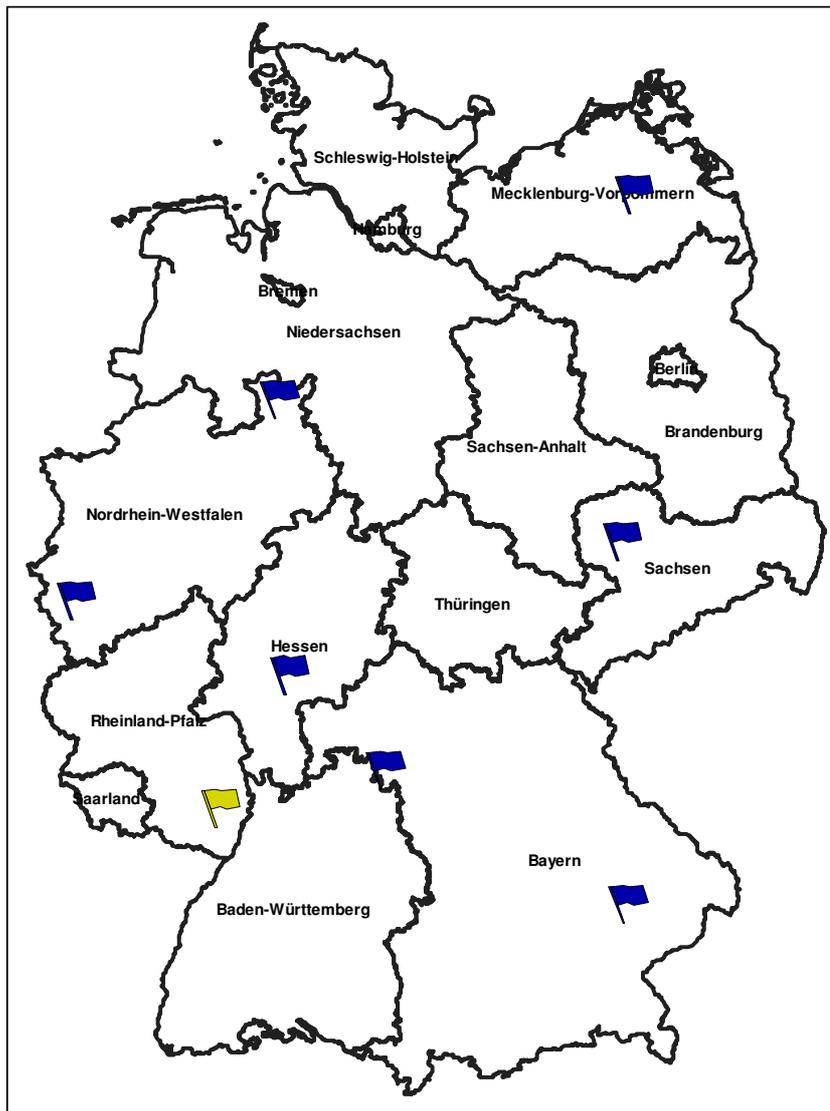


Abb. 8. Lage der beprobten Kläranlagen im Bundesgebiet (blau markiert: „Ackerbau- Kläranlagen“, gelb markiert: „Weinbau-Kläranlage“)

3.2 Beprobungsdesign

Alle am Untersuchungsprogramm beteiligten Kläranlagen entsprechen den geltenden technischen Ausstattungsstandards. Sieben der acht Anlagen entsprechen der üblichen Bauweise und verfügen über drei Reinigungsstufen (Vorklärung, biologische Reinigung, Nachklärung); das mittlere Schlammalter liegt in der Regel über zehn Tagen. Bei diesen sieben Kläranlagen bestand die Möglichkeit, mit Hilfe eines automatischen Probenehmers kontinuierlich Sammelproben zu gewinnen.

Eine Ausnahme bildet die KA_J, bei der täglich Schöpfproben vom Ablauf genommen wurden. Im Gegensatz zu den anderen Kläranlagen arbeitet die KA_J mit einem absätzigen Verfahren, dem sog. SBR-System („Sequencing Batch Reactor-System“). Bei dieser Technik findet die biologische Abwasserreinigung in einem kombinierten Belebungs-/Nachklärbecken - dem „Reaktor“ – statt (Artan et al., 2001). Während der Reinigungsphase wird dem Reaktor kein neues Abwasser zugeführt, nach zwölf Stunden wird dann der Ablauf geöffnet und das gereinigte Abwasser dekantiert. Während dieser Ablaufphase wurde dann dort jeweils eine Stichprobe entnommen.

3.2.1 Probenahme und Transport der Proben

Das Klärwerkpersonal der einzelnen Anlagen bekam vor den Beprobungszeiträumen einen gereinigten Glasballon zum Sammeln der Proben sowie in vierwöchentlichem Rhythmus leere, beschriftete Ein-Liter-Flaschen und Verpackungsmaterial für den Probentransport.

Die Flaschen für den Probentransport waren aus Borosilikatglas 3.3. (1000 ml). Dazu wurden Schraubverschlusskappen GL 45 aus PBT, geschlossen, mit einer mit PTFE beschichteten Dichtung verwendet. Flaschen und Deckel waren vor dem ersten Einsatz neu und wurden zweimal in der Spülmaschine ohne Spülmittel bei 70 °C gespült und anschließend im Trockenschrank bei 50 °C getrocknet. Die Reinigung der gebrauchten Flaschen erfolgte nach jedem Einsatz direkt durch das Analyselabor. Die gereinigten Flaschen wurden beschriftet (Anlagenkürzel, Art der Probe [3- oder 4 Tages-Mischprobe] sowie Kalenderwoche) und erneut zur Probenahme verwendet. Die Glasballons (Volumen 10 l) wurden vor dem ersten Gebrauch zweimal mit warmen Trinkwasser und anschließend zweimal mit destilliertem Wasser ausgespült, bevor sie mit Kaliumhydroxid befüllt wurden (20%ige Lösung aus 400

ml Kaliumhydroxid und 9,5 l ETW). Diese Lösung verblieb mindestens zwölf Stunden in den Ballons. Anschließend wurden die Gefäße mit einer Bürste gereinigt, bevor sie wiederum zweimal mit ETW ausgespült wurden. Es folgte ein jeweils halbstündiges Ultraschallbad (M 214); danach wurden die Glasballons erneut mit ETW ausgespült und zum Trocknen gestellt.

An vier Kläranlagen (KA_F, KA_O, KA_Reis, KA_Rh) wurden klärwerkseigene, portable Probenehmer für die jeweiligen Beprobungszeiträume am Ablauf installiert (siehe Tab. 14). Die Geräte waren so programmiert, dass in zweistündlichem Rhythmus 125 ml Ablaufwasser entnommen wurden. Auf diese Weise betrug das tägliche Probevolumen 1,5 l. An drei Kläranlagen konnte der fest installierte Probenehmer der Anlage mitbenutzt werden. An einer Anlage (SBR-System) wurden die Mischproben aus Tagesschöpfproben gewonnen. Die Glasballons dienten in allen Kläranlagen als Sammelgefäße.

Die kontinuierlich gesammelten Proben wurden wie folgt aufgeteilt:

- 4-d-Mischprobe: jew. von Montagmorgen bis Donnerstagmorgen,
- 3-d-Mischprobe: jew. von Donnerstagmorgen bis Montagmorgen.

Das Klärwerkspersonal füllte immer donnerstags und montags den Inhalt des Glasballons in jeweils zwei fertig beschriftete Flaschen (zu analysierende Probe sowie Rückstellprobe). Die beiden Flaschen wurden bis zum Transport im Kühlschrank aufbewahrt. Nach dem Gebrauch wurde der Glasballon vom Klärwerkspersonal ausgespült und wiederverwendet.

Während der Beprobungszeiträume wurden die gekühlten Proben wöchentlich zum Labor transportiert. Jeweils dienstags wurden die bis dahin im Kühlschrank gelagerten Flaschen vom Klärwerkspersonal in die Transportkisten gepackt und vormittags von einem Transportunternehmen abgeholt. Spätestens am darauffolgenden Tag wurde im Analyselabor mit der Aufbereitung der Proben begonnen.

Die Proben der Weinbau-Kläranlage wurden vom Dienstleistungszentrum Ländlicher Raum Rheinpfalz (DLR) untersucht. Die Analytik der Proben aus sämtlichen Ackerbau-Kläranlagen übernahm das Institut für Umweltforschung der Universität Dortmund (s. Pkt. 3.3).

Tab. 14. Probenahme an den Kläranlagen

Kläranlage	Probenahme	Frequenz
KA_B	automatischer Probenehmer fest installiert in einem Edelstahlgehäuse mit PU-Schaumisolierung Probenehmer der Fa. Gimat GmbH Umweltmesstechnik, Ausführung FSV 3/12 SG-VA-TS	alle 2 h automatisch 125 ml in Gefäße, einmal täglich umfüllen in Glasballon, Glasballon wird nach drei bzw. vier Tagen entleert
KA_F	portabler Probenehmer für Beprobungsdauer am Ablauf installiert	alle 2 h automatisch 125 ml in Glasballon, Glasballon wird nach drei bzw. vier Tagen entleert
KA_J	Schöpfproben (Anlage mit SBR-System)	zweimal täglich (alle 12 Stunden) Schöpfproben am Ablauf mit einem Liter Volumen
KA_L	stationärer Probenehmer der Fa. WaterSam (Modell WS 16, Baujahr 1999), Gerät mit Indirekt-Rundverteiler und Sammelbehälter oder wahlweise 12 x 2,9-l-Flaschen	alle 2 h automatisch 125 ml in Sammelbehälter (Glasballon), Glasballon wird nach drei bzw. vier Tagen entleert
KA_N	automatischer Probenehmer der Fa. Endres + Hauser fest installiert mit Edelstahlgehäuse und PU-Schaumisolierung	alle 2 h automatisch 125 ml in Gefäße, einmal täglich umfüllen in Glasballon, Glasballon wird nach drei bzw. vier Tagen entleert
KA_O	automatischer Probenehmer der Fa. Endres + Hauser, (Liquiport 2000) für Beprobungsdauer am Ablauf installiert in einem Häuschen auf der Anlage	alle 2 h automatisch 125 ml in Glasballon, Glasballon wird nach drei bzw. vier Tagen entleert
KA_Reis	portabler Probenehmer der Fa. WaterSam (Modell WS 100074, Baujahr 1997), Probenehmer für Beprobungsdauer am Ablauf installiert	alle 2 h automatisch 125 ml in Glasballon, Glasballon wird nach drei bzw. vier Tagen entleert
KA_Rh	portabler Probenehmer für Beprobungsdauer am Ablauf installiert, Probenehmer steht im Freien Probenehmer von Laborbedarf Umweltmess- und Abwassertechnik Ori Typ 8090075, Nr. 9109303	alle 2 h automatisch 125 ml in Glasballon, Glasballon wird nach drei bzw. vier Tagen entleert

**Abb. 9.** Transportverpackung der Proben

3.2.2 Wirkungsspektrum

Zum Stichtag 9. Januar 2007 waren in Deutschland nach Angaben des Bundesamtes für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit 249 Einzelwirkstoffe als Bestandteile von insgesamt 1026 Pflanzenschutzmitteln in Deutschland zugelassen (BVL, 2007a). Aus dieser Auswahl sollte ein möglichst breiter Querschnitt im Untersuchungsprogramm berücksichtigt werden, wobei zwischen der Beprobung der Ackerbau-Kläranlagen und der Beprobung der Weinbau-Kläranlage zu differenzieren war.

3.2.2.1 Auswahlverfahren Ackerbau

Bei der Auswahl wurde so vorgegangen, dass die zugelassenen Wirkstoffe zunächst nach dem Anteil der behandelten Ackerfläche bundesweit sortiert wurden (nach BBA, 2001, sowie mit Hilfe der Ergebnisse der NEPTUN-Erhebung laut BBA 2003 und 2003); das Ergebnis war eine Liste mit insgesamt 107 Einzelwirkstoffen. Im nächsten Schritt wurden diese Wirkstoffe nach folgenden Kriterien gewichtet:

- Reihenfolge der mengenmäßig bedeutenden Pflanzenschutzwirkstoffe in Deutschland nach Angaben des Industrieverbandes Agrar (Wirkstoffmengen von IVA-Mitgliedsfirmen für 2004, IVA 2005)
- Bundesweite Absatzmengen von Pflanzenschutzmitteln (BVL, 2005)
- PSM-Absatzerhebung des Landes Brandenburg (Landesumweltamt Brandenburg, 2003)
- Wirkungsspektren vorangegangener Untersuchungen zu Punktquellen in Deutschland (siehe Ausführungen unter Punkt 2.4), insbesondere die Untersuchungen an der Stever-Talsperre (Dr. Rodeck, pers. Mitteilung, 07.07.2006), des HLUG (Seel und Gabriel, 2001) und die Monitoring-Programme zu Punktquellen in Schleswig-Holstein und Mecklenburg-Vorpommern (Dr. Schulz, pers. Mitteilung, 13.07.2006)
- Wirkstoffe mit hohen Gewässerfrachten in Flussgebieten in Deutschland im Zeitraum 2000 – 2005 (eigene Erhebungen)
- Kosten des analytischen Nachweises einzelner Wirkstoffe.

Nicht zugelassene Stoffe wurden grundsätzlich nicht berücksichtigt. Ausnahmen bilden Atrazin und der Metabolit Desethyl-Atrazin sowie Bromacil. Die daraus entstandene vorläufige Liste wurde mit dem projektinternen Fachbeirat aus Vertretern unter anderem der Länderar-

beitsgemeinschaft Wasser (LAWA), des Umweltbundesamtes (UBA), des Bundesamtes für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit (BVL), des IVA und des Bauernverbandes (DBV) abgestimmt. Die endgültige Liste für die Analyse der Ablaufproben aus den Ackerbau-Kläranlagen umfasst 28 Wirkstoffe (26 Substanzen + 2 Metabolite), die im Folgenden kurz vorgestellt werden. Es handelt sich um Wirkstoffe unter anderem aus den chemischen Gruppen der Triazine, Acetamine, Organophosphate, Phenylharnstoffe sowie Phenoxysäuren. Die Informationen der Kurzcharakteristik der einzelnen Substanzen stammen aus dem Verzeichnis der zugelassenen Pflanzenschutzmittel des BVL (2007a).

Tab. 15. Spektrum der analysierten Wirkstoffe in den Proben der Ackerbau-Kläranlagen

Lfd. Nr.	Wirkstoff	Chemische Gruppe ²⁰	Hauptanwendung ²¹	Wirkstoff-Aufwand pro Fläche ²²	Absatzmenge 2004 ²³
1	2,4 D	Essigsäuren	NAF Frühjahr (Getreide) Mai–Aug. (Grünland)	750 g/ha	25–100 t
2	2,4 DP	Propionsäuren	NAF (Getreide)	1,5 kg/ha	250–1000 t
3	Amidosulfuron	Sulfonylharnstoff-Verbindung	NAF Frühjahr (Getreide)	25 g/ha	2,5–10 t
4	<i>Atrazin</i> ²⁴	<i>Triazine</i>	<i>Frühjahr (verboten)</i>	--	--
5	<i>Desethyl-Atrazin</i>	<i>-Metabolit-</i>	--	--	--
6	Azoxystrobin	Stobilurin-Analoga	NAF Frühjahr (Getreide)	250 g/ha	100– 250 t
7	Bentazon	Unklassifiziert (heterocyclische Verbindung mit höchstens drei N-Atomen am Ring)	NAF (Getreide), Mais: 2.–7. Laubblatt, Gemüsebau	2,4 kg/ha	250–1000 t
8	<i>Bromacil</i> ²⁵	<i>Uracile</i>	--	--	--
9	Diflufenican	Anilide	VA oder NAF Herbst/Frühjahr (Getreide)	250 g/ha	
10	Dimethoat	Aliphatische Dithiophosphor- und Dithiophosphorsäure-ester	Zuckerrüben, Zierpflanzen, Spargel, Gemüse; nach Befallsbeginn oder ab Warn-dienstaufruf (Insektizid/Akarizid)	240 g/ha	250–1000 t
11	Diuron	Harnstoff-Derivat	ganzjährig vor allem auf Nichtkulturland und tlw. Obstbau	3–6 kg/ha	25–100 t

²⁰ Einteilung nach BVL, 2005: Absatz an Pflanzenschutzmittel in der Bundesrepublik Deutschland.

²¹ NAF: Nachauflauf, VA: Vorauflauf

²² Bei mehreren Präparaten Beispiel eines Einzelwirkstoffpräparates.

²³ Inlandsabsatz von Pflanzenschutzmitteln in Deutschland im Jahr 2004 (BVL, 2005).

²⁴ Nicht zugelassener Wirkstoff seit 1990.

²⁵ Nicht zugelassener Wirkstoff seit 1990.

12	Epoxiconazol	Triazole	Getreide, Rüben; bei Befall, ab ersten Symptomen, bei Neubefall (Fungizid)	125 g/ha	250–1000 t
13	Ethofumesat	Benzofuranyl Alkylsulfonate	NAF (Rüben)	1 kg/ha	100– 250 t
14	Fenpropidin	Morpholine	Getreide, Zuckerrüben; bei Befall, ab ersten Symptomen (Fungizid)	580 g/ha	250–1000 t
15	Fenpropimorph	Morpholine	Getreide; bei Befall/Neubefall (Fungizid)	750 g/ha	250-1000 t
16	Flufenacet	Anilide	VA (Kartoffeln) 7–10 Tage nach Pflanzen (Spargel) VA und NAF (Mais, Wintergetreide)	150 g/ha	100– 250 t
17	Isoproturon	Harnstoffderivat	VA und NAF (Getreide)	1,5 kg/ha	> 1000 t
18	MCPA	Propionsäuren	NAF (Getreide) Mai–Aug. (GL)	750 g/ha	250–1000 t
19	MCPP	Propionsäuren	NAF (Getreide) nach der letzten Nutzung (GL) nach Räumen der Deckfrucht (bei Gräsern als Untersaat)	1,2 kg/ha	100– 250 t
20	Metamitron	Triazinone	VA (Erdbeeren) und VA, NAF (Rüben)	1,4 kg/ha	250–1000 t
21	<i>Desamino-Metamitron</i>	<i>-Metabolit-</i>	--	--	--
22	Metazachlor	Anilide	NAF Herbst (Winter-raps) VA und NAF (Sommer-raps)	750 g/ha	250–1000 t
23	Metribuzin	Triazinone	VA (Kartoffeln) April/Mai (Spargel)	350 g/ha	100– 250 t
23	Propiconazol	Triazole	bei Befall, ab ersten Symptomen, bei Neubefall (Fungizid)	125 g/ha	100– 250 t
25	S-Metolachlor	Anilide	VA und NAF (Mais)	1,2 kg/ha	250–1000 t
26	Spiroxamine	Morpholine	Fungizid; bei Befall, ab ersten Symptomen (Getreide), bei Infektionsgefahr bzw. Warndiensthinweis (Wein)	750 g/ha	250–1000 t
27	Tebuconazol	Triazole	ab Frühjahr bei Befall, ab ersten Symptomen (Getreide) Herbst und Frühjahr (Raps) (Fungizid und Wachstumsregler)	377 g/ha	250–1000 t
28	Terbuthylazin	Triazine	VA und NAF (Mais)	750 g/ha	250–1000 t

2,4 D

IUPAC-Bezeichnung²⁶: (2,4-dichlorophenoxy)acetic acid

Dichlorphenoxyessigsäure gehört zu den ersten, in den fünfziger Jahren entwickelten selektiv wirkenden Herbizidwirkstoffen. Neben dem Einsatz auf nichtlandwirtschaftlich genutzten Grasflächen als Rasendünger wird 2,4 D beim Anbau von Weizen, Gerste, Roggen, Hafer und im Grünland als Unkrautvernichter zweikeimblättriger Unkräuter verwendet. Präparate für den landwirtschaftlichen Gebrauch mit diesem Wirkstoff sind laut BVL (2007a): *Berghoff 2,4 D*, *Genoxone ZX* (+ Triclopyr)²⁷, *Herboxone*, *Spritz Hormin 500* und *U46 D-Fluid*. Einsatzzeitpunkt ist in der Landwirtschaft nach dem Auflaufen im Frühjahr im Getreideanbau und im Grünland während der Vegetationsperiode von Mai bis August.

2,4 DP

IUPAC-Bezeichnung: (RS)-2-(2,4 dichlorophenoxy)propionic acid

Diese chemische Substanz wirkt beim Anbau von Wintergetreide wie Winterweizen, Winterroggen, Wintergerste und bei Gräsern als Herbizidwirkstoff. Sie ist Bestandteil folgender in Deutschland zum Stichtag 07.01.2007 zugelassener Pflanzenschutzmittel: *Berghoff DP*, *Duplosan DP*, *FCS Optica DP*, *Marks Optica DP*, *Basagran DP* (+ Bentazon) sowie der beiden Kombipräparate *Mextrol DP* und *Sunny DP* (jeweils + Ioxynil). Es handelt sich um selektive, translozierbare Herbizide mit Wuchsstoffeigenschaften. Sie werden zur Bekämpfung zweikeimblättriger Unkrautarten wie Knötericharten, Kamille und Disteln im Nachauflauf und zu Beginn des Jahres eingesetzt (BVL, 2007a).

Amidosulfuron

IUPAC-Bezeichnung: 1-(4,6-dimethoxyimidin-2-yl)-3-mesyl(methyl)sulfamoylurea

Amidosulfuron gehört zu den Sulfonylharnstoff-Verbindungen und wird ebenfalls als Herbizidwirkstoff im Getreideanbau verwendet (nach dem Auflaufen der Unkräuter im Frühjahr). Es ist laut BVL (2007a) Bestandteil des Präparates *Hoestar Super* (+ Iodosulfuron). Eine Besonderheit bei den Sulfonylharnstoffen ist die geringe Aufwandmenge von 10–100 g/ha.

²⁶ IUPAC: Interantional Union of Pure and Applied Chemistry.

²⁷ Bei Kombipräparaten wird nach dem Handelsnamen in Klammern der Wirkstoff-Kombipartner genannt.

Atrazin und Metabolit Desethyl-Atrazin

IUPAC-Bezeichnung: 6-chloro-N2-ethyl-N4-isopropyl-1,3,5-triazine-2,4-diamine

Die Anwendung von Atrazin ist in Deutschland seit Anfang der 90er Jahre verboten. Dies gilt auch für sämtliche anderen Mitgliedsländer der Europäischen Union. In der Schweiz sind atrazinhaltige Pflanzenschutzmittel noch zugelassen (Stand der Information 30.10.2007) und laut Schweizer Bundesamt für Landwirtschaft (2007) unter den Handelsbezeichnungen *Ge-saprim* und *Primagram S Gold* erhältlich. Die Substanz wirkt als Herbizid und wurde hauptsächlich im Maisanbau eingesetzt, aber auch im Spargel- und Tomatenbau und zur Unkrautbeseitigung auf versiegelten Flächen.

Azoxystrobin

IUPAC-Bezeichnung: methyl (E)-2-[2[6-(2-cyanophenoxy)pyrimidin-4-yloxy]phenyl]-3-methoxyacrylate

Azoxystrobin gehört zu den mengenmäßig am meisten gehandelten Fungizid-Wirkstoffen in Deutschland und wird für die Behandlung von Getreide, Zuckerrüben, Gemüse und Zierpflanzen genutzt (IVA, 2005). Es ist in folgenden Präparaten enthalten: *Amistar*, *Amistar ZEN*, *Ortiva*, *Priori*, *Quadris*, *Univeralis* (+ Folpet), *Amistar Opti* (+ Chlorothalonil) (BVL, 2007a). Diese Mittel werden im Frühjahr bei Befallsbeginn bzw. ab Sichtbarwerden der ersten Symptome eingesetzt, bei maximal zwei Behandlungen pro Kultur und Jahr.

Bentazon

IUPAC-Bezeichnung: 3-isopropyl-1H-2,1,3-benzothiadiazin-4(3H)-one 2,2-dioxide

Bentazonhaltige Mittel sind im Ackerbau für Mais, Sommergetreide (Triticale, Gerste, Weizen, Hafer, Roggen) und Futterpflanzen, im Gemüsebau für Erbsen und Bohnen und diverse Arzneipflanzen zugelassen. Dabei handelt es sich laut BVL (2007a) um Präparate mit folgenden Handelsbezeichnungen: *Artett* (+ Terbutylazin), *Basagran Dryflow*, *Basagran DP* (+ Dichlorprop) und *Basagran*. Anwendungszeitpunkt ist bei Getreide und Mais im Nachauf-lauf.

Bromacil

IUPAC-Bezeichnung: (RS)-5-bromo-3-sec-butyl-6-methyluracil

Bromacilhaltige Pflanzenschutzmittel verfügen in Deutschland seit 1990 über keine Zulassung mehr. Sie wurden als Totalherbizide eingesetzt.

Diflufenican

IUPAC-Bezeichnung: 2',4'-difluoro-2-(alpha,alpha,alpha-trifluoro-m-tolyloxy)nicotinamide

Bei Diflufenican handelt es sich um einen Herbizid-Wirkstoff, der Bestandteil folgender Präparate ist: *Anicon* und *Loredo Unkrautfrei* (beide + MCPP), *Herold* und *Herold SC* (+ Flufenacet), *Fenikan* (+ Isoproturon), *Bacara* (+ Flurtamone), *Azur* (+ Isoproturon, Ioxy-nil) sowie *Absolute M* (+ Flurpysulfuron). Diese Angaben beziehen sich erneut auf die Liste der zugelassenen PSM in Deutschland (BVL, 2007a). Anwendungszeiträume sind im Getreideanbau nach dem Auflaufen im Herbst oder Frühjahr, vor dem Auflaufen im Wintergetreide und im Zierpflanzenbau (Rasen) während der Vegetationsperiode (Mai–August).

Dimethoat

IUPAC-Bezeichnung: O,O-dimethyl S-methylcarbamoylmethyl phosphorodithioate

Dieser Wirkstoff wird überwiegend im Obst- und im Zierpflanzenbau, aber auch im Zuckerrübenanbau eingesetzt und ist aufgrund seiner hohen Ökotoxizität besonders gewässerrelevant. Er wirkt als Insektizid und Akarizid (Einsatz gegen Spinnmilben im Obst-, Wein- und Gartenbau). Beim Zuckerrübenanbau erfolgt der Einsatz gegen die Rübenfliege nach Befallsbeginn oder ab Warndienstaufwurf. Als Präparate mit Dimethoat sind laut BVL (2007a) unter anderem *Jaguar*, *Rogor* und *Perfekthion* zu nennen.

Diuron

IUPAC-Bezeichnung: 3-(3,4-dichlorophenyl)-1,1-dimethylurea

Diuron wird hauptsächlich außerhalb der Landwirtschaft auf Nichtkulturland oder z. B. als Bestandteil von Außenfarben (Algizid) eingesetzt (BVL, 2007a). Zugelassene diuronhaltige Präparate: *Vetyl Unkraut-frei-Neu*, *Rapir WG* und *Cumatol WG* (jeweils + Amitrol), *Vorox WPD* (+ Propyzamid), *RA 15 neu* und *Unkraut-Ex*.

Epoxiconazol

IUPAC-Bezeichnung: (2RS,3SR)-1-[3-(2-chlorophenyl)-2-(4-fluoro-phenyl)oxiran-2-ylmethyl] -1H-1,2,4-triazole

Dieser Wirkstoff ist laut BVL (2007a) Bestandteil folgender zugelassener Ackerbau-Fungizide: *Champion* (+ Boscalid), *Diamant* (+ Fenpropimorph, Pyraclostrobin), *Juwel* (+ Kresoxim-methyl), *Juwel Forte* (+ Kresoxim-methyl, Quinoxifen, Fenpropimorph), *Juwel TT* und *Juwel Top* (+ Kresoxim-methyl, Fenpropimorph), *Opera* (+ Pyraclostrobin), *Optimo* (+ Kresoxim-methyl, Pyraclostrobin), *Opus*, *Opus Top* (+ Fenpropimorph), *Swing Gold*

(+ Dimoxystrobin). Er kommt im Getreideanbau sowie bei Futter- und Zuckerrübenanbau zum Einsatz. Anwendungszeitpunkte sind ab Frühjahr bei Befallsgefahr, bei Befall bzw. Sichtbarwerden der ersten Symptome und bei Neubefall.

Ethofumesat

IUPAC-Bezeichnung: (+/-)-2-ethoxy-2,3-dihydro-3,3-dimethylbenzofuran-5-yl methanesulfonate

Bei Ethofumesat handelt es sich um einen Herbizid-Wirkstoff, der zur Unkrautbekämpfung im Zucker- und Futterrübenanbau und teilweise auch im Gemüseanbau eingesetzt wird (BVL, 2007a). Er ist Bestandteil folgender Mittel: *Tramat 500*, *Ethosat 500*, *Stefes Magic Tandem* und *Rubenal Duo* und *Powertwin Plus* (alle drei jeweils + Phenmedipham), *Goltix Super* (+ Metamitron), *Betanal Expert* (+ Phenmedipham und Desmedipham) sowie *Betanal Quattro* (+ Phenmedipham und Desmedipham und Metamitron). Anwendungszeitpunkt im Rübenanbau ist im Nachauflaufstadium der Kultur.

Fenpropidin

IUPAC-Bezeichnung: (RS)-1-[3-(4-tert-butylphenyl)-2-methylpropyl]piperidine

Fenpropidin ist ein Fungizid-Wirkstoff im Ackerbau (Getreide-, Futter- und Zuckerrübenanbau sowie Gräser). Die zugelassenen Mittel heißen: *Zenit M*, *Agent* (+ Propiconazol), *Gladio* (+ Propiconazol, Tebuconazol) und *Spyrale* (+ Difenoconazol). Die Anwendung erfolgt bei Befallsbeginn bzw. bei Sichtbarwerden der ersten Symptome (BVL, 2007a).

Fenpropimorph

IUPAC-Bezeichnung: (+/-)-cis-4-[3-(4-tert-butylphenyl)-2-methylpropyl]-2,6-dimethylmorpholine

Hier handelt es sich um einen Fungizid-Wirkstoff gegen Erreger des Echten Mehltaus, Rost, Septoria-Arten sowie gegen Blattfleckenkrankheit. Haupteinsatzgebiet ist der Anbau von Getreide (Weizen, Gerste, Roggen, Triticale, Hafer) und Zuckerrüben. Zugelassene fenpropimorphhaltige Mittel heißen laut BVL (2007a): *Brio* (+ Kresoxim-methyl), *Corbel*, *Diamant* (+ Epoxiconazol, Pyraclostrobin), *Fortress Top* (+ Quinoxifen), *Juwel Forte* (+ Epoxiconazol, Kresoxim-methyl, Quinoxifen), *Juwel TT* und *Juwel Top* (beide + Epoxiconazol, Kresoxim-methyl) sowie *Opus Top* (+Epoxiconazol). Anwendungszeitpunkt ist ab Befallsbeginn und bei Neubefall.

Flufenacet

IUPAC-Bezeichnung: N-(4-fluoro-phenyl)-N-isopropyl-2-(5-trifluoro-methyl-[1,3,4]thiadiazol-2-yloxy)-acetamide

Flufenacet ist ein Herbizid-Bestandteil folgender laut BVL (2007a) zugelassener Präparate: *Artist* (+ Metribuzin), *Cadou*, *Cadou SC*, *Herold* (+ Diflufenican), *Herold SC* (+ Diflufenican), *Malibu* (+ Pendimethalin) und *Terano* (+ Metosulam). Eingesetzt werden diese Mittel im Ackerbau (Kartoffel, Spargel, Wintergetreide, Triticale, Dinkel, Mais) sowie im Gemüse- und im Zierpflanzenbau. Der jeweilige Anwendungszeitpunkt richtet sich nach der Kultur. So werden flufenacethaltige Präparate bei Kartoffeln im Voraufbau eingesetzt, bei Spargel im Pflanzjahr sieben bis zehn Tage nach dem Pflanzen, im Wintergetreide und bei Mais im Vor- oder Nachaufbau (Meyer et al., 2006).

Isoproturon

IUPAC-Bezeichnung: 3-(4-isopropylphenyl)-1,1-dimethylurea

Isoproturon gehört zur Gruppe der Harnstoff-Derivate und wird als Vor- und Nachaufbauherbizid im Sommer- und Wintergetreide empfohlen. Haupteinsatzzeit ist März/April und Oktober in Wintergetreide und Triticale. Präparate mit Isoproturon-Anteil sind laut BVL (2007a): *Arelon flüssig*, *Tolkan Flo*, *Arelon 700 flüssig*, *Arelon TOP*, *Protugan*, *Azur* (+ Ioxynil, Diflufenican), *Fenikan* (+ Diflufenican), und *Herbaflex* (+ Beflubutamid).

MCPA

IUPAC-Bezeichnung: (4-chloro-2-methylphenoxy)acetic acid

Die Phenoxy-carbonsäure MCPA wird zum Einsatz bei Getreide, im Grünland, im Weinbau und als „Rasenunkrautvernichter“ gegen zweikeimblättrige Unkräuter und zur Stoppelbearbeitung im September empfohlen. Derzeit sind neun MCPA-haltige Mittel auf dem Markt erhältlich (BVL, 2007a): *U 46 M-Fluid*, *Berghoff MCPA* und *Agroxone*. Kombinationspräparate mit Dicamba sind *Banvel M*, *Gabi Rasenunkraut-Vernichter*, *Bayer Garten Rasenunkraut-Frei*, *Utox* und *Rasunex*. Daneben enthält *Dicotex* den Wirkstoff MCPA (+ 2,4 D, Dicamba, MCPP). MCPA wird hauptsächlich beim Anbau von Wintergetreide, Triticale, im Grünland und im Obst- und Weinanbau verwendet sowie teilweise außerhalb der Landwirtschaft. Der Anwendungszeitpunkt ist im Getreide der Nachaufbau und im Grünland während der Vegetationsperiode von Mai bis August.

MCP

IUPAC-Bezeichnung: (RS)-2-(4-chloro-o-tolyloxy)propionic acid

Dieser Herbizid-Wirkstoff wird im Wintergetreide, auf Wiesen und Weiden, im Obstanbau sowie im Weinbau gegen Brennnessel und zweikeimblättrige Unkräuter eingesetzt. Präparate mit MCP heißen: *Compitone Plus*, *Duplosan KV*, *Duplosan KV-Combi* (+ 2,4 D), *FCS Optica MP*, *Foxtril super* (+ Ioxynil, Bifenox), *Aniten Super* (+ Ioxynil), *Bayer Garten Universal-Rasenunkraut-Frei* (+ Diflufenican), *Dicotex* (+ 2,4 D, Dicamba, MCPA), *Plattform S* (+ Carfentrazone) und *Marks Optica MPK*. Kombinationsprodukte mit Diflufenican sind *Loredo*, *Loredo Unkraut-Frei*, *Rasen-Unkrautvernichter Anicon*. Anwendung finden MCP-haltige Präparate bei Untersaaten nach dem Räumen der Deckfrucht, nach der letzten Nutzung im Grünland sowie im Nachauflauf von Getreide (BVL, 2007a). MCP wird auch zur Unkrautbekämpfung in Hausgärten oder auch z. B. zum Schutz vor Wurzeleinwuchs in Flachdachabdeckungen eingesetzt (siehe Punkt 2.2.3).

Metamitron und Metabolit Desamino-Metamitron

IUPAC-Bezeichnung: 4-amino-4,5-dihydro-3-methyl-6-phenyl-1,2,4-triazin-5-one

Metamitron findet als Herbizid hauptsächlich im Zuckerrüben- und Erdbeeranbau Verwendung (BVL, 2007a). Mittel mit Metamitron sind: *Goltix 700 SC*, *Metafol 700 SC*, *Beetix SC*, *Tornado*, *Goltix Super* (+ Ethofumesat) und *Betanal Quattro* (+ Ethofumesat, Phenmedipham, Desmedipham).

Metazachlor

IUPAC-Bezeichnung: 2-chloro-N-(pyrazol-1-ylmethyl)acet-2',6'-xylidide

Es handelt sich um einen Herbizid-Wirkstoff, der hauptsächlich im Rapsanbau und bei Kohlarten eingesetzt wird. Präparate mit Metazachlor heißen: *Butisan*, *Butisan Top* (+ Quinmerac) und *Nimbus CS* (+ Clomazone). Anwendungszeitpunkt im Winterraps ist nach dem Auflaufen im Herbst und bei Sommerraps im Vor- oder im Nachauflauf (BVL, 2007a).

Metribuzin

IUPAC-Bezeichnung: 4-amino-6-tert-butyl-4,5-dihydro-3-methylthio-1,2,4-triazin-5-one

Metribuzin ist ein Herbizid-Wirkstoff für den Einsatz beim Anbau von Kartoffeln, Spargel, Möhren und Tomaten. Mittel mit Metribuzin heißen laut BVL (2007a): *Lexone*, *Mistral*, *Sencor WG* und *Artist* (+ Flufenacet). Anwendungszeitpunkt ist bei Kartoffeln im Voraufbau, oder nach dem Auflaufen bis 5 cm Kartoffelhöhe. Beim Spargelanbau im Pflanzjahr, 7–10

Tage nach dem Pflanzen kurz vor dem Durchstoßen, nach dem Aufrichten der Dämme vor der Stechperiode sowie vor dem Austrieb und nach der Stechperiode (Meyer et al., 2006).

Propiconazol

IUPAC-Bezeichnung: (\pm) -1-[2-(2,4-dichlorophenyl)-4-propyl-1,3-dioxolan-2-ylmethyl]-1H-1,2,4-triazole
Zugelassene Propiconazol-Präparate sind: *Agent* (+ Fenpropidin), *Cirkon* (+ Prochloraz), *Desmel*, *Gladio* (+ Tebuconazol, Fenpropidin), *Stratego* (+ Trifloxystrobin), *Taspa* (+ Difenconazol) und *Tilt 250 EC*. Der Fungizidwirkstoff Propiconazol kommt im Ackerbau (Getreide, Zuckerrüben, Gräser) und im Zierpflanzenbau zum Einsatz. Anwendungen sind empfohlen ab Frühjahr bei Befallsbeginn bzw. beim Sichtbarwerden der ersten Symptome sowie bei Neubefall (BVL, 2007a).

S-Metolachlor

IUPAC-Bezeichnung: (S)-2-chloro-N-(2-ethyl-6-methyl-phenyl)-N-(2-methoxy-1-methyl-ethyl)-acetamide

S-Metolachlor ist ein Herbizid-Wirkstoff, der im Maisanbau im Vor- und im Nachauflauf angewendet wird. Folgende Mittel sind in Deutschland zugelassen: *Dual Gold*, *Gardo Gold* und *Primagram Gold* (jeweils + Terbuthylazin)(BVL, 2007a).

Spiroxamine

IUPAC-Bezeichnung: 8-tert-butyl-1,4-dioxaspiro[4.5]decan-2-ylmethyl(ethyl)(propyl)amine

Hier handelt es sich um einen Fungizid-Wirkstoff für die Behandlung von Getreide (Weizen, Gerste, Roggen, Triticale), Wein und Rosen gegen Fusarium-Arten, Septoria-Blattdürre, Erreger des Echten Mehltaus sowie Rost und Blattfleckenkrankheit. Zugelassene Präparate heißen laut BVL (2007a): *Impulse*, *Prosper*, *Input* (+ Prothioconazol) und *Pronto Plus* (+ Tebuconazol). Anwendungszeitpunkt ist im Getreide ab Frühjahr bei Befallsbeginn bzw. ab Sichtbarwerden der ersten Symptome, im Weinbau bereits bei Infektionsgefahr.

Tebuconazol

IUPAC-Bezeichnung: (RS)-1-p-chlorophenyl-4,4-dimethyl-3-(1H-1,2,4-triazol-1-ylmethyl) pentan-3-ol

Bei Präparaten mit Tebuconazol handelt es sich meist um Kombinationspräparate zur Bekämpfung von Pilzbefall im Ackerbau (Getreide, Raps, Senf), im Obstbau und beim Spargelanbau. Tebuconazolhaltige Präparate werden auch als Wachstumsregler (*Folicur* im Rapsanbau) und als Beizmittel für Getreidesaatgut verwendet. Andere Mittel heißen: *Arena C*

(+ Fludioxonil), *Bayazzo* (+ Fluoxastrobin, Prothioconazol), *EFA* (+ Triazoxid, Fluoxastrobin, Prothioconazol), *Gladio* (+ Propiconazol, Fenpropidin), *Landor CT* (+ Difenconazol, Fludioxonil), *Matador* (+ Triadimenol), *Pronto Plus* (+ Spiroxamine), *Solitär* (+ Fludioxonil, Cyprodinil). Der Hauptanwendungszeitraum ist von Juni bis Oktober (BVL, 2007a).

Terbuthylazin

IUPAC-Bezeichnung: N2-tert-butyl-6-chloro-N4-ethyl-1,3,5-triazine-2,4-diamine

Terbuthylazin wird im Maisanbau als Herbizid im Vor- und Nachauflauf angewandt. Es ist Bestandteil folgender in Deutschland laut BVL (2007a) zugelassener Pflanzenschutzmittel: *Zeagran*, *Click*, *Terbuthylazin 500*, *Chack*, *Artett* (+ Bentazon), *Bromoterb* und *Gardobuc* (jeweils + Bromoxynil), *Calaris* (+ Mesotrione), *Gardo Gold* und *Primagram Gold* (jeweils + S-Metolachlor), *Lido SC* (+Pyridat) und *Successor T* (+ Pethoxamid).

3.2.2.2 Auswahlverfahren Weinbau

Bei dem Wirkstoffspektrum, welches bei der Analyse der Proben aus der Weinbau-Kläranlage verwendet wurde, handelt es sich um eine Liste von 31 Fungizid- und zwei Insektizid-Wirkstoffen, die überwiegend im Weinbau zum Einsatz kommen. Im Jahr 2007 wurden zusätzlich noch die beiden verbotenen Substanzen Atrazin und Simazin ins Analysespektrum aufgenommen. Die Auswahl erfolgte in enger Zusammenarbeit mit dem Dienstleistungszentrum Ländlicher Raum Rheinpfalz (DLR), das auch die Probenahme und die Analytik für die Weinbau-Kläranlage übernahm. Unter der Federführung des DLR sind in der Vergangenheit bereits ähnliche Untersuchungen durchgeführt worden (Altmayer et al., 2003; Altmayer und Twertek, 2001). Die Informationen der Kurzcharakteristik der einzelnen Substanzen stammen aus dem Verzeichnis der zugelassenen Pflanzenschutzmittel des BVL (2007a). In der folgenden Tabelle 16 wurde auf die Darstellung des Parameters „Wirkstoffaufwand pro Fläche“ verzichtet. Dies liegt daran, dass die Aufwandmenge im Weinbau sich stets an dem sog. Basisaufwand orientiert, der im Verlauf der Vegetationsperiode an das Entwicklungsstadium der Rebe und die damit verbundene Vergrößerung der Zielfläche anzupassen ist (DLR Rheinpfalz, 2007). Konkrete Zahlen zur Absatzmenge der untersuchten Wirkstoffe in einem bestimmten Bezugsjahr liegen nicht vor.

Tab. 16 Spektrum der analysierten Wirkstoffe in den Proben der Weinbau-Kläranlage

Lfd. Nr.	Wirkstoff	Chemische Gruppe ²⁸	Hauptanwendung	Präparate ²⁹
1	Azoxystrobin	Strobilurin-Analoga	Fungizid Weinbau, Gemüse- und Ackerbau	<i>Quadris, Amistar, Ortiva</i>
2	Boscalid	Unklassifiziert, Organische Fungizide	Fungizid Weinbau, Ackerbau	<i>Cantus, Collis</i>
3	Cyprodinil	Anilinopyrimide	Fungizid Weinbau, Obst	<i>Chorus, Solitär (Beize), Switch</i>
4	Dichlofluanid	Anilide	Fungizid Weinbau	<i>Euparen (verboten)</i>
5	Dimethoat	Aliphatische Dithiophosphor- und Dithiophosphorsäureester	Insektizid Obst, Garten, Ackerbau	<i>Bi 58, Perfekthion, Rogor</i>
6	Dimethomorph	Morpholine	Fungizid Weinbau, Garten, Ackerbau	<i>Acrobat Plus WG, Forum, Forum Star</i>
7	Epoxiconazol	Triazole	Fungizid Ackerbau	<i>Juwel, Opera, Opus, Opus Top</i>
8	Famoxadone	unklassifiziert, organische Fungizide	Fungizid Weinbau, Garten, Ackerbau	<i>Equation Pro, Tanos</i>
9	Fenarimol	Pyrimidinyl-carbinol-Verbindungen	Fungizid Weinbau	<i>Vento</i>
10	Fenhexamid	unklassifiziert, organische Fungizide	Fungizid Weinbau, Obst, Garten	<i>Teldor</i>
11	Fenpropimorph	Morpholine	Fungizid Ackerbau	<i>Juwel Top, Opus Top, Fortress Top, Corbel</i>
12	Fludioxonil	unklassifiziert, organische Fungizide	Fungizid Weinbau, Obst, Acker	<i>Arena C (Beize), Celest (Beize), Landor (Beize), Solitär (Beize), Switch</i>
13	Fluquinconazol	Triazole	Fungizid Weinbau, Obst, Ackerbau	<i>Castellan, Jockey (Beize), Vision, Galamo (Beize)</i>
14	Folpet	N-Triholomethylthio-Verbindungen	Fungizid Weinbau, Gartenbau	<i>Folpan 80, Folpan 500, Ridomil GC</i>
15	Iprodion	Dicarboximide	Fungizid Weinbau, Gartenbau, Ackerbau	<i>Rovral, Verisan</i>
16	Iprovalicarb	unklassifiziert, organische Fungizide	Fungizid Weinbau	<i>Melody</i>
17	Kresoxim-methyl	Strobilurin-Analoga	Fungizid Weinbau, Ackerbau	<i>Collis, Juwel, Juwel Top</i>
18	Metalaxyl-m	Phenylamide	Fungizid Weinbau, Garten, Ackerbau	<i>Fonganil, Ridomil GC, Ridomil GMZ</i>
19	Methidation	Cyclische Dithiophosphor- und Dithiophosphorsäure-ester	Insektizid Weinbau, Ackerbau	<i>Ultracid (verboten)</i>

²⁸ Einteilung nach BVL, 2005: Absatz von Pflanzenschutzmitteln in der Bundesrepublik Deutschland.²⁹ Präparate laut BVL, 2007a (Stand Januar 2007).

20	Myclobutanil	Triazole	Fungizid Weinbau, Obst, Garten	<i>Systhane 20EW</i>
21	Parathion-ethyl	Phenylorganothiophosphate	Insektizid Weinbau	<i>E 605</i> (verboten)
22	Parathion-methyl	Phenylorganothiophosphate	Insektizid Weinbau	<i>ME 605</i> (verboten)
23	Penconazol	Triazole	Fungizid Weinbau	<i>Topas</i>
24	Prochloraz	Imidazole	Fungizid Ackerbau	<i>Abavit UF, Jockey, Rubin</i> (Beize), <i>Galamo</i> (Beize), <i>Cirkon, Mirage</i>
25	Propiconazol	Triazole	Fungizid Ackerbau	<i>Agent, Glado, Taspas, Cirkon, Stratego</i>
26	Pyrimethanil	Anilinopyrimide	Weinbau, Obst, Ackerbau	<i>Rubin</i> (Beize), <i>Scala, Vision</i>
27	Quinoxifen	unklassifiziert, organische Fungizide	Fungizid Weinbau, Obst	<i>Fortress, Fortress Top, Vento</i>
28	Spiroxamine	Morpholine	Fungizid Weinbau, Ackerbau	<i>Impulse, Pronto, Prosper</i>
29	Tebuconazol	Triazole	Fungizid Weinbau, Obst, Garten, Ackerbau	<i>Arena C</i> (Beize), <i>Gladio, Landor</i> (Beize), <i>Solitär</i> (Beize), <i>Folicur, Folicur EM, Pronto</i>
30	Tolyfluamid	N-Triholomethylthio-Verbindungen	Fungizid Weinbau, Obst, Garten	<i>Euparen, Monceren</i> (Beize)
31	Triadimenol	Triazole	Fungizid Weinbau, Ackerbau	<i>Baytan</i> (Beize), <i>Manta</i> (Beize)
32	Trifloxystrobin	Strobilurin-Analoga	Fungizid Weinbau, Obst, Garten, Ackerbau	<i>Flint, Stratego</i>
33	Vinclozolin	Dicarboximid-Fungizid	Fungizid Weinbau	<i>Ronilan FL</i> (verboten)

3.3 Analyse der Proben

Die Aufbereitung sowie die Analyse der Proben sämtlicher sieben Ackerbau-Kläranlagen erfolgte durch das Institut für Umweltforschung (InfU) der Uni Dortmund. Nach der Einlieferung durch den Transportdienst wurde im Labor unmittelbar (ohne Einfrieren) mit der Aufbereitung begonnen. Dazu wurden die Zielanalyten durch Festphasenextraktion (SPE) an einer Polymerphase angereichert. Die Analyse erfolgte mittels Hochleistungs-Flüssigchromato-

graphie (HPLC), gekoppelt mit Tandemmassenspektrometrie (LC-MS/MS). Eine ausführliche Beschreibung der verwendeten Methodik geben Zühlke et al. (2006, 2007).

Die Proben der Weinbau-Kläranlage wurden vom DLR analysiert. Nach Festphasenextraktion (RP-18-Säulen) wurden die Wirkstoffe über Silicia-Gel gaschromatographisch (Trace-GC, Thermo Quest) mit Hilfe eines Elektroneneinfang-Detektors bestimmt (pers. Mitteilung Twertek, 2006).

3.4 Auswertung der Daten

Die Analysedaten sind für die Weinbau- und die Ackerbau-Kläranlagen getrennt ausgewertet worden; dieser Aufteilung folgt auch die getrennte Darstellung der Ergebnisse in den Kapiteln 4 (für die Weinbau-Kläranlage) und 5 (für die Ackerbau-Kläranlagen).

3.4.1 Daten der Weinbau-Kläranlage

Für die Weinbau-Kläranlage (KA_N) wurden vom DLR Rheinpfalz bereits PSM-Wochenfrachten für den gesamten Beprobungszeitraum berechnet und übermittelt. Die Auswertung erfolgte zunächst unterteilt für drei Betrachtungszeiträume. Es handelte sich dabei um die Hauptapplikationszeiträume in den Jahren 2006 und 2007, die jeweils zwischen der 20. und 43. Kalenderwoche (KW) liegen. Der dritte Betrachtungszeitraum umfasst die dazwischen liegende Zeit vom 1. November 2006 bis zum 14. Mai 2007.

Im ersten Schritt werden die Gesamtsumme aller PSM-Funde (Frachten) sowie der Anteil einzelner Substanzen an der Gesamtfracht in den verschiedenen Betrachtungszeiträumen berechnet. Für die weitere Analyse der Ergebnisse wurden nur noch die dominierenden fünf Wirkstoffe weiter ausgewertet, deren Frachtsummen zusammen mehr als 80 % der Gesamtfracht im Beprobungszeitraum beitragen. Außerdem wurde der Wirkstoff Fenpropimorph nicht weiter berücksichtigt, da für diese Substanz keine Anwendungen im Weinbau bekannt sind. Abschließend werden die Pflanzenschutzempfehlungen des regionalen Pflanzenschutzdienstes in den Jahren 2006 und 2007 ausgewertet, um die tatsächlichen Applikationstermine der einzelnen Präparate zu ermitteln und mit den Fundzeiträumen im Ablauf der Kläranlage zu vergleichen zu können.

3.4.2 Daten der Ackerbau-Kläranlagen

Die Analysedaten der Ackerbau-Kläranlagen wurden in Form der Konzentrationsmessergebnisse der Einzelproben vom InfU übermittelt. Mit Hilfe der Tagesablaufwerte der dazugehörigen Kläranlagen wurden zunächst die Wirkstoff-Frachten berechnet. Für einige Termine, an denen Proben einzelner Kläranlagen verloren gegangen waren, liegen keine Ergebnisse vor, so dass die tatsächlichen Frachten dieser Wirkstoffe bzw. Messperioden in diesen Fällen höher sein können als die im Kap. 5 dargestellten Proben ohne Befund gingen mit dem Wert 0 in die Berechnung ein, Analyseergebnisse unterhalb der Bestimmungsgrenze (BG) von 0,05 µg/l gingen mit dem Wert 0,025 µg/l (halbe BG) in die weitere Datenauswertung ein.

Die Ergebnisse der Ackerbau-Kläranlagen werden für die Beprobungsperioden Herbst 2006 und Frühjahr 2007 getrennt dargestellt (s. Kapitel 5.1 und 5.2). Für jede Kläranlage werden zunächst die Gesamtfracht aller Wirkstoffe und zusätzlich dazu die Frachtsumme unter Ausschluss der Fracht des Wirkstoffs Diuron ermittelt. Es ist davon auszugehen, dass die Diuron-Frachten zum größten Teil aus nicht-landwirtschaftlichen Quellen stammen, bei der weiteren Auswertung werden daher die Ergebnisse für Diuron *nicht* einbezogen.

Anschließend werden die Nachweishäufigkeiten für die einzelnen Substanzen dargestellt sowie die maximalen Konzentrationen, die in den Proben gefunden wurden. Die weitere Auswertung der Daten umfasst die Berechnung der Kenngrößen „PSM-Frachten“ und „PSM-Frachten pro Hektar Applikationsfläche“. Im letzten Schritt werden auch im Bereich der Ackerbau-Kläranlagen die Fundzeiträume der frachtdominierenden Wirkstoffe mit den Applikationszeiträumen in den Einzugsgebieten verglichen.

3.4.3 Niederschlagsverteilung und Wirkstoff-Frachten

Sowohl für die Weinbau- als auch für die Ackerbau-Kläranlagen wurde weiterhin untersucht, ob möglicherweise ein Zusammenhang zwischen dem Niederschlagsgeschehen im Einzugsgebiet der Kläranlage und der Frachtmenge im Ablauf der Anlagen besteht. Dazu wurden Regressionen zwischen der Niederschlagssumme (Quelle: DWD) für die Probenahmezeiträume [mm pro 3 d bzw. 4 d] und den Wirkstoff-Frachten [g pro 3 d bzw. 4 d] berechnet (Niederschlag als unabhängige Variable, Wirkstofffracht als abhängige Variable). Es wurden nur Wertepaare mit einer Fracht >0 einbezogen.

Gelöscht: ¶
¶

Für den zeitgleichen Ansatz wurden die Wertepaare aus der Wirkstofffracht und Niederschlagsmenge für das jeweils *gleiche* Beprobungsintervall (3 d bzw. 4 d) für die Regressionsberechnung herangezogen. Bei der zeitversetzten Betrachtung wurde die Wirkstofffracht mit der Niederschlagshöhe des *vorgehenden* Beprobungsintervalls in Beziehung gesetzt. Mit den zeitversetzten Regressionen wurde geprüft, ob sich Niederschläge möglicherweise durch entsprechend lange Aufenthaltszeiten des Wassers im Einzugsgebiet oder in der Kläranlage erst an den darauffolgenden Tagen auf die Fracht im Ablauf der Kläranlage auswirken. Als Maßgröße für die Stärke der Regressionsbeziehung dient in allen Fällen das Bestimmtheitsmaß R^2 .

4. Pflanzenschutzmittel-Frachten im Ablauf der Weinbau-Kläranlage

Die Weinbau-Kläranlage KA_N wurde vom 15. Mai 2006 bis zum 28. Oktober 2007 durchgängig beprobt.³⁰ Für die Auswertung und Darstellung der Ergebnisse wurde die Untersuchungsperiode in drei Betrachtungszeiträume untergliedert: die Zeiträume der beiden Hauptapplikationsperioden (jeweils 20. – 43. Kalenderwoche) in den Jahren 2006 und 2007 sowie als dritten Betrachtungszeitraum die Zeit dazwischen vom 01.11.2006 bis zum 30.04.2007.

4.1 Gesamtfrachten in den Applikationszeiträumen 2006 und 2007

Die Gesamtfracht aller 33 analysierten Wirkstoffe im Ablauf der KA_N betrug im Jahr 2006 während der Hauptapplikationsperiode rund 11,5 kg und im Jahr 2007 ca. 5,5 kg; Abb. 10 gibt die Verteilung der wöchentlichen Wirkstofffrachten im Zeitverlauf wieder.

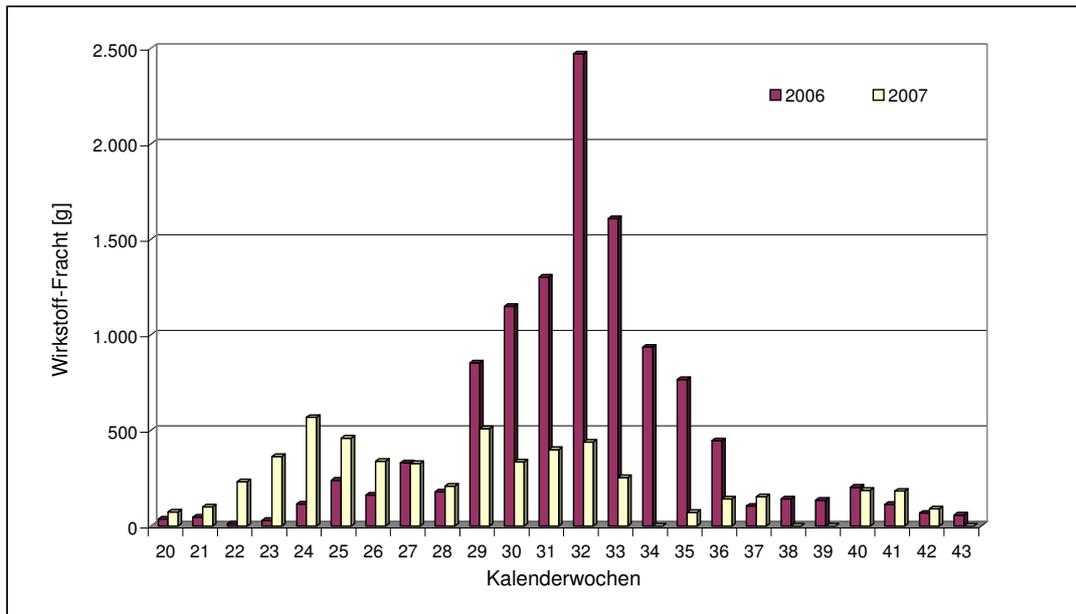


Abb. 10. Wöchentliche Pflanzenschutzmittel-Frachten (Summe 33 Wirkstoffe) im Ablauf der KA_N während der Hauptapplikationsperioden (20. – 43. KW) in den Jahren 2006 und 2007

Im Jahr 2006 war zwischen der 29. und der 36. KW eine sehr stark ausgeprägte Spitze der PSM-Frachten zu verzeichnen mit einer maximalen Wochenfracht von fast 2,5 kg in der 33. KW. Das Verteilungsbild im Jahr 2007 unterscheidet sich dagegen erheblich von dem des

³⁰ Aufgrund von Problemen bei der Analytik liegen für KW 34, 38 und 39 des Jahres 2007 keine verwertbaren Ergebnisse vor

Vorjahres: Die wöchentlichen Frachten bleiben über einen längeren Zeitraum (23. – 33. KW) auf einem annähernd gleichbleibenden, relativ niedrigeren Niveau, ein ausgeprägter Peak wie in 2006 tritt nicht in Erscheinung. Ursache hierfür sind die unterschiedlichen Witterungsverhältnisse in den Vergleichszeiträumen. Während es im Jahr 2006 während der Hauptapplikationsperiode relativ nass war, was zu erhöhtem Fäulnisdruck und damit zu erhöhtem PSM-Einsatz führte, war es in den KW 29 bis 36 im Jahr 2007 deutlich trockener. Unter Punkt 4.8 werden die Wirkstoff-Frachten an der KA_N in beiden Applikationszeiträumen vor dem Hintergrund von PSM-Empfehlungen des zuständigen Pflanzenschutzdienstes im Detail untersucht.

4.2 Einzelwirkstoff-Frachten in den Applikationszeiträumen 2006 und 2007

Abb. 11 gibt eine Übersicht zu den Frachten der einzelnen Wirkstoffe während der Hauptapplikationsperioden 2006 und 2007. Bei der Betrachtung der Frachten einzelner Wirkstoffe fällt auf, dass im Betrachtungszeitraum 2006 für die vier Wirkstoffe Fenhexamid, Fenpropimorph, Pyrimethanil und Tebuconazol sehr hohe Frachten gemessen wurden, die aus dem Niveau der übrigen Substanzen erheblich herausragen.

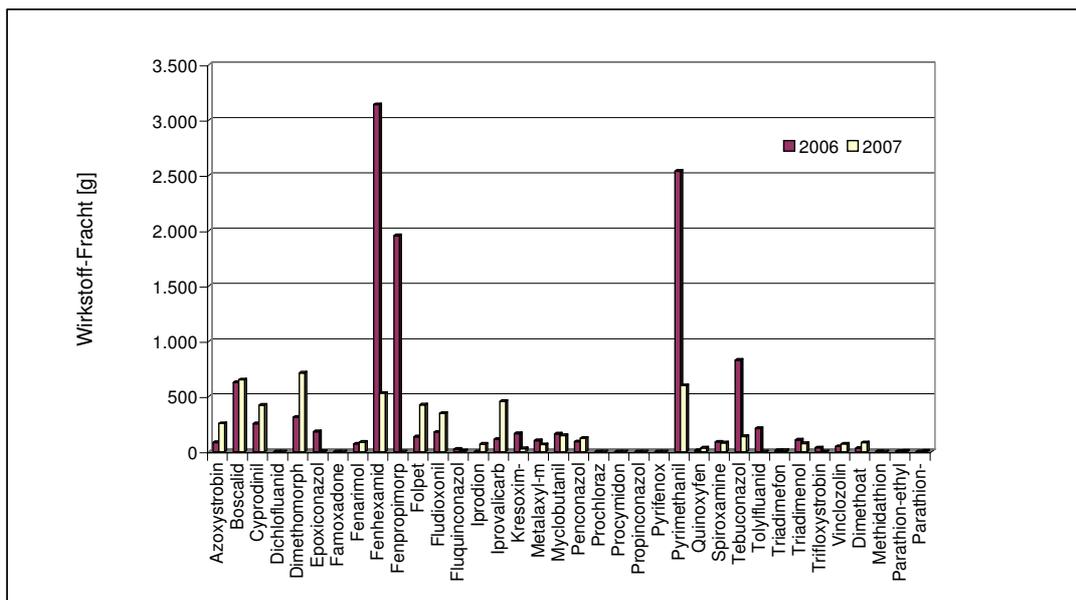


Abb. 11. Gesamt-Fracht der einzelnen Wirkstoffe im Ablauf der KA_N während der Hauptapplikationsperioden (20. – 43. KW) in den Jahren 2006 und 2007

Für das Jahr 2007 (20. – 43. KW) zeigt sich insgesamt eine homogenere Verteilung der Einzelfrachten auf niedrigerem Niveau. Auch die Reihenfolge der Frachtmengen der Substanzen variiert, der Wirkstoff mit der höchsten Gesamtfracht im Hauptapplikationszeitraum 2006 war Fenhexamid (3141 g), die höchste Fracht im Vergleichszeitraum 2007 wies dagegen Dimetomorph (714 g) auf. Fenpropimorph wurde im Jahr 2006 mit drittgrößter Menge (1955 g) gefunden, im Jahr 2007 dagegen erstaunlicherweise überhaupt nicht.

In beiden Betrachtungszeiträumen gab es mehrere Substanzen, die in keiner Probe detektiert wurden (dies gilt für den gesamten Untersuchungszeitraum vom 15.05.06 bis 28.10.07). Es handelt sich um die Fungizid-Wirkstoffe Dichlofluanid, Famoxadone, Prochloraz und Propiconazol. Die Substanzen Iprodion und Parathion-methyl wurden nur im Jahr 2007 detektiert, die ermittelte Gesamtfracht von Iprodion in diesem Untersuchungszeitraum beträgt 69 g und die von Parathion-methyl 6 g.

Tab. 17 fasst diejenigen Wirkstoffe zusammen, deren Einzelfrachten in der Summe rund 80 % der Gesamtfracht im Ablauf der KA_N zwischen der 20. und der 43. KW 2006 ausmachten. Es ist auffällig, dass es sich um vergleichsweise wenig Wirkstoffe mit relativ hohen Einzelfrachten handelt. Das könnte ein Hinweis für die Marktdurchdringung bestimmter Wirkstoffe bzw. Präparate oder die Persistenz einzelner Substanzen sein.

Tab. 17. Wirkstoffe, deren Summe der Einzelfrachten 80 % der Gesamtfracht in der Applikationsperiode 2006 (20. – 43. KW) betrug

Substanz	Präparat ³¹	Wirkstofffracht 2006 (20.-43. KW) [g]	Anteil an der Gesamtfracht 2006 (20.-43. KW) [%]	Frachtsumme im Vergleichszeitraum 2007 (20.-43. KW) [g]
Fenhexamid	Weinbau-Fungizid <i>Teldor</i>	3143	27	530
Pyrimethanil	Weinbau-Fungizid <i>Scala</i>	2538	22	599
Fenpropimorph	Ackerbau-Fungizide: <i>Brio, Corbel, Diamant, Fortress Top, Juwel Forte, Juwel TT, Juwel Top</i> und <i>Opus Top</i>	1955	17	0
Tebuconazol	Weinbau-Fungizid <i>Folicur EM</i> ³²	950	8	139
Boscalid	Weinbau-Fungizide: <i>Cantus, Collis</i>	723	6	651

Tatsächlich sind Fenhexamid, Pyrimethanil und Boscalid Bestandteile von Spezialbotrytiziden für den Weinbau, Tebuconazol ist ein Fungizid-Wirkstoff, der sowohl in Ackerbaupräparaten als auch im Weinbau-Fungizid *Folicur EM* eingesetzt wird. Allerdings ist die Anwendung von *Folicur EM* im Freiland seit Februar 2007 verboten (BVL, 2007b). Fenpropimorph ist Bestandteil von Ackerbau-Fungiziden; der Wirkstoff war im Vergleichszeitraum 2007 der dritt wichtigste Wirkstoff (bezogen auf gesamte, im Kläranlagenablauf detektierte Einzelwirkstoff-Fracht), wurde dagegen im Zeitraum Mai bis Oktober 2007 überhaupt nicht gefunden.

Tab. 18 gibt einen entsprechenden Überblick über die Wirkstoffe, die während der Hauptapplikationsperiode im Jahr 2007 rund 80 % der Gesamtwirkstofffracht verursacht haben. Der Mittelwert der Einzelfrachten beträgt 445 g. Alle aufgeführten acht Substanzen sind Bestandteile von Fungizidpräparaten, die für den Einsatz im Weinbau zugelassen sind.

³¹ Zugelassene Präparate nach BVL, 2007a (Stand Januar 2007).

³² Zulassung ruht seit 21.02.07 zunächst bis zum 31.12.2007, Vertrieb und Anwendung im Freiland seitdem untersagt (BVL, 2007 b).

Tab. 18. Wirkstoffe, deren Summe der Einzelfrachten 80 % der Gesamtfracht in der Applikationsperiode 2007 (20. – 43. KW) betrug

Substanz	Präparat ³³	Wirkstofffracht 2007 (20.-43. KW) [g]	Anteil an der Gesamtfracht 2007 (20.-43. KW) [%]	Frachtsumme im Vergleichszeitraum 2006 (20.-43. KW) [g]
Dimetomorph	Weinbau-Fungizide: <i>Forum</i> und <i>Forum Star</i>	714	13	313
Boscalid	Weinbau-Fungizide: <i>Cantus</i> , <i>Collis</i>	651	12	723
Pyrimethanil	Weinbau-Fungizid <i>Scala</i>	599	11	2538
Fenhexamid	Weinbau-Fungizid <i>Teldor</i>	530	10	3143
Iprovalicarb	Weinbau-Fungizid <i>Melody Combi</i>	456	8	111
Folpet	Weinbau-Fungizid <i>Universalis</i>	425	8	136
Cyprodinil	Weinbau-Fungizid <i>Botrysan</i>	421	8	265
Fludioxonil	Weinbau-Fungizide: <i>Botrysan</i> und <i>Switch</i>	348	6	179
Azoxystrobin	Weinbau-Fungizide: <i>Quadris</i> und <i>Universalis</i>	255	5	84

In den Tab. 17 und 18 sind lediglich die Gesamtfrachten wiedergegeben. Separate Darstellungen der zeitlichen Verteilung der PSM-Funde (Wochenfrachten) im Kläranlagenablauf für jeden der aufgeführten Wirkstoffe sind im Anhang zu finden (Abb. A-1. bis A-11.).

4.3 PSM-Frachten im Zeitraum 01.11.2006 bis 14.05.2007

In der Zeit zwischen den Hauptapplikationsperioden wurde die Beprobung kontinuierlich weitergeführt. Auch in den Monaten November bis Mitte Mai wurden regelmäßig PSM in den Ablaufproben aus der KA_N gefunden, jedoch insgesamt in wesentlich geringeren Mengen als während der Hauptphasen, wie Abb. 12 zeigt (zur Beachtung: geänderte Skalierung der Ordinate gegenüber Abb. 10 und 11). Die Gesamtfracht für diesen Zeitraum beträgt 714 g. Diese Gesamtfracht setzt sich zusammen aus Azoxystrobin (10 g), Boscalid (178 g), Cyprodinil (123 g), Fenhexamid (24 g), Fludioxonil (71 g), Fluquinconazol (21 g), Myclobu-

³³ zugelassene Präparate nach BVL, 2007a (Stand Januar 2007).

tanil (3 g), Penconazol (26 g), Pyrimethanil (3 g), Tebuconazol (183 g), Triadimenol (36 g), Trifloxystrobin (38 g) und Parathion-ethyl (1 g).

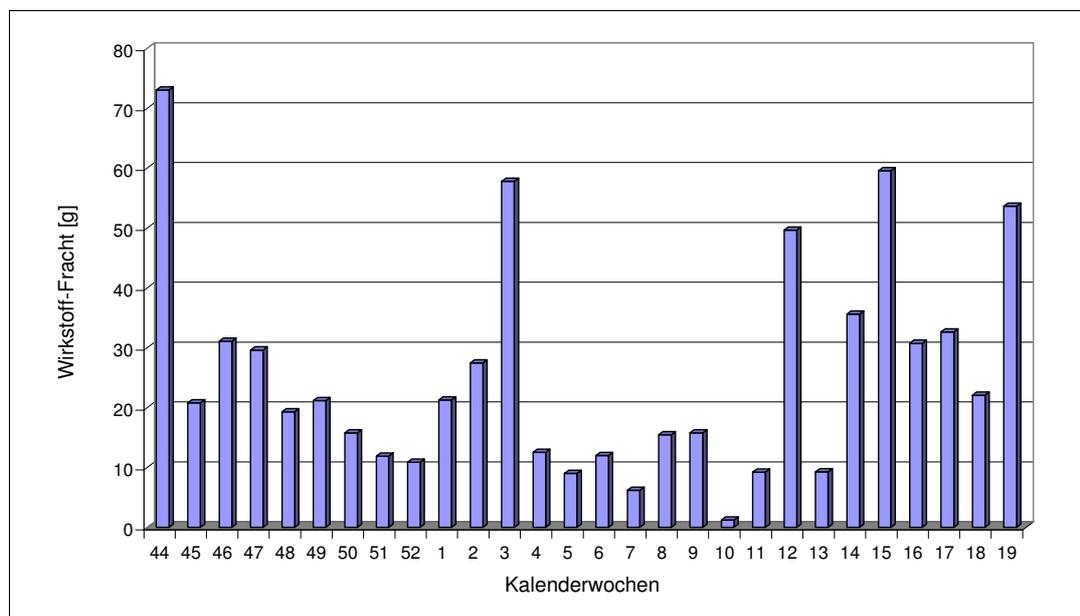


Abb. 12. Wöchentliche Pflanzenschutzmittel-Frachten (Summe 33 Wirkstoffe) im Ablauf der KA_N im Zeitraum November 2006 bis Mai 2007

In Tab. 19 werden die Frachten dieser Wirkstoffe aus den Monaten November bis April mit denen der Hauptapplikationszeiträume im Jahr 2006 und 2007 verglichen.

Tab. 19. Vergleich der Wirkstoff-Frachten an der KA_N in unterschiedlichen Zeiträumen

Wirkstoff	Fracht [g]	Fracht [g]	Fracht [g]
	Mai - Okt. 2006	Nov. 2006 - Mai 2007	Mai - Okt. 2007
Tebuconazol	950	183	139
Boscalid	723	178	651
Cyprodinil	265	123	421
Fludioxonil	179	71	348
Trifloxystrobin	35	38	2
Azoxystrobin	84	10	255
Fenhexamid	3.143	24	530
Fluquinconazol	23	21	10
Myclobutanil	162	3	147
Pyrimethanil	2.538	3	599
Triadimenol	106	36	76
Parathion-ethyl	5	1	6
SUMME	8213	691	3184

Für die zwei Substanzen Trifloxystrobin und Fluquinconazol übersteigt die Wirkstofffracht in der Zeit Nov. 2006 - Mai 2007 jeweils die gemittelten Frachten während der Applikationszeiträume. Bei beiden handelt es sich um Fungizid-Wirkstoffe, die sowohl im Weinbau als auch im Ackerbau eingesetzt werden. Allerdings wurde keiner der beiden Wirkstoffe im Winter 2006/2007 kontinuierlich im Ablauf der KA_N gefunden. Die Einträge von Trifloxystrobin lassen sich auf zwei Proben vom 19. März und vom 26. März zurückführen; Fluquinconazol wurde in kleineren Mengen vom 16.04.07 bis 07.05.07 detektiert.

83 % der Gesamtfracht der PSM-Funde im Ablauf der KA_N in den Monaten November bis April werden durch die Wirkstoffe Tebuconazol, Boscalid, Cyprodinil und Fludioxonil verursacht. Dabei ist zu beachten, dass die Substanzen Boscalid und Tebuconazol fast durchgängig gefunden werden (siehe Abb. 13). Auffallend ist, dass die Frachten insgesamt einen asymptotischen Rückgang aufzeigen. Dies lässt sich durch Einwinterung der Geräte und damit verbundene Reinigungsvorgänge erklären.

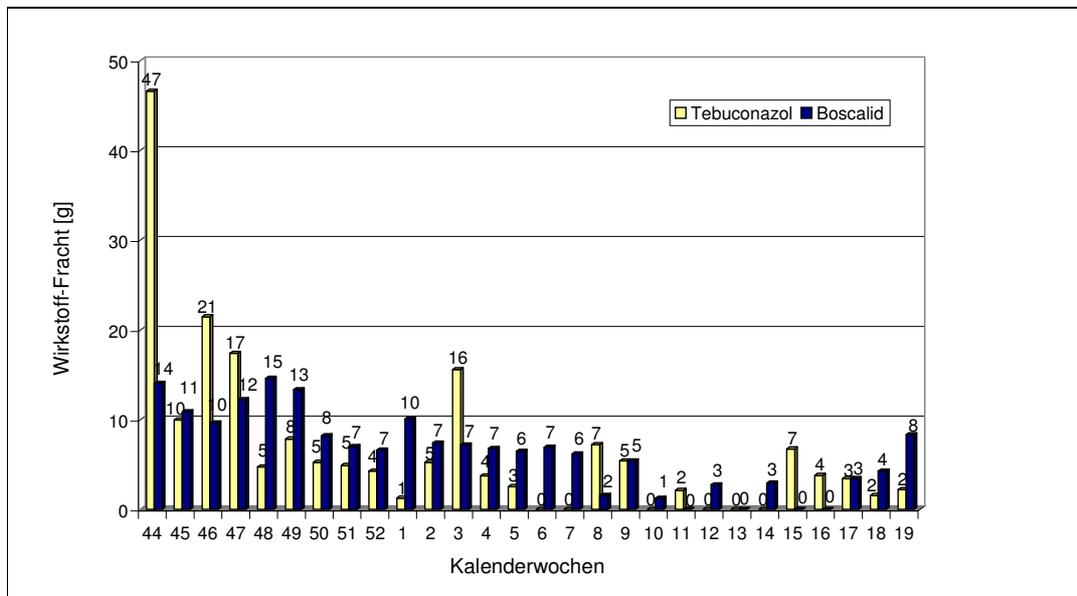


Abb. 13. Wöchentliche Frachten der Wirkstoffe Tebuconazol und Boscalid im Ablauf der KA_N von November 2006 bis Mai 2007

4.4 Atrazin- und Simazin-Frachten im Jahr 2007

Im Jahr 2007 wurde das Wirkstoff-Spektrum um Simazin und Atrazin erweitert. Beide Substanzen sind seit Anfang der 1990er Jahre in Deutschland verboten; trotzdem konnten beide im Ablauf der KA_N nachgewiesen werden. Die Gesamtfracht für den Zeitraum 1.01.07 bis 28.10.07 betrug für Atrazin 6 g und für Simazin 84 g. Gründe für das Auftreten wurden in der vorliegenden Untersuchung nicht deutlich. Möglich ist, dass einige wenige Landwirte diese Substanzen tatsächlich noch verwenden oder aber einzelne Wirkstoffdepots bestehen, von denen im Laufe der Zeit kleinere Mengen ausgetragen werden.

Die Einträge von Atrazin beschränken sich auf die zwei Beprobungen in der 26. KW (11. bis 17. Juni 2007). An diesen Terminen wurden in den Ablaufproben relativ geringe Atrazin-Konzentrationen (0,05 und 0,06 µg/l) gemessen, was errechnete Einzelfrachten von 3,1 g und 2,8 g ergibt. Die Einträge von Simazin erstrecken sich über den Zeitraum von Anfang April bis Mitte Oktober 2007 (siehe Abb. 14). Die Gesamtfracht von Simazin bewegt sich in derselben Größenordnung wie diejenige der Substanzen Fenarimol (86,5 g), Dimethoat (81,5 g) und Spiroxamine (81,5 g) (Betrachtungszeitraum hier stets 1. – 43. KW 2007).³⁴

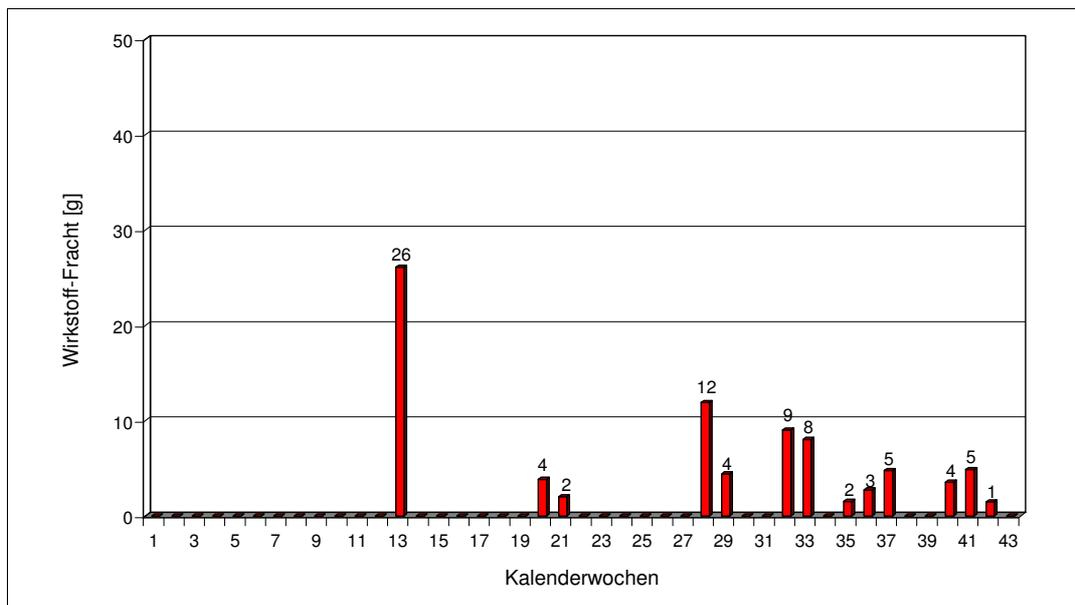


Abb. 14. Wöchentliche Frachten des Wirkstoffs Simazin im Ablauf der KA_N im Jahr 2007 (1.-43. KW)

³⁴ Für die KW 34, 38 und 39 liegen keine verwertbaren Ergebnisse vor

4.5 Niederschlagsverteilung und Wirkstoff-Frachten

Um herauszufinden, ob möglicherweise ein Zusammenhang zwischen der Höhe der Niederschläge im Einzugsgebiet der Kläranlage und der Höhe der PSM-Frachten im Ablauf der KA_N für die Beprobungszeiträume besteht, wurden Regressionsanalysen durchgeführt (zur Methodik s. Kap. 3.4.3).

Die Bestimmtheitsmaße R^2 der Regressionen sind für die beiden Szenarien sehr unterschiedlich, sowohl im Hinblick auf die einzelnen Wirkstoffe untereinander als auch bezogen auf die drei Betrachtungszeiträume (siehe Tab. 20). Bis auf drei Ausnahmen sind alle Bestimmtheitsmaße kleiner als 0,3. Der höchste Wert wurde mit $R^2 = 0,93$ für den Wirkstoff Folpet im Zeitraum Mai bis Oktober 2006 festgestellt, allerdings basiert dieses Ergebnis auf nur fünf ausgewerteten Wertepaaren. Die entsprechenden graphischen Darstellungen der Regressionsanalysen für ausgewählte Wirkstoffe sind im Anhang zu finden. Insgesamt gesehen ist auf Basis dieser Auswertung völlig unerwartet kein Zusammenhang zwischen dem Niederschlagsgeschehen und der PSM-Fracht im Kläranlagenablauf zu erkennen. Zur Überprüfung des Ergebnisses wäre eine Versuchswiederholung mit einem detaillierten Datensatz hilfreich (Vergleich von Tagesniederschlagsmengen und Wirkstoffbefrachtung pro Tag am Kläranlagenablauf oder sogar in einer höheren zeitlichen Auflösung).

Tab. 20. Bestimmtheitsmaße R^2 der Regressionen zwischen den Wirkstoff-Frachten und der Niederschlagsmenge im Einzugsgebiet der KA_N für alle Beprobungstermine mit Fracht > 0, verschiedene Auswertungszeiträume und Berechnungsansätze (n = Anzahl Wertepaare)

Wirkstoff	Bestimmtheitsmaß Mai - Okt. 2006	Bestimmtheitsmaß Nov. 2006 - Mai 2007	Bestimmtheitsmaß Mai - Okt. 2007
Azoxystrobin	0,01 (0,02)	--	0,07 (0,00)
Boscalid	0,17 (0,20)	0,00 (0,02)	0,00 (0,07)
Cyprodinil	0,01 (0,05)	0,14 (0,13)	0,10 (0,02)
Dimetomorph	0,00 (0,00)	--	0,30 (0,03)
Fenhexamid	0,66 (0,20)	--	0,03 (0,40)
Fenpropimorph	0,13 (0,04)	--	--
Fludioxonil	0,06 (0,01)	--	0,10 (0,01)
Folpet	0,93 (0,00)	--	0,10 (0,00)
Iprovalicarb	0,29 (0,08)	--	0,48 (0,00)
Pyrimethanil	0,17 (0,01)	--	0,17 (0,01)
Tebuconazol	0,19 (0,08)	0,00 (0,01)	0,19 (0,00)

4.6 Frachten bezogen auf die Anzahl der angeschlossenen Weinbaubetriebe

Das Einzugsgebiet der Kläranlage KA_N ist gekennzeichnet durch einen hohen Anteil von Rebflächen an der gesamten landwirtschaftlichen Nutzfläche (LN) und weiterhin durch eine relativ große Zahl angeschlossener Weinbaubetriebe. Tab. 21 fasst die Kenndaten der Kläranlage zusammen. Im Rahmen der vorliegenden Untersuchung war es leider nicht möglich, die Anzahl der Applikationsgeräte im Einzugsgebiet der Kläranlage zu ermitteln (s. a. Kapitel 3.1). In erster Näherung kann davon ausgegangen werden, dass jeder Weinbaubetrieb auch ein eigenes Spritzgerät für den Weinbau unterhält. Alle nachfolgenden Werte, bezogen auf die Zahl der Betriebe (z.B. „Fracht in Gramm pro Betrieb“), können daher 1:1 auch im Hinblick auf die Zahl der Spritzgeräte interpretiert werden (z.B. „Fracht in Gramm pro Spritzgerät“).

Für die Berechnung der Größe „Fracht pro Betrieb“ wurden ausschließlich die Weinbaubetriebe berücksichtigt, die im Einzugsbereich der KA_N angesiedelt sind. Die Frachten des Wirkstoffs Fenpropimorph wurden nicht einbezogen, da sie höchstwahrscheinlich nicht aus der Anwendung im Weinbau stammen.

Tab. 21. Kenngrößen zum Einzugsgebiet der KA_N

Einzugsgebiet der Kläranlage KA_N	
Anzahl angeschlossener Weinbaubetriebe	334
Anzahl angeschlossener Ackerbaubetriebe	21
Zahl der angeschlossenen Gemeinden	9
Summe landwirtschaftliche Nutzfläche [km ²]	34
Summe Rebfläche [km ²]	21
Durchschnittliche Betriebsfläche Weinbau [ha]	9
<i>Gesamtfracht [g] Mai 2006 bis Oktober 2006 (32 Wirkstoffe, ohne Fenpropimorph)</i>	9552
<i>Fracht [g/Betrieb] Mai 2006 bis Oktober 2006 (32 Wirkstoffe ohne Fenpropimorph)</i>	28,6
<i>Gesamtfracht [g] Mai 2007 bis Oktober 2007 (32 Wirkstoffe, ohne Fenpropimorph)</i>	5436
<i>Fracht [g/Betrieb] Mai 2007 bis Oktober 2007 (32 Wirkstoffe ohne Fenpropimorph)</i>	16,3
<i>Gesamtfracht [g] Nov. 2006 bis April 2007 (32 Wirkstoffe, ohne Fenpropimorph)</i>	715
<i>Fracht [g/Betrieb] Nov. 2006 bis April 2007 (32 Wirkstoffe ohne Fenpropimorph)</i>	2,1

Für den Applikationszeitraum 2006 (20. – 43. KW) wurde eine durchschnittliche PSM-Fracht von 28,6 g/Betrieb berechnet. Der Wert für den Vergleichszeitraum 2007 lag mit

16,3 g/Betrieb um fast die Hälfte niedriger. Allerdings ist auffallend, dass die Kennzahl PSM-Fracht pro Betrieb für 2006 im wesentlichen von den Einzelwirkstoff-Frachten von Fenhexamid und Pyrimethanil beeinflusst wurden. Eine Betrachtung ohne diese beiden Substanzen führt zu durchschnittlich 11,6 g/Betrieb in 2006 und 13,8 g/Betrieb in 2007. Für die Zeit von November 2006 bis Mai 2007 konnte eine mittlere PSM-Fracht von 2,1 g/Betrieb ermittelt werden.

Analog zu den Frachten der einzelnen Wirkstoffe im Kläranlagenablauf ergeben sich für die Einzelwirkstoffe sehr unterschiedliche Frachten *pro Betrieb* während der Applikationszeiträume 2006 und 2007 (Abb. 15).

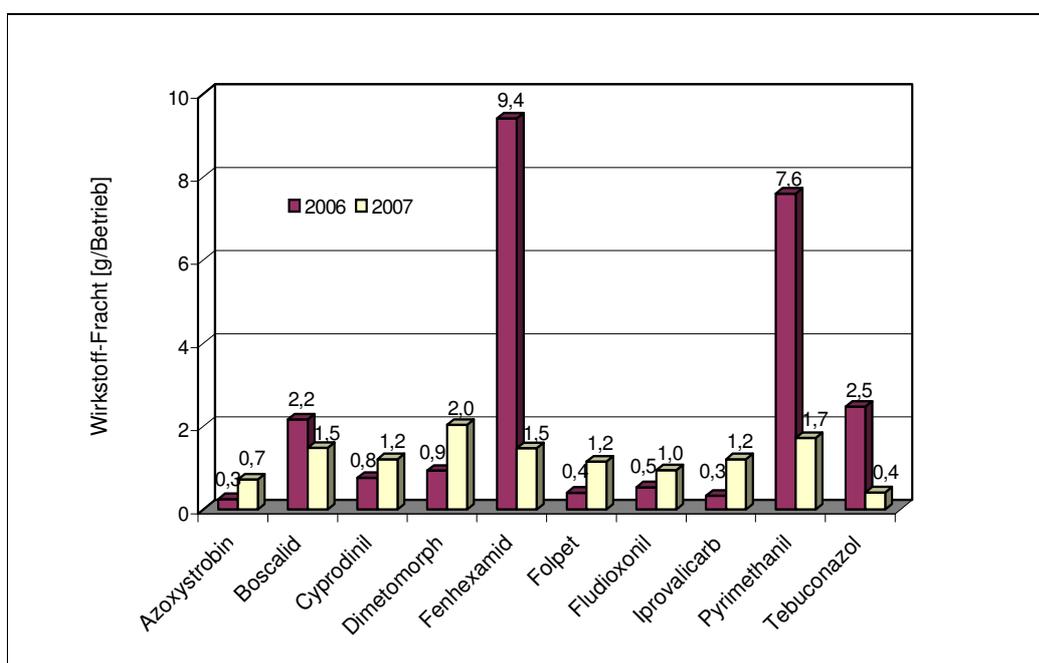


Abb. 15. Frachten pro Weinbau-Betrieb für die einzelnen Wirkstoffe während der Hauptapplikationsperioden (20. – 43. KW) in den Jahren 2006 und 2007

Die mittleren Frachten einzelner Wirkstoffe pro Betrieb bezogen auf die Applikationsperiode stellt Tab. 23 zusammen. Die Werte für die Einzelwirkstoffe liegen zwischen 0,5 g (Azoxystrobin) und 5,5 g (Fenhexamid) pro Betrieb. Auch hier wird wieder deutlich, dass die Ergebnisse stark durch die Fenhexamid- und Pyrimethanil-Funde während der Applikationsperiode im Jahr 2006 beeinflusst werden. Diese Substanzen wurden im Ablauf der KA_N in

hohen Mengen vor allem zwischen der 30. bis zur 35. KW detektiert (siehe auch Abb. 16 sowie Ausführungen unter Punkt 4.8). Das Fundmuster deckt sich relativ gut mit den Anwendungsempfehlungen des örtlichen PS-Warndienstes für das fenhexamidhaltige Präparat „Teldor“ und „Scala“, mit dem Hauptbestandteil Pyrimethanil. Deshalb wird vermutet, dass die Ursache für die relativ hohen Funde in Arbeitsschritten liegt, die direkt mit der PSM-Applikation in Verbindung stehen (Befüllen, Reinigen von Spritzgeräten) und nicht durch außergewöhnliche Einzelereignisse (Unfälle) hinreichend erklärt werden kann.

Tab. 22. Gemittelte Einzelwirkstofffracht pro Weinbaubetrieb im Durchschnitt der beiden Applikationszeiträume (jew. 20. – 43. KW) 2006 und 2007

Wirkstoff	Mittlere Fracht [g/Betrieb] bezogen auf die Applikationszeiträume (jew. 20. – 43. KW) 2006 und 2007
Azoxystrobin	0,5
Boscalid	1,9
Cyprodinil	1,0
Dimetomorph	1,5
Fenhexamid	5,5
Folpet	0,8
Fludioxonil	0,8
Iprovalicarb	0,8
Pyrimethanil	4,7
Tebuconazol	1,5

4.7 Frachten bezogen auf die Rebfläche im Einzugsgebiet

Für die Berechnung der mittleren PSM-Fracht, bezogen auf die Rebfläche im Einzugsgebiet, wurde ebenfalls von einer bereinigten Gesamtfracht (ohne Fenpropimorph) für die jeweiligen Betrachtungszeiträume ausgegangen. Die ermittelten Werte liegen zwischen 2,6 und 4,6 g/ha Rebfläche für die Applikationszeiträume und bei rund 0,4 g/ha außerhalb der Vegetationsperiode (Betrachtungszeitraum November 2006 bis Mai 2007). Tab. 23 zeigt die entsprechenden Werte für Einzelwirkstoffe.

Tab. 23. Gesamtfrachten (Summe 32 Wirkstoffe) bezogen auf die Rebfläche im Einzugsgebiet der KA_N in den einzelnen Betrachtungszeiträumen

Betrachtungszeitraum	Gesamtfracht (ohne Fenpropimorph) [g]	Fracht bezogen auf die Rebfläche im Einzugsgebiet [g/ha]
Mai 06 bis Okt. 06	9.552	4,63
Mai 07 bis Okt. 07	5.436	2,63
Nov. 06 bis Mai 07	715	0,35

Die berechneten Einzelfrachten bezogen auf die Rebfläche liegen zwischen 0,08 g/ha (Azoxystrobin) rund 0,9 g/ha (Fenhexamid); Datengrundlage bei dieser Berechnung sind die Einzelfrachten in den Vergleichszeiträumen 2006 und 2007. Einzige Ausnahme ist die Angabe der mittleren Simazin-Fracht bezogen auf die Nutzungsfläche. Der Wert von 0,05 g/ha Rebfläche bzw. 0,03 g/ha LF basiert auf den PSM-Funden im Ablauf der KA_N im Zeitraum 20. – 43. KW 2007.

Tab. 24. Mittlere Einzelwirkstoff-Frachten bezogen auf die Rebfläche der Weinbaubetriebe im Einzugsgebiet der KA_N während der Applikationszeiten (jew. 20. – 43. KW) 2006 und 2007 (Simazin-Werte beziehen sich ausschließlich auf 20. – 43. KW 2007)

Wirkstoff	Fracht [g/ha Rebfläche]	Fracht [g/km ² Rebfläche]
Azoxystrobin	0,08	8,2
Boscalid	0,33	33,3
Cyprodinil	0,16	16,4
Dimetomorph	0,25	24,9
Fenhexamid	0,89	89,0
Folpet	0,14	13,6
Fludioxonil	0,13	12,8
Iprovalicarb	0,14	13,7
Pyrimethanil	0,76	76,0
Tebuconazol	0,23	23,4
Simazin	0,05	4,9

4.8 Applikationszeiträume und Wirkstoff-Frachten

Über 80 % der PSM-Gesamtfracht im Ablauf der KA_N wurden in den Vergleichszeiträumen 2006 und 2007 durch Substanzen verursacht, die im Weinbau zur Bekämpfung von Erregern zweier Pilzkrankungen eingesetzt werden. Es handelt sich dabei um die Erreger der Edel- oder Blauschimmelfäule *Botrytis (Botrytis cinerea)* und Reben-Peronospora (*Plasmopara viticola*) (Falscher Mehltau). Die Hauptapplikationszeit von PSM gegen diese Pflanzenkrankheiten dauert unter normalen Umständen von Anfang Juni bis Mitte August. Da der Infektionsdruck und damit auch der Pflanzenschutz im Weinbau in hohem Maße witterungsabhängig sind, kann sich dieser Zeitraum in einzelnen Jahren um einige Wochen nach vorne oder nach hinten verschieben. Während der Vegetationsperiode finden im Regelfall zwischen sechs und acht PSM-Applikationen (je nach Befallsituation) gegen *Botrytis* bzw. *Peronospora* statt (Rübel, 1999).

Grundlage für die Frachtauswertung im Hinblick auf die Applikationszeiträume sind die wöchentlichen Anwendungsempfehlungen des zuständigen Pflanzenschutzdienstes (DLR Rheinpfalz, 2006, 2007). Im Jahr 2006 wurde der Einsatz von Botrytis-Mitteln aufgrund des feuchtwarmen Wetters im Juli durchgängig von der 27. KW bis zur 31. KW vom Pflanzenschutzdienst empfohlen (DLR Rheinpfalz, 2006). Nach sehr hohen Niederschlägen Anfang August stieg das Infektionsrisiko erneut. Dieser Zeitraum deckt sich im Großen und Ganzen mit den Fundzeiträumen der Substanzen im Ablauf der Kläranlage bzw. die Funde enden wenige Wochen nach den empfohlenen Anwendungszeiträumen.

Abb. 16 zeigt diese zeitliche Koinzidenz am Beispiel der Wirkstoffe, die gegen Botrytis eingesetzt werden. Am deutlichsten ausgeprägt ist der Zusammenhang für den Wirkstoff Fenhexamid (Handelsname: *Teldor*) zu erkennen, dessen höchsten Frachten im Kläranlagenablauf von Ende Juli bis Mitte August gemessen wurden. Pyrimethanil-Frachten (Handelsname *Scala*) wurden vom 16.07. bis 3.09. detektiert und zeigen eine etwas breitere zeitliche Verteilung.

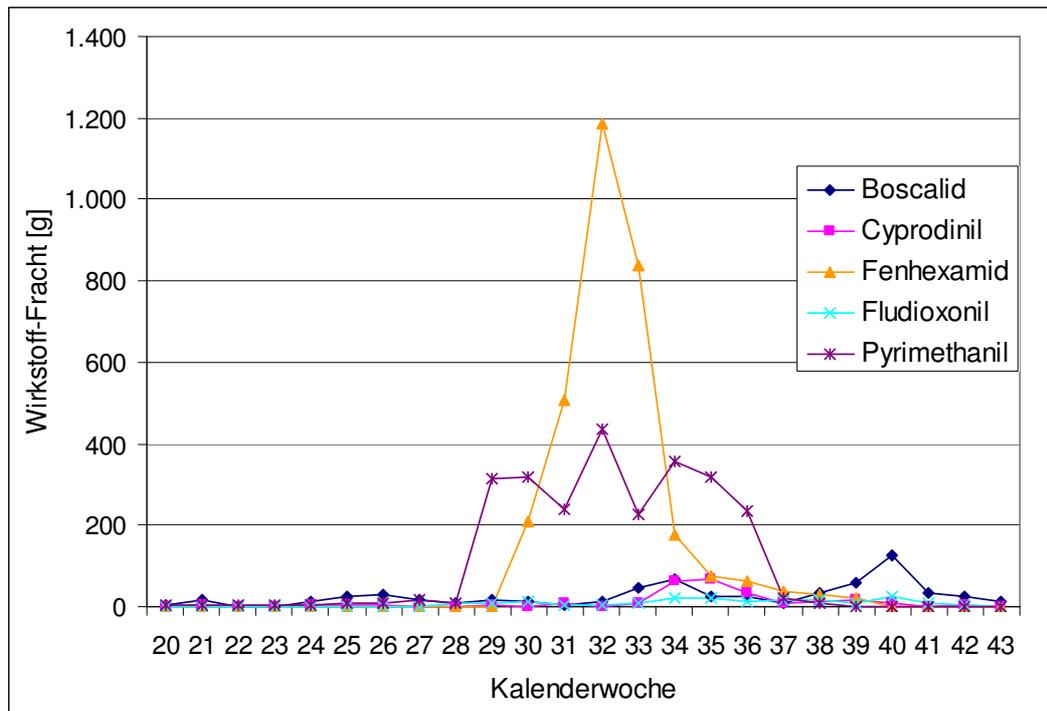


Abb. 16. Wöchentliche Frachten von Botrytiziden im Ablauf der KA_N während der Applikationsperiode 2006 (20. – 43. KW)

Noch deutlicher ist der Zusammenhang von Anwendungsempfehlung und Fracht im Ablauf der KA_N bei den Wirkstoffen von Peronospora-Präparaten (siehe Abb. 17). Der Großteil der Frachten von Azoxystrobin, Dimetomorph, Folpet und Iprovalicarb wurde 2006 von Mitte Juni bis Ende August gemessen (23. – 34. KW). Die erste explizite Anwendungsempfehlung der entsprechenden Präparate erfolgte am 19.06.2006 (DLR Rheinpfalz, 2007).

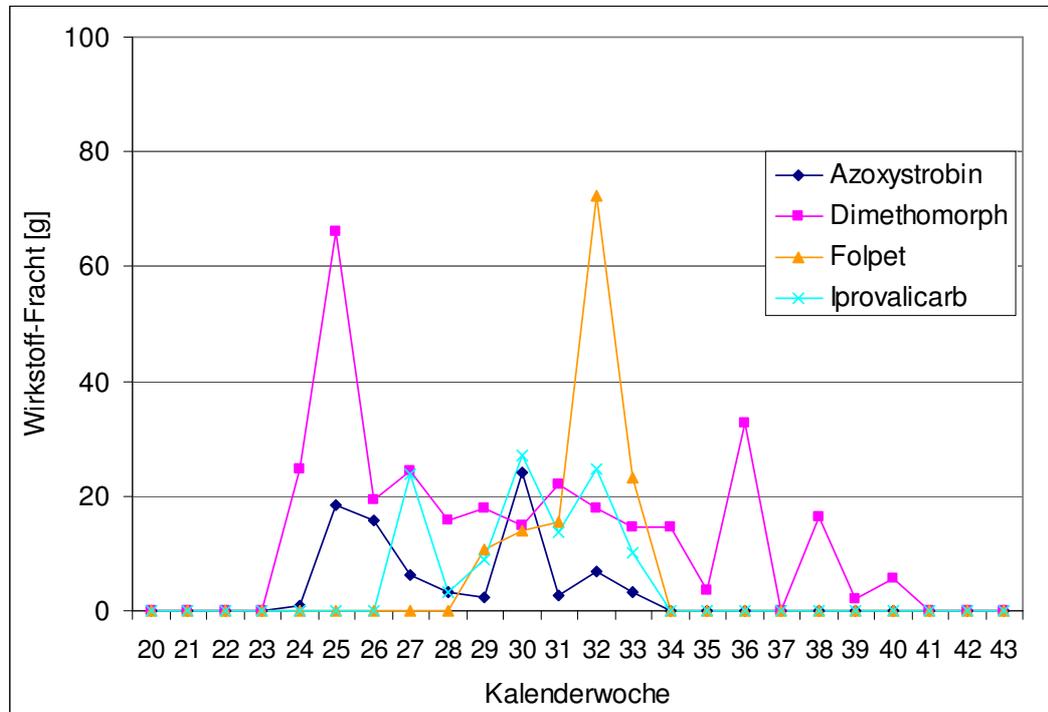


Abb. 17. Wöchentliche Frachten von Peronospora-Fungiziden im Ablauf der KA_N während der Applikationsperiode 2006 (20. – 43. KW)

Tebuconazol ist Bestandteil des Universalfungizids *Folicur EM* gegen Oidium, Botrytis und Peronospora (BVL, 2007a)³⁵. Die Hauptanwendungszeit liegt laut BVL (2007a) zwischen Juni und Oktober (22. – 39. KW). Auch das deckt sich größtenteils mit den Funden im Ablauf der KA_N im Jahr 2006 (Abb. 18). Der Einschnitt der Fracht in der 33. KW ist unter Umständen mit den Witterungsverhältnissen in diesem Zeitraum zu erklären. An der naheliegenden DWD-Wetterstation wurden teilweise heftige Niederschläge registriert. Die Lese 2006 begann Ende September. Unter der Annahme, dass das Applikations-Verhalten der

³⁵ Die Anwendung von Folicur EM ist aufgrund des Gehalts an Tolyfluanid seit dem 21.02.2007 im Freiland verboten (BVL, 2007 b).

Landwirte sich ungefähr zeitgleich im Ablauf der KA_N widerspiegelt, kann die generelle Abnahme der Funde (Abb. 22 und 23.) ab der 37. KW mit beginnender Lese bzw. der entsprechenden Wartezeit davor damit begründet werden.

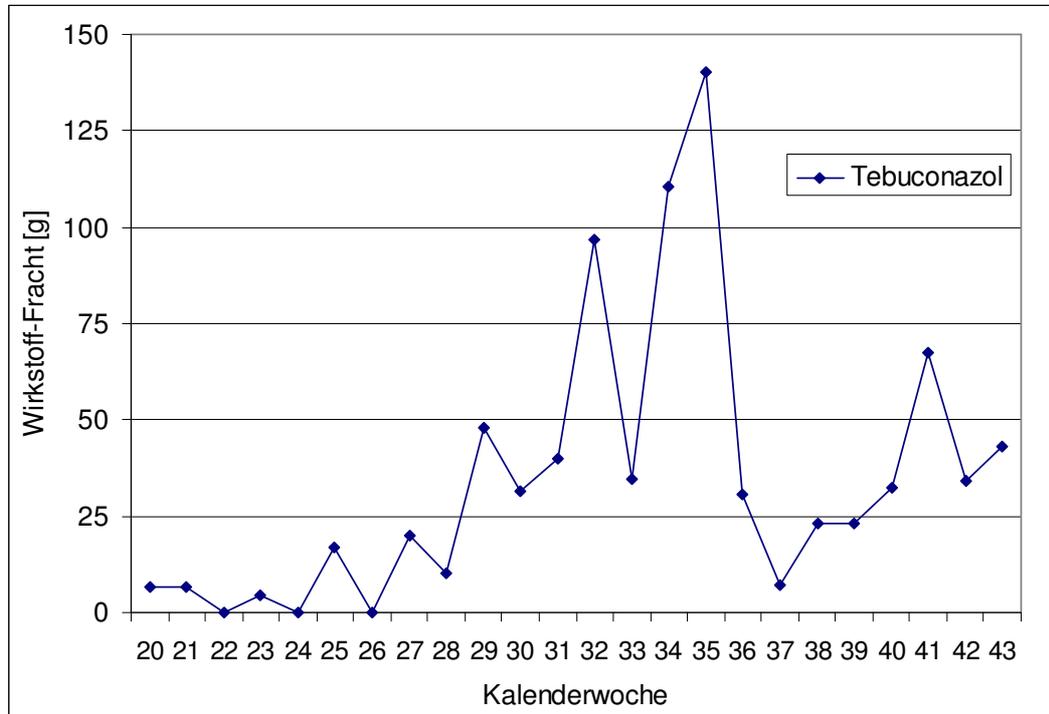


Abb. 18. Wöchentliche Frachten eines Universal-Fungizids im Ablauf der KA_N während der Applikationsperiode 2006 (20. – 43. KW)

Nach einem relativ milden Winter 2006/2007 war Ende Juni 2007 im Einzugsgebiet der KA_N bereits ein Entwicklungsvorsprung der Reben im Vergleich zu 2006 von drei Wochen festzustellen, der sich bis in den August halten konnte. Die Lese begann deshalb 2007 bereits Anfang September (DLR Rheinpfalz, 2007).

Der Einsatz von Botrytis-Präparaten wurde bereits ab dem 12.06.07 empfohlen und mit einer witterungsbedingten Pause wieder Ende Juli (DLR Rheinpfalz, 2007). Dies spiegelt sich auch in den Funden entsprechender Wirkstoffe im Ablauf der KA_N wider (siehe Abb. 19). Hier sind zwei deutliche Peaks im Juni (23. – 25. KW) und Mitte Juli bis Mitte August (28. – 33. KW) zu erkennen. Sehr deutlich wird hier der zeitliche Zusammenhang zwischen vermutetem Applikationsverhalten und PSM-Fracht im Ablauf der Kläranlage, an die die Hofentwässe-

rung der landwirtschaftlichen Betriebe angeschlossen ist. Dies legt die Vermutung nahe, dass die Ursache für die Funde in Befüll- oder Reinigungsvorgängen der Spritzgeräte zu finden ist.

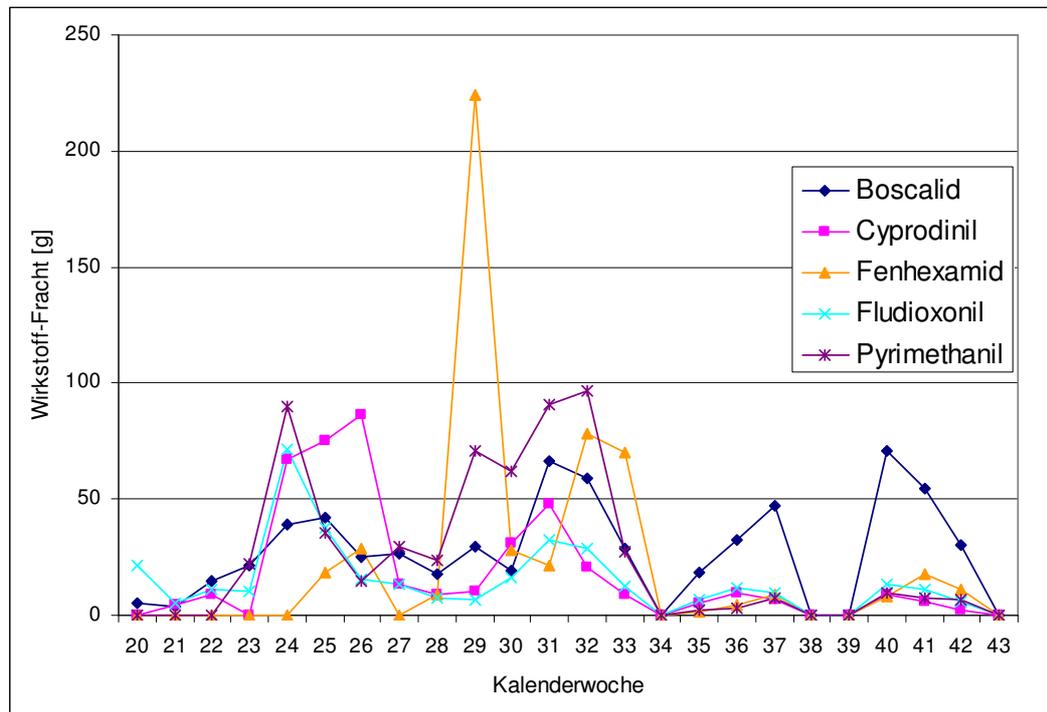


Abb. 19. Wöchentliche Frachten von Botrytiziden im Ablauf der KA_N während der Applikationsperiode 2007 (20. – 43. KW)

Die Gefahr von Peronospora-Infektionen wurde bereits ab der 19. KW (Anfang Mai) angekündigt und mit dem Hinweis versehen, dass eine Spritzung nach Befall erfolgen solle (DLR Rheinpfalz, 2007). Am 26.06. (26. KW) wurde dieser Warnhinweis wiederholt und die Anwendung des Präparats *Forum* (Wirkstoff Dimetomorph) empfohlen. Am 10.07. wurde dann aufgrund der einzuhaltenden Wartezeit vor der Lese darauf hingewiesen, dass die letzte Applikation von *Forum* vor dem 10.07. erfolgen sollte. Deutliche Rückgänge des Wirkstoffes Dimetomorph im Ablauf der KA_N waren ab dem 23.07. (30. KW) zu verzeichnen.

Für die KW 34, 38 und 39 2007 liegen keine verwertbaren Analyseergebnisse der Ablaufbe-
probung an der KA_N vor.

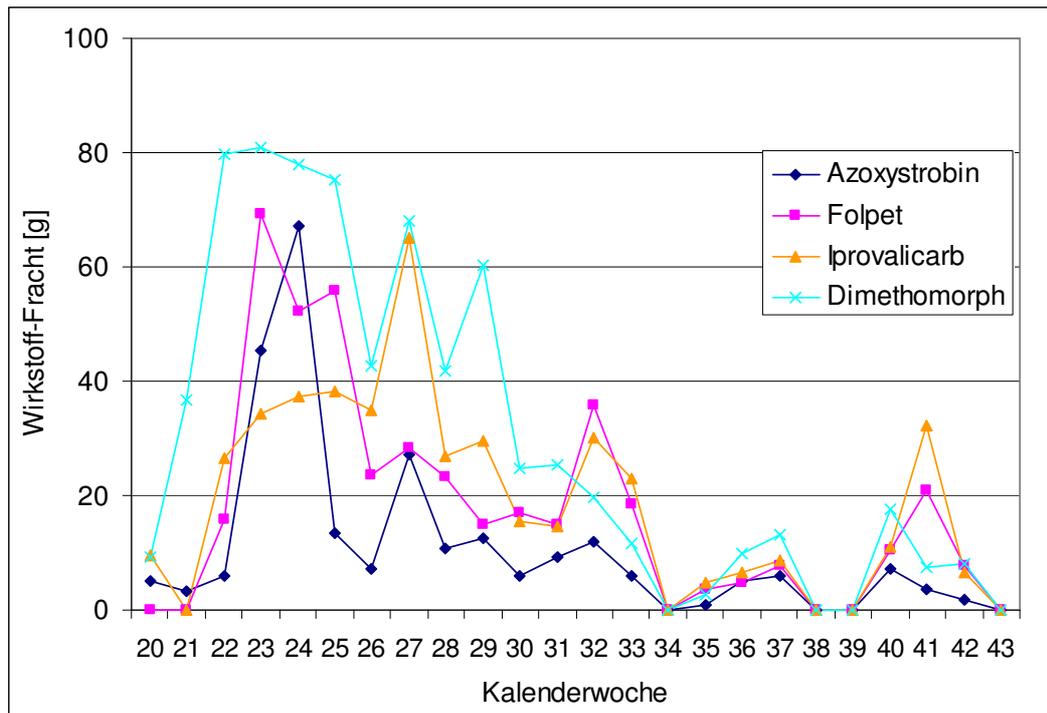


Abb. 20. Wöchentliche Frachten von Peronospora-Fungiziden im Ablauf der KA_N während der Applikationsperiode 2007 (20. – 43. KW)

4.9 Zwischenfazit Beprobung Weinbau-Kläranlage

Zunächst ist festzuhalten, dass die im Ablauf der KA_N während der Beprobungsperiode gemessenen PSM-Frachten relativ eindeutig mit der Verwendung bestimmter Präparate und damit mit Arbeitsschritten rund um das „Spritzenhandling“ in Verbindung gebracht werden können. Die zeitliche Nähe von Anwendungsempfehlung und Detektion im Ablauf der Kläranlage bestätigt die Annahme, dass zumindest während der Applikationsperioden Punktquellen eine erhebliche Quelle von PSM-Einträgen in Oberflächengewässer darstellen.

Die Ergebnisse der KA_N zeigen deutliche Unterschiede zwischen den Applikationsperioden (jeweils 20. – 43. KW) der Jahre 2006 und 2007. Die Gesamtfracht aller Wirkstoffe ist im Jahr 2006 rund doppelt so hoch wie die im Vergleichszeitraum 2007. Ein genereller Frachtrückgang könnte theoretisch ein Indiz für eine größere Sorgfalt der Anwender im Umgang mit Präparaten und Spritzgeräten im Hofbereich sein. In einer derartigen Größenordnung und ohne entsprechende Beratungskampagnen ist dieser Erklärungsversuch allerdings wenig

wahrscheinlich. Altmayer und Twertek (2001) haben bei ihren Untersuchungen zur PSM-Fracht im Ablauf von zwei Kläranlagen in Weinanbaugebieten in den Jahren 1997 bis 2000 ebenfalls relativ hohe Schwankungen im Vergleich der einzelnen Untersuchungsjahre festgestellt. Die Einzugsgebiete der Untersuchungen von Altmayer und Twertek (2001) und dasjenige der KA_N überschneiden sich teilweise. In der KA_N variierten die ermittelten Wirkstoff-Frachten zwischen 2006 und 2007 teilweise um 200 bis 300 %. Altmayer et al. (2003) führen das auf einen jährlich unterschiedlichen Schädlingsdruck und das sich rasch ändernde Wirkungsspektrum im Weinbau zurück. Auch bei Gabriel und Seel (2002, 2005, 2004) werden witterungsbedingte Unterschiede bei den gemessenen Frachten deutlich.

Während der beiden Applikationszeiträume 2006 und 2007 der vorliegenden Untersuchung herrschten unterschiedliche Witterungsbedingungen. Das Untersuchungsjahr 2006 war im Einzugsgebiet der KA_N gekennzeichnet durch eine Trockenperiode im Juli und Rekordniederschläge im August; dies führte zu starken Fäulnisproblemen und entsprechend hohem Einsatz von Botrytis-Präparaten (DLR Rheinpfalz, 2006). Das anhaltend ungewöhnlich milde Wetter zu Beginn der Vegetationsperiode im Jahr 2007 hatte einen Entwicklungsvorsprung der Reben von insgesamt drei Wochen zur Folge, der wiederum dazu führte, dass die Lese bereits Anfang September begann.

Mit diesem Sachverhalt können die vergleichsweise hohen punktuellen Einträge von Spezialbotrytiziden im Jahr 2006 (6740 g) im Vergleich zu 2007 (2550 g) erklärt werden. Die höchste Fracht eines Einzelwirkstoffs im Applikationszeitraum 2006 (20. – 43. KW) wurde verursacht von Fenhexamid (Botryzid, Handelsname *Teldor*) und betrug 3142 g; im gleichen Zeitraum 2007 wurde nur noch eine Fenhexamid-Fracht von 530 g gemessen. Die höchste Einzelwirkstofffracht im Jahr 2007 von 714 g betraf Dimetomorph (Handelsname *Forum*), einem Bestandteil von Peronospora-Fungiziden.

Auffallend ist, dass selbst mehrere Wochen nach dem offiziell empfohlenen Abschluss (2006: Mitte August; 2007: Ende Juli) der PSM-Behandlung vor der Lese noch höhere Wirkstoff-Frachten im Ablauf der KA_N gefunden wurden. Eine Ursache dafür könnte die Reinigung der Applikationsgeräte vor der Einwinterung sein. Altmayer (2007) geht davon aus, dass - neben der Spritzgereinigung nach Saisonabschluss – weiterhin auch die Befruchtung der Abwässer aus den Kelterhäusern mit PSM eine Rolle spielen könnte, die während der Kelterung in die Kanalisation eingeleitet werden. Dies wäre eine mögliche Erklärung für die konti-

nuierlichen Wirkstoff-Frachten im Ablauf der KA_N in den Monaten Oktober und November. Diese Annahme kann allerdings allein aufgrund der vorliegenden Ergebnisse nicht eindeutig verifiziert werden; hier wären weiterführende Untersuchungen notwendig.

Zwei Wirkstoffe (Boscalid und Tebuconazol) wurden während der gesamten Beprobungsdauer fast durchgängig im Ablauf der KA_N gefunden. Die in der vorliegenden Untersuchung berechneten betriebsbezogenen Frachten für Tebuconazol (einem Wirkstoff des Universalfungizids *Folicur EM*) von 1,5 g pro Betrieb decken sich mit den Ergebnissen von Ittel und Sälzer (2006), die für die Weinbau-Kläranlage ein Wert von 1,6 g Tebuconazol pro Betrieb ermittelten. Auch in der Untersuchung von Altmayer und Twertek (2001) wurde Tebuconazol während der Wintermonate detektiert und gehörte dort während der gesamten Untersuchungsperiode 1997 bis 2000 zu denjenigen Substanzen, die mit Abstand am häufigsten und in der größten Menge gefunden wurden. Altmayer und Twertek (2001) machen dafür unter anderem die physiko-chemischen Eigenschaften von Tebuconazol verantwortlich. Mit Hinweis auf den hohen Koc-Wert und den relativ langsamen Abbau ($DT_{50} = 130$ Tage) von Tebuconazol stellen Ittel und Sälzer (2006) die These auf, dass aufgrund dieser Eigenschaften Tebuconazol-Depositionen auf befestigten Flächen in Weinbaubetrieben längere Zeit überdauern können und ein Reservoir darstellen, von dem der Wirkstoff dann über mehrere Wochen oder sogar Monate sukzessive abgewaschen wird.

Der sehr deutliche Rückgang der Fracht von Tebuconazol im Vergleichszeitraum 2007 kann darauf zurückgeführt werden, dass ab März 2007 die Anwendung von *Folicur EM* im Freiland verboten worden ist. Der enge zeitliche Zusammenhang zwischen Applikation und Detektion von PSM-Resten im Ablauf der Kläranlage ist ein eindeutiger Hinweis darauf, dass die Ursache der Funde im entsprechenden „Spritzenhandling“ der Landwirte zu finden ist.

Ein Zusammenhang zwischen der Niederschlagshöhe im Einzugsgebiet der Kläranlage und der PSM-Fracht im Ablauf der KA_N kann aufgrund der vorliegenden Daten nicht erkannt werden. Diese Beobachtung steht in einem gewissen Widerspruch zu Untersuchungen anderer Autoren, die für den Weinbau von einem relativ hohen Anteil niederschlagsgebundener Einträge in Oberflächengewässer ausgehen. Twertek und Altmayer (1995) heben die Bedeutung der Abwaschung von PSM von befestigten Wirtschaftswegen für die PSM-Kontamination von Oberflächengewässern hervor; Gabriel und Seel (2002) stellten im Rheingau eine erhebliche PSM-Belastung von Regenrückhaltebecken fest und weisen auf den Zusammen-

hang von Niederschlag und PSM-Fracht in Regenrückhaltebecken hin. Möglicherweise hätte eine höhere zeitliche Auflösung der Beprobung in der vorliegenden Untersuchung (Tagesproben anstatt 3- bzw. 4 Tagesmischproben) zu einer anderen Aussage geführt.

Die zeitliche Verteilung der Wirkstoff-Frachten ergibt für die Betrachtungszeiträume 2006 und 2007 unterschiedliche Muster. Der Vergleich von Anwendungszeiträumen (abgeleitet aus den Warndiensthinweisen des DLR Rheinland-Pfalz 2006 und 2007) und den wöchentlichen Frachten der Bestandteile von Spezialbotrytiziden und Peronospora-Präparaten im Ablauf der KA_N macht deutlich, dass die gefundenen Frachten aus Arbeitsschritten stammen, die mit einer aktuellen Applikation in Verbindung stehen (siehe Ausführungen möglicher Kontaminationsquellen unter Punkt 2.1 und 2.2).

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass die PSM-Emissionen über Hofabläufe von Weinbaubetrieben im Einzugsgebiet der untersuchten Kläranlage (KA_N) relativ hoch sind. Die Gründe hierfür sind in der häufigen Applikation von Fungiziden im Weinbau in Verbindung mit der großen Zahl von Betrieben mit jeweils eigenem Applikationsgerät zu vermuten. Die enge Koppelung der Höhe der wöchentlichen Frachten mit den Applikationsterminen lässt den Schluss zu, dass die Freisetzung von PSM im Hofbereich auf Vorgänge zurückzuführen ist, die im Zusammenhang mit der Pflanzenschutzbehandlung *regelmäßig* und auf vielen Betrieben *gleichzeitig* stattfinden. Die Einträge in die Kläranlage sind zudem nicht an Niederschläge gebunden, das heißt, die PSM gelangen unmittelbar während der Freisetzung mit abfließenden Schmutzwassern in die Kanalisation. Folgende Vorgänge kommen dafür vorrangig in Betracht:

- Verschütten von Präparat beim Dosieren bzw. beim Einfüllen in den Spritzbrühetank
- Überlaufen des Spritzbrühetanks
- Ablassen von Spritzbrüheresten
- Außenreinigung der Spritze.

Die hohe Varianz der PSM-Frachten (in der Summe von 33 analysierten Wirkstoffen) zwischen den Applikationszeiträumen (20. – 43. KW) 2006 und 2007 ist auf den spezifischen Infektionsdruck in diesen Jahren zurückzuführen. Die PSM-Fracht pro Weinbaubetrieb betrug in diesem Zeitraum 2006 – einem Jahr mit feuchtem August und sehr hohem Fäulnisbefall – rund **29 g**. Im Jahr 2007, einem Jahr mit durchschnittlichem Witterungsverlauf und Befallsdruck, wurde dagegen nur eine Fracht von **ca. 16 g** gemessen. Die durchschnittlichen

Einzelwirkstoff-Frachten während der Hauptapplikationsperioden betragen zwischen 0,5 und 5,5 g/Betrieb. Außerhalb der Vegetationsperiode (Nov. 2006 bis Mai 2007) wurde eine Fracht von 2,1 g/Betrieb und eine Gesamtfracht von 0,4 g/ha Rebfläche ermittelt. An dieser Stelle sei explizit darauf hingewiesen, dass es sich bei diesen Zahlen um Mittelwerte handelt, die entsprechend vorsichtig zu interpretieren sind.

Im Nachgang soll noch kurz auf die Funde der Substanzen Atrazin und Simazin eingegangen werden, die bereits seit Anfang der 90er Jahre in Deutschland verboten sind. Die Frachten der KA_N für das Jahr 2007 betragen 0,02 g Atrazin pro Betrieb und 0,25 g Simazin pro Betrieb. Diese Mengen erscheinen relativ gering, beispielsweise im Vergleich zu den Ergebnissen von Ittel und Sälzer (2006), die für eine Weinbau-Kläranlage in Rheinhessen eine Atrazin- bzw. Simazin-Fracht von 0,04 g bzw. 1,4 g pro Betrieb pro Betrieb ermittelten. Die Simazin-Fracht der KA_N bewegt sich in ähnlicher Größenordnung wie die Frachten der Wirkstoffe Fenarimol, Dimethoat und Spiroxamine. Ittel und Sälzer (2006) kommen in der Gesamtschau ihrer Ergebnisse von insgesamt sechs Kläranlagen zu dem Schluss, dass ein hoher Anteil Sonderkulturen im Einzugsgebiet – trotz mittlerweile mehr als 15 Jahren Anwendungsverbot - immer noch mit einer relativ hohen Simazin-Fracht verbunden ist. Diese These scheinen die Simazin-Funde im Ablauf der KA_N zu bestätigen.

5. Pflanzenschutzmittel-Frachten im Ablauf von sieben Ackerbau-Kläranlagen

Im Rahmen der vorliegenden Untersuchung wurden sieben Ackerbau-Kläranlagen (KA_B, KA_F, KA_J, KA_L, KA_O, KA_Reis und KA_Rh) im Herbst 2006 (Beprobungszeitraum 33. – 46. KW 2006) sowie im Frühjahr 2007 (10. – 23. KW 2007) beprobt (3- bzw. 4 Tagesmischproben). Die Analyse umfasste 28 PSM-Wirkstoffe und wurde vom Institut für Umweltforschung (InfU) in Dortmund durchgeführt.

In den folgenden Ausführungen wird zunächst ein Überblick über die Gesamtfrachten, die Nachweishäufigkeiten und die Größenordnung der gefundenen Konzentrationen in den jeweiligen Betrachtungszeiträumen gegeben. Dem schließt sich die Untersuchung des Zusammenhangs von Niederschlagsverteilung im Einzugsgebiet und Frachthöhe an. Danach werden die für beide Beprobungszeiträume und alle Untersuchungsgebiete berechneten Kenngrößen „Frachten pro Applikationsgerät“ sowie „Frachten pro ha Applikationsfläche“ unter Punkt 5.4 und 5.5 vorgestellt. Den Abschluss bildet ein Abgleich von Fund- und Applikationszeiträumen frachtdominierender Wirkstoffe.

5.1 PSM-Konzentrationen und Frachten im Herbst 2006

Die Abläufe der sieben Ackerbau-Kläranlagen wurden im Jahr 2006 vom 14. August bis zum 24. November durchgängig beprobt. Aufgrund von technischen Problemen bei der Einrichtung sowie Verlusten beim Probentransport variiert der Stichprobenumfang für die einzelnen Kläranlagen zwischen 16 und 26.

5.1.1 PSM-Gesamtfrachten in den sieben Kläranlagen (Herbst 2006)

Insgesamt konnten im Herbst 2006 151 Ablaufproben analysiert werden. Tab. 26 gibt einen Überblick über die Zahl der Proben im Betrachtungszeitraum, die Zahl der Wirkstoffe, die in Konzentrationen > BG detektiert wurden, und die Gesamtfrachten, die im Betrachtungszeitraum 33. – 46. KW 2006 für die einzelnen Anlagen ermittelt wurden. Die PSM-Gesamtfracht über alle sieben Kläranlagen betrug rund 3,3 kg. Die Frachten der einzelnen Kläranlagen (ohne Diuron) lagen zwischen 12 g im Ablauf der KA_J und 1644 g im Ablauf der KA_O.

Der alleinige Vergleich der Gesamtfrachten ist allerdings zunächst wenig aussagekräftig, da diese Größe von einer ganzen Reihe von Faktoren beeinflusst wird, auf die erst an späterer Stelle eingegangen wird (z. B. Anzahl der Applikationsgeräte im Einzugsgebiet, siehe Punkt 5.4). Auch weichen Kriterien wie Ausbaugröße oder auch Anteil der LF im Einzugsgebiet der Anlagen stark voneinander ab (siehe Tab. 12 und 25).

Tab. 25. Gesamtfrachten (Summe 28 Wirkstoffe) im Ablauf der Ackerbau-Kläranlagen im Herbst 2006 (33. – 46. KW)

	KA_B	KA_F	KA_J	KA_L	KA_O	KA_Reis	KA_Rh
LF im EZG [km ²]	rund 70 ³⁶	73	120	40	175	95	89
Anzahl Proben	22	26	18	26	16	18	25
Anzahl Wirkstoffe > BG	10	14	7	18	15	8	8
Gesamtfracht [g] (mit Diuron)	163	777	16	728	1694	93	94
Gesamtfracht [g] (ohne Diuron)	127	731	12	641	1644	89	68

5.1.2 Fundhäufigkeiten und Konzentrationsmaxima der Wirkstoffe (Herbst 2006)

Einen Überblick über die Häufigkeit, mit der Einzelsubstanzen in den Proben der einzelnen Kläranlagen oberhalb der Bestimmungsgrenze von 0,050 µg/l gefunden wurden, gibt Tab. 26. Folgende Wirkstoffe wurden im Herbst 2006 in keiner Probe > BG gemessen: Amidosulfuron, Bromacil, Dimethoat und S-Metolachlor. Die Substanzen Isoproturon, Diuron, MCPA und MCPP sind dagegen in nahezu sämtlichen Proben von allen sieben Kläranlagen nachgewiesen worden.

³⁶ Aufgrund der geringen Zahl der landwirtschaftlichen Betriebe in den angeschlossenen Gemeinden (teilweise < 2 Betriebe pro Gemeinde) unterliegen die agrarstatistischen Daten auf Gemeindeebene teilweise dem Datenschutz. Der hier geschätzten LF im EZG der KA_B liegen statistische Daten auf Kreisebene zugrunde.

Tab. 26. Nachweishäufigkeit (Anzahl der Proben >BG) von PSM-Wirkstoffen im Ablauf der Ackerbau-Kläranlagen im Herbst 2006 (33. – 46. KW)

	KA_B	KA_F	KA_J	KA_L	KA_O	KA_Reis	KA_Rh
	n = 22	n = 26	n = 18	n = 26	n = 16	n = 18	n = 25
2,4 D	0	0	0	0	0	0	2
2,4DP	0	1	5	2	13	1	0
Amidosulfuron	0	0	0	0	0	0	0
Atrazin	0	1	0	1	6	8	0
Desethyl-Atrazin	0	1	0	0	0	17	0
Azoxystrobin	0	1	0	2	0	0	0
Bentazon	2	7	0	0	15	0	0
Bromacil	0	0	0	0	0	0	0
Diflufenican	5	0	0	0	10	0	0
Dimethoat	0	0	0	0	0	0	0
Diuron	7	14	5	26	9	1	24
Epoxiconazole	0	0	0	10	0	0	0
Ethofumesat	0	0	0	26	16	0	0
Fenpropidin	0	2	0	3	0	0	0
Fenpropimorph	0	0	0	0	0	0	0
Flufenacet	2	2	0	0	0	0	0
Isoproturon	8	14	8	26	16	1	6
MCPA	4	11	2	25	9	3	5
MCPP	9	17	0	23	9	3	21
Metamitron	0	0	0	10	10	0	4
Desamino-Metamitron	0	4	0	18	16	0	3
Metazachlor	4	13	0	4	3	2	0
Metribuzin	0	0	1	4	0	0	3
Propiconazol	0	0	0	19	1	0	0
S-Metolachlor	0	0	0	0	0	0	0
Spiroxamine	0	0	2	4	1	0	0
Tebuconazol	5	2	11	19	11	0	0
Terbutylazin	2	0	0	2	0	0	0

In Proben von fünf Kläranlagen wurden durchgängig die Substanzen 2,4 DP, Metazachlor und Tebuconazol gefunden. Auffällig ist weiterhin, dass in jeder Probe der KA_L Diuron, Ethofumesat und Isoproturon in Konzentrationen > 0,05 µg/l gemessen wurden. Dasselbe gilt für die Wirkstoffe Ethofumesat und Isoproturon und den Metaboliten Desamino-Metamitron im Ablauf der KA_O. Die höchsten gemessenen Konzentrationen eines Wirkstoffes in einer Einzelprobe wurden für Isoproturon gefunden (siehe Tab. 27). Der Maximalwert betrug 9,32

µg/l und wurde in der Probe 42/2³⁷ in KA_F detektiert, ähnlich hohe Werte wurden mit 7,34 µg in Probe 45/2 der KA_O bzw. 7,16 µg/l in Probe 46/1 der KA_L gemessen. Eine vergleichsweise hohe Konzentration von Ethofumesat mit 3,13 µg/l bezieht sich auf Probe 44/2 der KA_O, die höchste Konzentration von Metazachlor (2,61 µg/l) geht auf die Probe 44/2 an der KA_F zurück. Alle anderen Konzentrationsmaxima von PSM-Wirkstoffen in Einzelproben bewegen sich zwischen 0,05 und 1,3 µg/l.

Tab. 27. Maximale Konzentrationen der PSM-Wirkstoffe in Einzelproben im Ablauf der Ackerbau-Kläranlagen im Herbst 2006 (33. – 46. KW)

	KA_B	KA_F	KA_J	KA_L	KA_O	KA_Reis	KA_Rh
	Konzentrations-Maximum [µg/l]						
2,4 D							0,07
2,4 DP		0,11	1,08	0,12	0,23	0,14	
Amidosulfuron							
Atrazin		0,05		0,06	0,48	0,15	
Azoxystrobin		0,08		0,06			
Bentazon	0,12	0,08			0,86		
Bromacil							
Desamino-Metamitron		0,07		0,85	0,91		0,23
Desethyl-Atrazin		0,12				0,19	
Diflufenican	0,14				0,10		
Dimethoat							
Diuron	0,64	0,20	0,50	0,60	0,61	0,09	0,32
Epoxiconazole				0,17			
Ethofumesat				0,35	3,13		
Fenpropidin		0,06		0,15			
Fenpropimorph							
Flufenacet	0,07	0,18					
Isoproturon	0,12	9,32	0,14	7,16	7,34	0,54	0,12
MCPA	0,41	0,68	0,44	0,73	0,90	1,01	0,17
MCPP	0,11	0,60		1,09	0,20	0,66	0,37
Metamitron				1,29	0,63		0,31
Metazachlor	0,37	2,61		0,36	0,22	0,05	
Metribuzin			0,07	0,08			0,30
Propiconazol				0,19	0,05		
S-Metolachlor							
Spiroxamine			0,06	0,08	0,05		
Tebuconazol	0,11	0,07	0,10	0,10	0,10		
Terbuthylazin	0,10			0,07			

³⁷ Die Probenbezeichnung setzt sich aus der Kalenderwoche der Probenahme sowie der Ziffer 1 (für Montagsprobe) oder 2 (für Donnerstagsprobe) zusammen.

In den Tab. A-3 bis und A-8 im Anhang werden in ähnlicher Form die Mittelwerte der Konzentrationen sowie die Frachten der einzelnen Wirkstoffe für die Kläranlagen wiedergegeben.

Im Herbst 2006 konnten insgesamt 23 der 28 analysierten Substanzen oberhalb der Bestimmungsgrenze (0,05 µg/l) nachgewiesen werden, das entspricht 82 % der untersuchten Verbindungen. Tab. 28 listet die Wirkstoffe in der Reihenfolge der Fundhäufigkeiten >BG auf. Die zehn häufigsten Wirkstoffe mit Nachweisen >BG detektiert sind Diuron, MCPP, Isoproturon, MCPA, Tebuconazol, Ethofumesat, Desamino-Metamitron, Metazachlor, Metamitron und Bentazon.

In rund 90 % aller Proben wurde der Wirkstoff Isoproturon gemessen, in 78 (von 125) Fällen in Konzentrationen >BG. Diuron, MCPP und MCPA wurden in rund 80 % aller Proben gefunden. In der Regel liegt der Wert für Funde insgesamt höher als der Wert „Anzahl Funde >BG“. Ausnahmen sind die Substanzen Ethofumesat und Desethyl-Atrazin; hier entspricht die Anzahl der Funde insgesamt der Anzahl der Funde > BG.

Tab. 28. Reihenfolge der Häufigkeiten der Nachweise (insgesamt und >BG) von Wirkstoffen in den Ackerbau-Kläranlagen im Herbst 2006 (33. – 46. KW)

Rangliste	Wirkstoff	Anzahl Nachweise insg.	Anzahl Nachweise >BG	Nachweise insgesamt im Verhältnis zur Zahl der Analysen [%]
1	Diuron	110	82	79 %
2	MCPPP	109	79	78 %
3	Isoproturon	125	78	90 %
4	MCPA	83	56	60 %
5	Tebuconazol	76	46	55 %
6	Ethofumesat	41	41	29 %
7	Desamino-Metamitron	45	39	32 %
8	Metazachlor	63	26	45 %
9	Metamitron	29	24	21 %
10	Bentazon	47	23	34 %
11	2,4 DP	41	21	29 %
12	Propiconazol	64	18	46 %
13	Desethyl-Atrazin	17	17	12 %
14	Atrazin	34	16	24 %
15	Diflufenican	24	15	17 %
16	Epoxiconazole	33	9	24 %
17	Metribuzin	9	8	6 %
18	Spiroxamine	16	5	12 %
19	Flufenacet	7	4	5 %
19	Terbuthylazin	16	4	12 %
21	Azoxystrobin	19	3	14 %
21	Fenpropidin	24	3	17 %
23	2,4 D	1	1	1 %
	Fenpropimorph	5	0	4 %
	Amidosulfuron	0	0	
	Dimethoat	0	0	
	Bromacil	0	0	
	S-Metolachlor	0	0	
SUMME		1.038	618	

5.2 PSM-Konzentrationen und Frachten im Frühjahr 2007

Die zweite Beprobungskampagne im Frühjahr 2007 umfasste die 10. – 23. KW. Die technischen Probleme beim Probentransport, die in der ersten Beprobungskampagne im Herbst 2006 vereinzelt zu Probenausfall geführt hatten, konnten in der zweiten Beprobungsperiode ausgeräumt werden. Aus allen sieben Kläranlagenabläufen wurden wie geplant 26 Einzelproben auf PSM analysiert.

5.2.1 PSM-Gesamtfrachten in den sieben Kläranlagen (Frühjahr 2007)

Eine Übersicht über die Anzahl der Wirkstoffe, die im Betrachtungszeitraum Frühjahr 2007 in Konzentrationen >BG detektiert wurden, sowie die Gesamtfrachten der einzelnen Kläranlagen sind in Tab. 29 zu finden.

Die Gesamtfrachten (ohne Diuron) im Ablauf der Kläranlagen liegen zwischen 123 g (KA_J) und 13 149 g (KA_O). Im Vergleich zu Herbst 2006 sind die Werte im Frühjahr 2007 somit um den Faktor Zwei bis Zehn höher. Eine Ausnahme bildet KA_Rh, bei der sich die Gesamtfrachten der beiden Untersuchungszeiträume nur geringfügig voneinander unterscheiden.

Tab. 29. Gesamtfrachten (Summe 28 Wirkstoffe) im Ablauf der Ackerbau-Kläranlagen im Frühjahr 2007 (10. – 23. KW)

	KA_B	KA_F	KA_J	KA_L	KA_O	KA_Reis	KA_Rh
Anzahl Proben	26	26	26	26	26	26	26
Anzahl Wirkstoffe > BG	18	20	14	18	23	15	7
Gesamtfracht [g] (mit Diuron)	1136	1.496	123	5530	13 352	457	276
Gesamtfracht [g] (ohne Diuron)	485	1.427	123	5306	13 149	407	79

5.2.2 Fundhäufigkeiten und Konzentrationsmaxima der Wirkstoffe (Frühjahr 2007)

Tab. 30 gibt einen Überblick über die Häufigkeit, mit der Einzelsubstanzen in den Proben der einzelnen Kläranlagen mit Werten oberhalb der Bestimmungsgrenze (0,05 µg/l) gefunden wurden.

Wirkstoffe, die während des Betrachtungszeitraumes 10. - 23. KW 2007 in keiner Probe oberhalb der BG nachgewiesen wurden, sind Bromacil, Fenpropidin und Fenpropimorph. Dagegen sind Isoproturon, Diuron, MCPA und MCPP an allen Kläranlagen in einer entsprechenden Größenordnung detektiert worden. Während des Betrachtungszeitraumes wurden in Proben von sechs Kläranlagen (KA_B, KA_F, KA_J, KA_L, KA_O, KA_Reis) Metamitron, Desamino-Metamitron, Ethofumesat und Tebuconazol in einer entsprechenden Menge ge-

gefunden. In wiederum fünf KA-Abläufen sind zusätzlich dazu die Substanzen 2,4 D, 2,4 DP, Atrazin, Epoxiconazol, S-Metolachlor und Spiroxamine in Werten >BG gemessen worden.

In jeder analysierten Probe aus dem Ablauf der KA_L wurden Ethofumesat, Isoproturon, MCPA und MCPP mit einer Konzentration >BG detektiert. Gleiches gilt für die Substanzen Ethofumesat, Isoproturon, Metamitron, Desamino-Metamitron und Diuron in den Proben der KA_O.

Einige Substanzen wurden im Frühjahr 2007 lediglich im Ablauf einer einzigen Kläranlage in Werten >BG gemessen; dazu zählen Flufenacet und Diflufenican. Flufenacet wurde in drei Proben (12/1, 12/2 und 13/1) des Ablaufes der KA_Rh in niedrigen Konzentrationen festgestellt, der höchste Wert betrug 0,06 µg/l. Ähnlich stellt sich die Situation für Diflufenican dar, das nur im Ablauf der KA_O zweimal in Werten >BG gemessen wurde (Proben 14/2 mit 0,09 µg/l und 15/1 mit 0,06 µg/l).

Tab. 30. Nachweishäufigkeit (Anzahl der Proben >BG) von PSM-Wirkstoffen im Ablauf der Ackerbau-Kläranlagen im Frühjahr 2007 (10. – 23. KW)

	KA_B	KA_F	KA_J	KA_L	KA_O	KA_Reis	KA_Rh
	n = 26	n = 26					
2,4 D	2	2	11	9	9	0	0
2,4DP	3	8	0	6	23	2	0
Amidosulfuron	0	3	0	0	8	0	0
Atrazin	2	4	0	18	8	9	0
Azoxystrobin	0	1	4	11	1	0	0
Bentazon	3	9	5	0	20	0	0
Bromacil	0	0	0	0	0	0	0
Desamino-Metamitron	3	13	9	20	26	10	0
Desethyl-Atrazin	0	1	0	0	0	9	0
Diflufenican	0	0	0	0	2	0	0
Dimethoat	2	0	0	3	2	0	0
Diuron	21	14	5	24	26	17	23
Epoxiconazole	7	11	5	12	13	0	0
Ethofumesat	5	13	9	26	26	12	0
Fenpropidin	0	0	0	0	0	0	0
Fenpropimorph	0	0	0	0	0	0	0
Flufenacet	0	0	0	0	0	0	3
Isoproturon	7	19	3	26	26	24	12
MCPA	9	14	11	26	23	7	5
MCPP	4	13	0	24	23	8	2
Metamitron	5	13	12	21	26	12	0
Metazachlor	0	0	0	0	1	4	0
Metribuzin	5	4	0	22	3	0	0
Propiconazol	2	0	2	19	17	0	0
S-Metolachlor	0	1	0	1	4	7	5
Spiroxamine	2	4	1	0	9	5	0
Tebuconazol	10	13	22	24	24	1	0
Terbutylazin	1	7	3	10	8	8	3

Die höchste Konzentration eines Wirkstoffes in einer Einzelprobe im Betrachtungszeitraum 10. – 23. KW 2007 betrug 37 µg/l für Metamitron in Probe 18/2 der KA_O. Ein ähnlich hoher Wert von Metamitron ist auch im Ablauf der KA_L detektiert worden (24,9 µg/l in Probe 20/2). Auffallend ist, dass in beiden Proben jeweils auch sehr hohe Einzelkonzentrationen des Metabolits Desamino-Metamitron gefunden wurden (KA_O: 20,2 µg/l und KA_L: 6,8 µg/l). In den Ablaufproben beider Kläranlagen decken sich die Fundzeiträume und Verteilungsmuster von Metamitron und Desamino-Metamitron. Die höchsten Mengen (Konzentrationen und Frachten) wurden in den Proben 17/2 bis 22/2 gefunden.

Ein ebenfalls hoher Metamitron-Wert (5,1 µg/l), verglichen mit den anderen Substanzen in dieser Kläranlage, wurde in der Probe 18/2 im Ablauf der KA_J detektiert. Im Ablauf der KA_J wurden Metamitron und Desamino-Metamitron im Zeitraum 18. bis 23. KW (Anfang Mai bis Mitte Juni 2007) kontinuierlich gefunden.

Die höchste Isoproturon-Konzentration im Frühjahr 2007 wurde im Ablauf der KA_L mit 19,7 µg/l gemessen (Probe 12/2). In der zweiten Märzhälfte (11 bis 13. KW) wurden im Ablauf der KA_L immer wieder Isoproturon-Konzentrationen oberhalb 12 µg/l gefunden. Der Wirkstoff MCPA konnte in allen beprobten Kläranlagen detektiert werden, die höchste Einzelkonzentration von 27,3 µg MCPA/l trat ebenfalls in eine Probe der KA_L auf (Probe 21/1).

Überraschend hoch ist das Maximum der Atrazin-Konzentration im Betrachtungszeitraum, das mit 8,7 µg/l in der Probe 12/2 der KA_L gefunden wurde. Bei der Betrachtung des gesamten Zeitraumes (10. – 23. KW) fällt auf, dass in den Ablaufproben der KA_L ab der Probe 11/2 Atrazin kontinuierlich bis zum Ende der Beprobung (23. KW) nachgewiesen wurde. Der Metabolit Desethyl-Atrazin wurde während der gesamten Beprobungskampagne niemals detektiert. Für diese kontinuierliche Befrachtung konnte im Verlauf der Untersuchungsperiode keine eindeutige Ursache ermittelt werden. Es wird das Vorhandensein eines oder einiger weniger Wirkstoffdepots vermutet, aus denen in regelmäßigen Zeitabständen Atrazin in die Kanalisation und darüber in die Kläranlage gelangt.

Die meisten anderen Konzentrationsmaxima von PSM-Wirkstoffen in Einzelproben bewegen sich zwischen 0,05 und 4,8 µg/l (siehe Tab. 31).

Tab. 31. Maximale Konzentrationen der PSM-Wirkstoffe in Einzelproben im Ablauf der Ackerbau-Kläranlagen im Frühjahr 2007 (10. – 23. KW)

	KA_B	KA_F	KA_J	KA_L	KA_O	KA_Reis	KA_Rh
	Konzentrations-Maximum [$\mu\text{g/l}$]						
	n = 26	n = 26	n = 26	n = 26	n = 26	n = 26	n = 26
2,4 D	0,05	0,99	0,99	0,15	0,34		
2,4 DP	1,59	1,11		0,10	3,16	0,26	
Amidosulfuron		0,25			0,36		
Atrazin	0,22	0,72		8,70	0,45	0,09	
Azoxystrobin		0,07	0,14	0,11	0,06		
Bentazon	0,12	1,22	0,20		1,74		
Bromacil							
Desamino-Metamitron	0,12	1,08	2,72	8,50	20,20	0,32	
Desethyl-Atrazin		0,07				0,09	
Diflufenican					0,09		
Dimethoat	0,07			0,14	0,06		
Diuron	6,96	0,31	0,09	1,85	0,86	0,52	2,39
Epoxiconazole	0,29	0,17	0,07	0,19	0,69		
Ethofumesat	0,25	0,81	0,75	4,79	8,54	0,55	
Fenpropidin							
Fenpropimorph							
Flufenacet							0,06
Isoproturon	2,25	1,50	0,45	19,70	12,66	1,23	0,50
MCPA	0,77	0,64	0,14	27,26	7,98	0,09	0,26
MCPP	0,07	0,18		1,08	3,51	0,51	0,13
Metamitron	0,49	2,71	5,08	24,87	37,00	2,21	
Metazachlor					0,06	0,88	
Metribuzin	0,17	0,16		2,05	0,16		
Propiconazol	0,14		0,06	0,12	0,55		
S-Metolachlor		0,07		0,44	0,76	0,57	0,19
Spiroxamine	0,17	0,14	0,06		0,25	0,13	
Tebuconazol	0,31	0,64	0,95	1,05	1,87	0,32	
Terbuthylazin	0,06	0,21	0,26	3,21	3,86	0,58	0,16

Auch für den Untersuchungszeitraum Frühjahr 2007 sind die Mittelwerte der Konzentrationen sowie die detaillierten Frachtergebnisse für die einzelnen Wirkstoffe an den Kläranlagen in Tabellenform im Anhang aufgelistet (siehe Tab. A-3 bis A-8 im Anhang).

Im Frühjahr 2007 wurden insgesamt 25 von 28 Proben oberhalb der Bestimmungsgrenze (0,05 $\mu\text{g/l}$) detektiert. Tab. 32 listet die Wirkstoffe nach der Anzahl der Funde >BG auf. Danach wird deutlich, dass die zehn Wirkstoffe, die am häufigsten in Konzentrationen >BG

detektiert wurden, Diuron, Isoproturon, MCPA, Tebuconazol, Ethofumesat, Metamitron, Desamino-Metamitron, MCPP, Epoxiconazol und 2,4 DP sind.

Tab. 32. Reihenfolge der Häufigkeiten der Nachweise (insgesamt und >BG) von Wirkstoffen in den Ackerbau-Kläranlagen im Frühjahr 2007 (10. – 23. KW)

Rangliste	Wirkstoff	Anzahl Nachweise insg.	Anzahl Nachweise >BG	Nachweise insgesamt im Verhältnis zur Zahl der Analysen [%]
1	Diuron	157	130	86 %
2	Isoproturon	150	117	86 %
3	MCPA	107	95	61 %
4	Tebuconazol	120	94	69 %
5	Ethofumesat	92	91	53 %
6	Metamitron	127	89	73 %
7	Desamino-Metamitron	94	81	54 %
8	MCPP	109	74	62 %
9	Epoxiconazol	74	48	42 %
10	2,4 DP	61	42	35 %
11	Terbutylazin	106	40	61 %
11	Propiconazol	99	40	57 %
11	Atrazin	82	40	47 %
14	Bentazon	51	37	29 %
15	Metribuzin	40	34	23 %
16	2,4 D	66	33	38 %
17	Spiroxamine	49	21	28 %
18	S-Metolachlor	60	18	34 %
19	Azoxystrobin	62	17	35 %
20	Amidosulfuron	12	11	7 %
21	Desethyl-Atrazin	27	10	15 %
22	Dimethoat	18	7	10 %
23	Metazachlor	78	5	45 %
24	Flufenacet	17	3	10 %
25	Diflufenican	8	2	5 %
	Fenpropimorph	2	0	1 %
	Fenpropidin	0	0	
	Bromacil	0	0	
SUMME		1868	1179	

Isoproturon und Diuron wurden in 86 % aller Einzelproben gemessen, Isoproturon in 117 (von 150) Fällen in Konzentrationen >BG, Tebuconazol in fast 70 % der Proben, davon in 94 Fällen (von insgesamt 120) in Werten >BG. Auffällig ist, dass beispielsweise Metazachlor in fast jeder zweiten Probe detektiert wurde (45 %), allerdings nur in fünf von 78 Fällen mit einer Konzentration oberhalb der Bestimmungsgrenze. Ursachen für eine solche Hintergrundkonzentration bestimmter Wirkstoffe sind vermutlich Wirkstoff-Depots in Form von

Pfützen oder ähnlichem, die in Folge von Unachtsamkeit beim Befüllen von Spritzgeräten entstehen und von denen dann kontinuierlich Wirkstoffe ins Kanalsystem gelangen. Mit Ausnahme von Ethofumesat liegt für alle Wirkstoffe die Anzahl der Funde insgesamt deutlich über der Anzahl Funde >BG.

5.3 Niederschlagsverteilung und Wirkstoff-Frachten

Mit Hilfe von Regressionsanalysen wurde geprüft, ob möglicherweise ein Zusammenhang zwischen der Höhe der Niederschläge im Einzugsgebiet der Kläranlage und der Höhe der PSM-Frachten im Ablauf der Kläranlagen für die Beprobungszeiträume besteht (Methodik siehe Kap. 3.4.3). Die Ergebnisse der Regressionsanalysen in Form von Bestimmtheitsmaßen (R^2) sind in Tab. 33 zusammenfassend dargestellt. Die berechneten Bestimmtheitsmaße liegen sowohl bei der zeitgleichen als auch bei der zeitversetzten Berechnung in den meisten Fällen unterhalb der Signifikanzschwelle.

Tab. 33. Bestimmtheitsmaße R^2 der Regressionen zwischen den Wirkstoff-Frachten und der Niederschlagsmenge im Einzugsgebiet der Ackerbau-Kläranlagen für verschiedene Auswertungszeiträume und Berechnungsansätze (n = Anzahl Wertepaare)

	Herbst 2006			Frühjahr 2007		
	n	Zeitgleich ^a R^2	Zeitversetzt ^b R^2	N	Zeitgleich ^a R^2	Zeitversetzt ^b R^2
KA_B	19	0,17	0,45	21	0,10	0,33
KA_F	24	0,00	0,00	21	0,11	0,07
KA_J	15	0,05	0,05	20	0,00	0,00
KA_L	26	0,08	0,00	22	0,43	0,34
KA_O	16	0,03	0,01	21	0,07	0,01
KA_Reis	15	0,59	0,00	17	0,09	0,14
KA_Rh	22	0,45	0,13	21	0,02	0,03

a) Berechnung mit den Werte der Fracht im Kläranlagenablauf (abhängige Variable) und der Niederschlagsmenge (unabhängige Variable) des gleichen Probenahmetermins

b) Berechnung mit Fracht im Kläranlagenablauf gegenüber der Niederschlagsmenge um einen Zeitschritt (Probenahmetermin) versetzt.

Signifikanzniveau: „*“: $\alpha = 95\%$; „**“: $\alpha = 99\%$; „****“: $\alpha = 99,9\%$

Die Regressionen liefern Hinweise darauf, dass die Höhe der Punkteinträge in den Abläufen der sieben Kläranlagen in den Betrachtungszeiträumen zumindest bei einzelnen Kläranlagen durch die Niederschlagssituation im Einzugsgebiet beeinflusst wird. Ob ein berechnetes Bestimmtheitsmaß signifikant ist, hängt im Einzelfall vom Stichprobenumfang ab. Je höher die Anzahl der Wertepaare ist, desto niedriger kann der Absolutbetrag des Korrelationskoeffizienten sein und dennoch ein linearer Zusammenhang zwischen den betrachteten Variablen

bestehen. Bei einem Signifikanzniveau von 5 % und unter Verwendung eines t-Tests als Signifikanztest deuten die berechneten Bestimmtheitsmaße in 8 Fällen (von 28) auf eine Abhängigkeit der PSM-Fracht von der Niederschlagsverteilung im Einzugsgebiet hin.

Mit Hilfe statistischer Testverfahren (t-Tests als Signifikanztests von Regressionskoeffizienten) kann laut Köhler et al. (2001), bei einer festgelegten Sicherheitswahrscheinlichkeit von 95 % (Signifikanzniveau 5 %) und bei einem Stichprobenumfang von maximal sieben Regressionen pro Wirkstoff allerdings erst ab Werten von $R^2 > 0,527$ von einem signifikanten Zusammenhang ausgegangen werden.

5.4 Frachten bezogen auf die Anzahl der Spritzgeräte

Im nächsten Schritt wurden die berechneten Frachten mit der Anzahl der Feldspritzen im Einzugsgebiet der Kläranlagen in Beziehung gesetzt. Tab. 34 gibt eine Übersicht über die Anzahl der Betriebe, die durchschnittliche Betriebsgröße und die Anzahl der Applikationsgeräte.

Tab. 34. Ackerbau-Kläranlagen: Anzahl der Betriebe, durchschnittliche Betriebsgröße und Anzahl der Spritzgeräte im Einzugsgebiet der Ackerbau-Kläranlagen

Kläranlage	Anzahl der Betriebe	Mittlere Betriebsgröße	Anzahl Spritzgeräte ^a
KA_B	8	164 ha	5
KA_F	191	54 ha	111
KA_J	7	1133 ha	9
KA_L	97	48 ha	64
KA_O	637	30 ha	482
KA_Reis	315	45 ha	284
KA_Rh	161	68 ha	72

a) Ermittelt auf Basis von Auswertungen der Prüfberichte der amtlichen Gerätekontrollen (Jahre 2004, 2005 und 2006) durch die zuständigen Landwirtschaftsämter (s. Kap. 3.1).

Im Regelfall ist die Anzahl der Applikationsgeräte geringer als die Zahl der Betriebe, mit Ausnahme der Betriebe im Einzugsbereich der KA_J. Die dort ansässigen Großbetriebe verfügen teilweise über mehr als ein Spritzgerät pro Betrieb.

Abb. 21 zeigt einen Überblick über die Summe der Wirkstoff-Frachten (ohne den Wirkstoff Diuron) über den gesamten Betrachtungszeitraum Herbst 2006 pro Feldspritze für die einzel-

nen Kläranlagen. Die Geräte-bezogenen Frachten erreichen zwischen 0,3 g/Spritzgerät im Einzugsgebiet der KA_Reis und 25,4 g/Spritzgerät im Einzugsgebiet der KA_B, der Mittelwert aller Kläranlagen beträgt 6,8 g/Feldspritze. Entsprechend den höheren Gesamtfrachten liegen auch die Frachten pro Feldspritze im Frühjahr 2007 deutlich darüber. Der Mittelwert beträgt 33,8 g/Feldspritze mit einer Spannweite von 1,1 bis 97,1 g PSM/Applikationsgerät (Abb. 22).

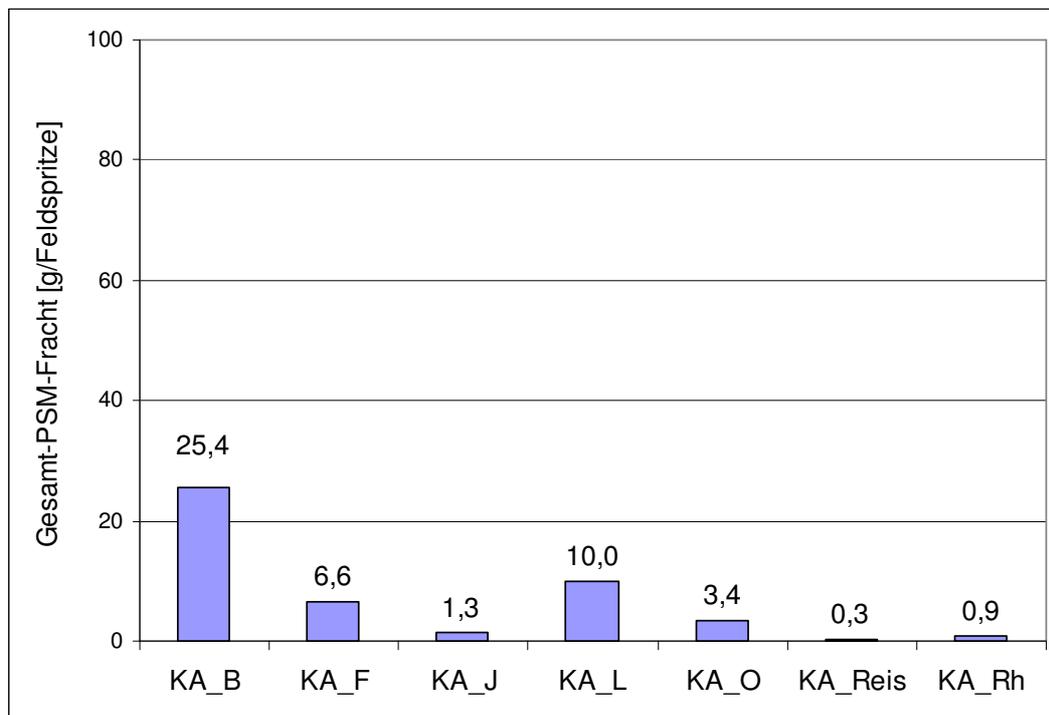


Abb. 21.: Wirkstoff-Gesamtfrachten (ohne Diuron) pro Spritzgerät in den Einzugsgebieten der Ackerbau-Kläranlagen im Herbst 2006 (33. – 46. KW)

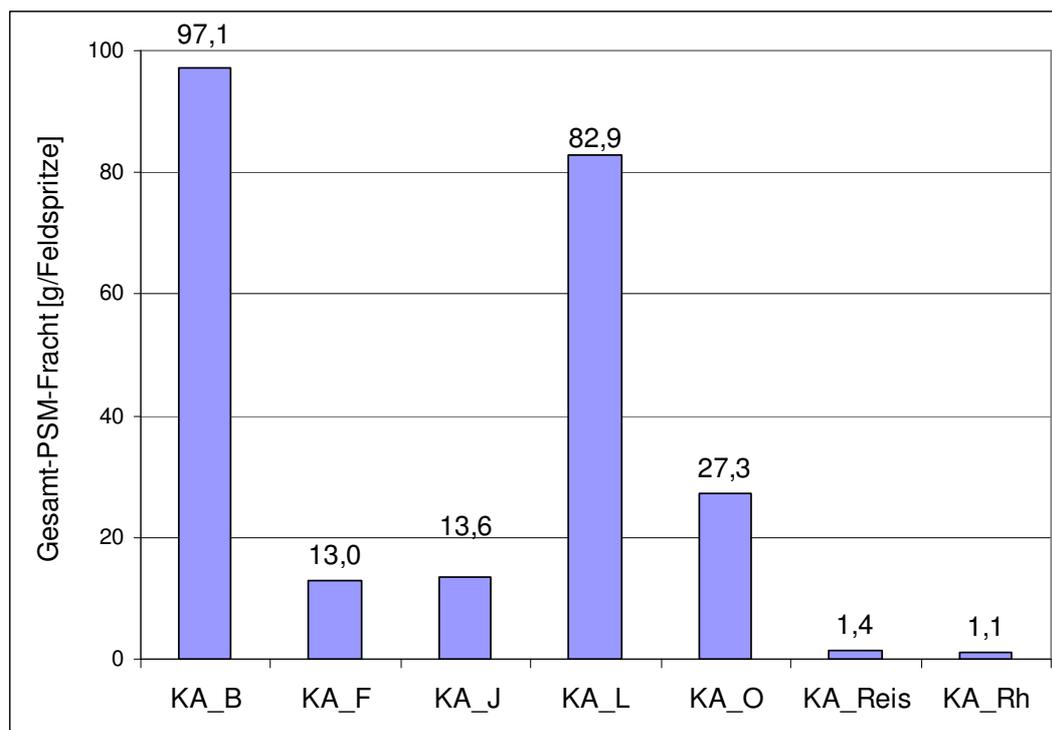


Abb. 22. Wirkstoff-Gesamtfrachten (ohne Diuron) pro Spritzgerät in den Einzugsgebieten der Ackerbau-Kläranlagen im Frühjahr 2007 (10. – 23. KW)

Die Relation der Fracht pro Spritzgerät zwischen Herbst 2006 und Frühjahr 2007 variiert zwischen den Kläranlagen beträchtlich. Während das Verhältnis für die KA_Rh (bei insgesamt sehr geringen Periodenfrachten) annähernd 1:1 beträgt, ist in der KA_J die Fracht im Frühjahr rund zehnmal größer als im Herbst 2006, eine ähnlich große Relation tritt auch bei KA_L auf. Ein Grund hierfür ist sicherlich der saisonal bedingte Unterschied in der Häufigkeit der PSM-Applikationen (Herbst/Frühjahr) insgesamt. Dazu kommt, dass im untersuchten Wirkstoffspektrum Substanzen enthalten sind, die in der landwirtschaftlichen Praxis vornehmlich im Frühjahr zum Einsatz kommen. Zum Beispiel findet die PSM-Hauptbehandlung von Mais rund vier Wochen nach Saattermin im Frühjahr statt. Die dort zum Einsatz kommenden Wirkstoffe S-Metolachlor und Terbuthylazin wurden im Herbst 2006 fast gar nicht gefunden, im Frühjahr 2007 sind deutliche Frachtschwerpunkte von April bis Ende Mai zu erkennen (siehe Ausführungen dazu Pkt. 5.6.4).

In den Abb. 23 und 24 sind die Frachten pro Feldspritze im Ablauf der Kläranlagen für diejenigen 13 Wirkstoffe dargestellt, welche die Gesamtfracht dominieren. Bei der Interpretation ist die unterschiedliche Skalierung der Y-Achse bei den Abb. 23 und 24 zu beachten. Eine

vollständige Auflistung der Einzelwirkstoff-Frachten pro Spritzgerät ist im Anhang (Tab. A-7 und A-8) zu finden.

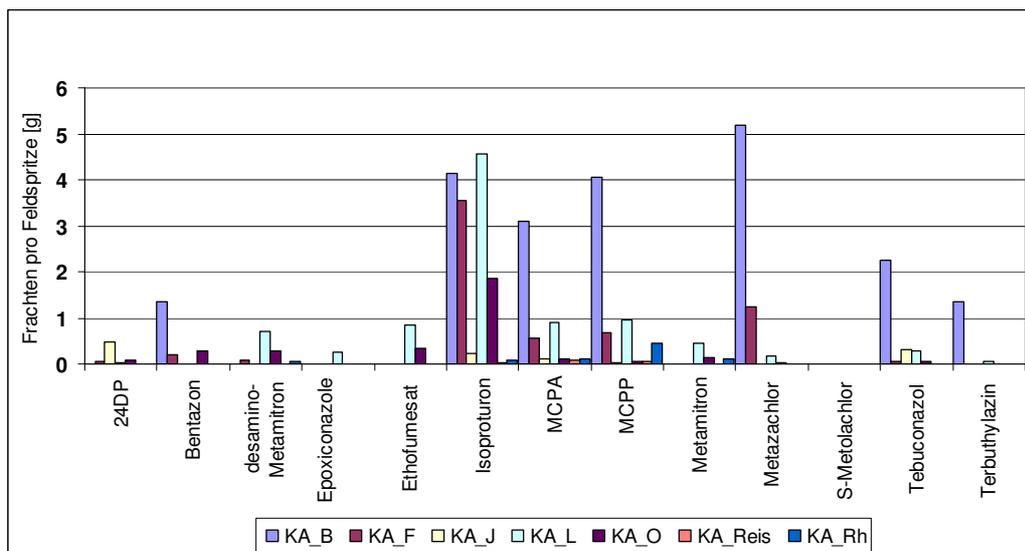


Abb. 23. Frachten pro Spritzgerät der hauptsächlich gefundenen Wirkstoffe in den Einzugsgebieten der Ackerbau-Kläranlagen im Herbst 2006 (33. – 46. KW)

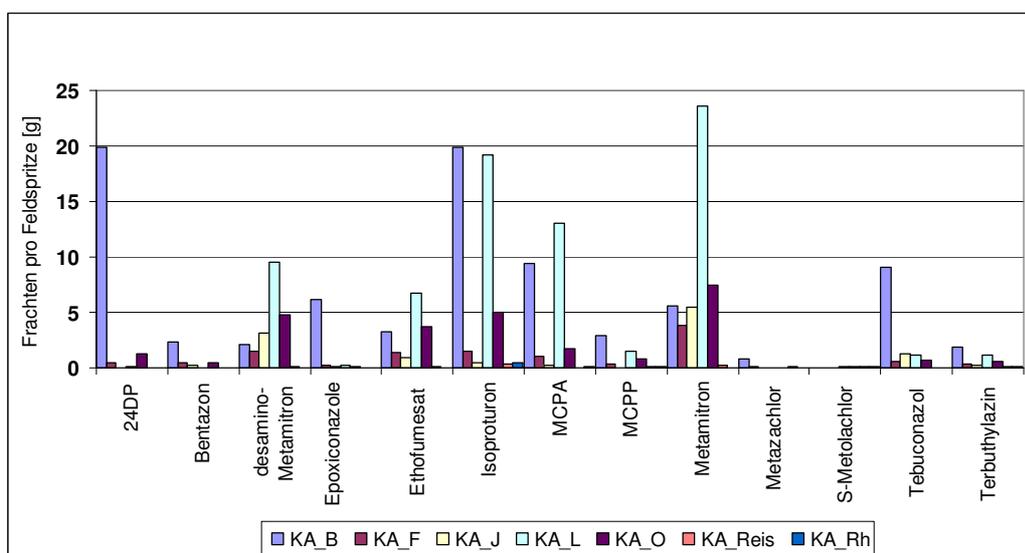


Abb. 24. Frachten pro Spritzgerät der hauptsächlich gefundenen Wirkstoffe in den Einzugsgebieten der Ackerbau-Kläranlagen im Frühjahr 2007 (10. – 23. KW)

Die berechneten Frachten pro Feldspritze und Betrachtungszeitraum für einzelne Wirkstoffe, gemittelt über alle Ackerbau-Kläranlagen, sind Tab. 35 zu entnehmen. Die höchste mittlere Fracht pro Spritzgerät eines einzelnen Wirkstoffs liegt für den Betrachtungszeitraum Herbst 2007 bei 2,06 g (Isoprotruron). Der berechnete Maximalwert für das Frühjahr 2007 erreicht

9,63 g/Feldspritze in der Summe von Metamitron und Desamino-Metamitron. Auch bei Betrachtung der Wirkstoff-Frachten pro Gerät, bezogen auf das gesamte Anbaujahr 2006/2007, liegt der Wirkstoff Metamitron (mit dem Metabolit Desamino-Metamitron) mit fast 10 g an der Spitze. Die Isoproturon-Fracht pro Gerät in der Summe beider Untersuchungsperioden erreicht 8,7 g pro Spritzgerät, für MCPA werden rund 4,4 g und für Ethofumesat rund 2,5 g ermittelt.

Tab. 35. Frachten pro Spritzgerät (hauptsächlich gefundene Wirkstoffe), gemittelt über die Ackerbau-Kläranlagen

Wirkstoff	Untersuchungszeitraum Herbst 2006 (33. – 46. KW)	Untersuchungs- zeitraum Frühjahr 2007 (10. – 23. KW)	Anbaujahr 2006 u. 2007 insges.
g pro Spritzgerät und Betrachtungszeitraum			
2,4 DP	0,09	3,10	3,19
Bentazon	0,26	0,51	0,77
Ethofumesat	0,17	2,30	2,47
Epoxiconazol	0,04	0,98	1,02
Isoproturon	2,06	6,67	8,73
MCPA	0,72	3,66	4,38
MCPP	0,90	0,81	1,71
Metamitron und Desamino- Metamitron	0,26	9,63	9,89
Metazachlor	0,95	0,16	1,11
S-Metolachlor	--	0,07	0,07
Tebuconazol	0,42	1,84	2,26
Terbutylazin	0,20	0,64	0,84

Bei der Interpretation der Werte ist zu beachten, dass der Betrachtungszeitraum Herbst 2006 nicht unmittelbar mit dem Betrachtungszeitraum Frühjahr 2007 vergleichbar ist. Das liegt vor allem an der unterschiedlichen Anzahl von Spritzterminen im Frühjahr und im Sommer/Herbst und auch an der Verwendung unterschiedlicher Wirkstoffe und Mischungspartner in den verschiedenen Pflanzenwachstumsphasen. Generell kann festgehalten werden, dass im Frühjahr deutlich mehr Spritztermine mit Präparaten der Wirkstoffe aus dem gewählten Analysespektrum erwartet werden können als im Herbst und damit potenziell häufiger Befüll- und Reinigungsvorgänge von Spritzgeräten auftreten.

5.5 Frachten bezogen auf die landwirtschaftliche Nutzfläche

Werden die gemessenen PSM-Gesamtfrachten (ohne Diuron) auf die landwirtschaftliche Nutzfläche (LF) in den Einzugsgebieten der beprobten Kläranlagen bezogen, ergibt sich ein relativ heterogenes Bild (Tab. 36). Dabei wird die gesamte landwirtschaftliche Fläche betrachtet, die von den Betrieben bewirtschaftet wird, die in die beprobten Kläranlagen entwässern. Die für die Berechnung benötigte Flächengröße ergibt sich aus dem Produkt von mittlerer Betriebsgröße und Anzahl der Betriebe in den Einzugsgebieten der Kläranlagen.

Die mittleren berechneten Werte über beide Betrachtungszeiträume (Anbaujahr) variieren von 0,02 g PSM/ha LF in den Gebieten der Kläranlagen KA_J und KA_Rh bis zu 1,27 g (1270 mg) PSM/ha LF im Einzugsgebiet der KA_L.

Tab.36. PSM-Frachten (gesamter Untersuchungszeitraum) bezogen auf die landwirtschaftliche Nutzfläche, die von Betrieben in den Einzugsgebieten der Ackerbau-Kläranlagen bewirtschaftet wird

	KA_B	KA_F	KA_J	KA_L	KA_O	KA_Reis	KA_Rh
LF gesamt [ha]	1312	10 314	7931	4656	19 110	14 175	10 948
Ackerland [ha]	1168	8973	6503	3771	18 537	13 041	8868
Gesamtfracht [g] (ohne Diuron)	612	2.158	135	5.920	14.793	475	168
Mittlere Fracht [g/ha LF]	0,47	0,21	0,02	1,27	0,77	0,03	0,02
Mittlere Fracht [g/ha Ackerland]	0,52	0,24	0,02	1,57	0,80	0,04	0,02

Eine weitere Möglichkeit der Auswertung im Hinblick auf die landwirtschaftliche Nutzung im Gebiet der Kläranlagen besteht darin, die Frachten der einzelnen Wirkstoffe auf die Anbauflächen derjenigen Fruchtarten zu beziehen, auf denen die Wirkstoffe ausgebracht werden. Die Angaben zu den Anbauflächen der Kulturarten sind der Agrarstatistik der Länder auf Gemeindeebene entnommen worden (Bezugsjahr 2003, siehe Kap. 3.1; Tab. 37).

Tab. 37. Übersicht über die Flächenanteile einzelner Kulturen an der Betriebsfläche der Betriebe in den Einzugsgebieten der Ackerbau-Kläranlagen

	KA_B	KA_F	KA_J	KA_L	KA_O	KA_Reis	KA_Rh
LF gesamt [ha]	1312	10 314	7931	4656	19 110	14 175	10 948
Ackerland [ha]	1168	8973	6503	3771	18 537	13 041	8868
Getreide [ha]	736	6371	4420	1622	10 937	6651	6828
Mais [ha]	152	269	0	113	2966	4043	1596
Zuckerrüben [ha]	35	1167	163	1320	4263	782	0
Kartoffeln [ha]	12	269	163	717	185	130	355
Raps [ha]	324	897	1756	0	185	391	89

Zu den analysierten Wirkstoffen, die mit hoher Wahrscheinlichkeit der Behandlung bestimmter landwirtschaftlicher Kulturen zugeordnet werden können, zählen 2,4 DP, Isoproturon, MCPA und MCPP. Sie gelten als klassische Getreideherbizidwirkstoffe. Bentazon, S-Metolachlor und Terbutylazin finden vor allem im Maisanbau Verwendung. Ethofumesat und Metamitron werden in Zuckerrüben und schließlich Metazachlor und Tebuconazol im Rapsanbau eingesetzt.

In Tab. 38 sind die berechneten Frachten im Anbaujahr 2006/2007 für vier Wirkstoff-Gruppen wiedergegeben, die jeweils auf die Anbaufläche der zuzuordnenden vier Kulturart-Gruppen bezogen worden sind. Auffallend sind die vergleichsweise hohen Werte bei Zuckerrüben und Raps. Ursache hierfür könnte die Reinigung von Spritzgeräten nach Kulturartwechsel sein. Wiederum treten auch hier relativ große Unterschiede zwischen den Einzugsgebieten der einzelnen Kläranlagen auf. Die höchsten berechneten Frachten pro ha sind fast durchgängig für alle Einzugsgebiete (Ausnahme KA_Reis) für den Zuckerrübenanbau ermittelt worden, allerdings liegt die Spannweite der Werte zwischen 0,073 g/ha im Einzugsgebiet der KA_Reis und 0,627 g/ha im Einzugsgebiet der KA_L.

Für die KA_L wurden fast durchgängig die höchsten kulturspezifischen Austräge festgestellt. Ein Grund für die hohen kulturspezifischen Austräge könnte in dem überproportional hohen Anteil an Zuckerrüben- und Kartoffel-Anbaufläche im Einzugsgebiet liegen (siehe Tab. 37). Da die Betrachtungszeiträume der vorliegenden Untersuchung die üblichen Applikationszeiträume in diesen Kulturen nicht vollständig abdecken, kann diese Vermutung nicht eindeutig verifiziert werden. Die technische Ausstattung der KA_L unterscheidet sich nicht wesentlich von der der anderen beprobten Kläranlagen.

Tab. 38. Wirkstoff-Frachten (gesamter Untersuchungszeitraum, also Herbst 2006 und Frühjahr 2007) bezogen auf die Anbaufläche der behandelten Kulturarten in den Einzugsgebieten der Ackerbau-Kläranlagen

	KA_B	KA_F	KA_J	KA_L	KA_O	KA_Reis	KA_Rh
	g/ha Anbaufläche						
Fracht pro ha Getreide ^a	0,165	0,101	0,002	0,623	0,200	0,013	0,009
Fracht pro ha Mais ^b	0,079	0,097		0,219	0,052	0,005	0,003
Fracht pro ha Zuckerrüben ^c	0,389	0,189	0,154	0,627	0,577	0,073	
Fracht pro ha Raps ^d	0,212	0,184	0,003		0,777	0,083	0,018

a) Summe der Wirkstoffe 2,4 DP, Isoproturon, MCPA und MCPP

b) Summe der Wirkstoffe Bentazon, S-Metolachlor und Terbutylazin

c) Summe der Wirkstoffe Ethofumesat und Metamitron

d) Summe der Wirkstoffe Metazachlor und Tebuconazol

5.6 Applikationszeiträume und Wirkstoff-Frachten

Im Verlauf der Untersuchung wurden in den beprobten Kläranlagenabläufen zum größten Teil Getreideherbizide, Wirkstoffe, die im Rapsanbau Verwendung finden, und PSM-Bestandteile von Zuckerrüben-Präparaten nachgewiesen. In den Tabellen A-9 bis A-22 im Anhang sind die Anteile der jeweils frachtdominierenden Wirkstoffe an der Gesamtfracht (Darstellung mit und ohne Diuron) für jede Kläranlage aufgeführt. Bei der Betrachtung wird deutlich, dass im Betrachtungszeitraum Herbst 2006 in allen Kläranlagen mit Ausnahme der KA_Reis über 80 % der gesamten Wirkstofffracht (*ohne Diuron*) von folgenden neun Substanzen verursacht wurde:

- 2,4 DP
- Bentazon
- Ethofumesat
- Isoproturon
- MCPA
- MCPP
- Metamitron

- Metazachlor
- Tebuconazol

Bei der KA_Reis macht die Summe der Einzelfrachten dieser Wirkstoffe lediglich 63 % aus. Das kommt daher, dass hier fast 22 % der Gesamtfracht von Desethyl-Atrazin und weitere 12 % von Atrazin verursacht werden. Im Frühjahr ist diese frachtdominierende Stellung nicht mehr gegeben; hier macht der Anteil von Atrazin und Desethyl-Atrazin nur noch 6,5 % der Gesamtfracht (*ohne Diuron*) aus.

Im Betrachtungszeitraum 06. März bis 04. Juni 2007 stellt sich die Situation ähnlich dar. Auch hier wurden zwischen 80 und 90 % der gesamten PSM-Fracht durch die oben genannten Substanzen verursacht. Zusätzlich dazu spielten hier Wirkstoffe, die im Maisanbau eingesetzt werden (S-Metolachlor und Terbutylazin), eine wichtige Rolle.

Bei der Betrachtung der Gesamtfracht (*mit Diuron*) wird festgestellt, dass Diuron sowohl im Herbst 2006 als auch im Frühjahr 2007 im Ablauf aller sieben beprobten Ackerbaukläranlagen regelmäßig gefunden wurde. Der prozentuale Anteil dieser Substanz an der Gesamtwirkstofffracht reicht von 0,7% im Frühjahr 2007 im Ablauf der KA_J (Tab. 13 und 14 im Anhang) bis zu immerhin 71,4% im selben Zeitraum im Ablauf der KA_Rh (Tab. 21 und 22 im Anhang). Auch im Ablauf der KA_B gehen im Frühjahr 2007 57,3% der gesamten PSM-Fracht auf das Konto von Diuron (Tab. 9 und 10 im Anhang). Diese Ergebnisse verdeutlichen, dass außerlandwirtschaftliche Quellen immer noch eine wesentliche Rolle bei der PSM-Befrachtung von Oberflächengewässern spielen.

In diesem Kapitel (siehe Pkt. 5.6.1 bis 5.6.4) werden die Fundzeiträume der Wirkstoffe, die insgesamt 80% der Gesamtfracht ausmachten, allerdings ohne Diuron, mit den Applikationszeiträumen der entsprechenden Präparate verglichen. Bei der Interpretation ist zu beachten, dass an der KA_O im Herbst 2006 erst ab der 38. KW durchgängig beprobt wurde und für den Zeitraum 33.–37. KW keine Daten vorliegen. In den Abb. A-12 bis A-29 (im Anhang) werden die Fundzeiträume der Substanzen in den jeweiligen KA und Betrachtungszeiträumen in Form von Punktdiagrammen dargestellt.

5.6.1 Wirkstoffe Getreideanbau

Substanzen aus Getreideherbiziden, die hier betrachtet werden, sind 2,4 DP, Isoproturon, MCPA und MCPP.

Der Wirkstoff 2,4 DP ist Bestandteil von selektiven, translokierbaren Herbiziden mit Wuchsstoffeigenschaften. Abb. A-12 im Anhang zeigt die Funde in den beprobten Kläranlagen im Herbst 2006. 2,4 DP wurde ab der 36. KW bis zur 46. KW in fünf Kläranlagen (KA_F, KA_J, KA_L, KA_O und KA_Reis) detektiert. Auffällig sind die deutlichen Frachtschwerpunkte im Ablauf der KA_O in der 43. und der 45. KW (23. Oktober bis 09. November) und im Ablauf der KA_J zu Beginn der Beprobung in der ersten Probe und in der zweiten Oktoberhälfte. Im Frühjahr 2007 wurde 2,4 DP im Ablauf der KA_O ab Ende März bis Anfang Juni detektiert. Die vermehrten Funde ab der 16. KW (Mitte April) deuten auch hier auf einen zeitlich engen Zusammenhang zwischen der Nachauflaufbehandlung im Getreideanbau und der Detektion von 2,4 DP-Rückständen in den Abläufen der Kläranlagen hin.

Präparate mit dem Wirkstoff Isoproturon werden sowohl im Vor- als auch im Nachauflauf verwendet (Meyer et al., 2006). Der Wirkstoff wurde im Herbst 2006 und im Frühjahr 2007 durchgängig in allen Kläranlagenabläufen detektiert. Dabei war im Herbst 2006 ein deutlicher Anstieg im Oktober zu verzeichnen. Im Frühjahr 2007 traten vermehrte Frachten von Mitte März bis Anfang April auf (Proben 11/2 bis 14/1). Auch für die Funde von Isoproturon gilt, dass sie durchgängig bei allen Kläranlagen zeitnah zu den Anwendungszeiträumen der entsprechenden Präparate aufgetreten sind.

Die Phenoxy-carbonsäure MCPA wird zum Einsatz bei Getreide, im Grünland, im Weinbau und als „Rasenunkrautvernichter“ gegen zweikeimblättrige Unkräuter und zur Stoppelbearbeitung im September empfohlen. Der Anwendungszeitraum ist im Getreide zum Nachauflauf, während der Bestockungsphase und dann wieder ab den Entwicklungsstadien EC 37 bis BBCH 39 und im Grünland während der Vegetationsperiode von Mai bis August (Meyer et al., 2006). MCPA wurde im Betrachtungszeitraum Herbst 2006 im Ablauf aller beprobten Kläranlagen detektiert. Deutliche Frachtanstiege waren Ende August während der 34. und 35. KW sowie zwischen der 39. und 44. KW (Oktober) zu erkennen. Dies lässt vermuten, dass die Funde im direkten Zusammenhang mit der Reinigung von Spritzgeräten unmittelbar nach der Anwendung oder vor der Einwinterung stehen. Im Frühjahr 2007 lagen die Frachtschwerpunkte bei allen Kläranlagen in der zweiten Hälfte des Beprobungszeitraumes und im

April (14. – 19. KW). Auch hier wird ein zeitlicher Zusammenhang zwischen Einsatz der Präparate und Einträge ins Gewässer deutlich.

MCPPP-haltige Präparate finden Anwendung bei Untersaaten nach dem Räumen der Deckfrucht, nach der letzten Nutzung im Grünland sowie im Nachauflauf von Getreide. MCPPP wird auch zur Unkrautbekämpfung in Hausgärten verwendet. Anwendungszeitraum in der Landwirtschaft ist neben der Nachauflaufbehandlung von Getreide im Frühjahr laut Meyer et al. (2006) August bis Oktober. MCPPP wurde an allen beprobten Kläranlagen während des Betrachtungszeitraumes (33. – 46. KW 2006) kontinuierlich gefunden. In der zweiten Augushälfte wurden deutliche Fracht- und Konzentrationsanstiege an den KA_L, KA_O, KA_Reis und KA_Rh gemessen. Relativ geringe Frachten an sämtlichen Anlagen (Ausnahme KA_L) wurden vom 9. bis 23. Oktober 2006 detektiert. Auch im Frühjahr 2007 wurde MCPPP durchgängig in den Abläufen der untersuchten Kläranlagen gemessen. Die Funde decken sich größtenteils mit der vermutlichen Applikationszeit MCPPP-haltiger Präparate. Der Anstieg der gemessenen Frachten nach der 44. KW (Anfang November) könnte mit der „Einwinterung“ von Applikationsgeräten und einer damit verbundenen Reinigung der Geräte zusammenhängen.

5.6.2 Wirkstoffe Rapsanbau

Metazachlor und Tebuconazol gehörten sowohl im Betrachtungszeitraum Herbst 2006 als auch im Frühjahr 2007 zu den frachtdominierenden Wirkstoffen.

Bei Metazachlor handelt es sich um einen Herbizid-Wirkstoff, der hauptsächlich im Rapsanbau und bei Kohlarten eingesetzt wird. Anwendungszeitpunkt im Winterraps ist nach dem Auflaufen im Herbst und bei Sommerraps im Vor- oder im Nachauflauf sowie im Keimblattstadium der Unkräuter im Nachauflauf (Meyer et al., 2006). Der Einsatz von *Butisan* wird sieben bis zehn Tage nach der Aussaat empfohlen (Meyer et al., 2006). Die Aussaat von Winterraps erfolgt in Deutschland in der Regel (mit geringfügigen regionalen Unterschieden) in der zweiten Augustwoche. Metazachlor-Rückstände wurden im Betrachtungszeitraum 33.–46. KW 2006 im gesamten September bis Anfang Oktober (35. – 40. KW) sowie Ende Oktober bis Anfang November (43. - 45. KW) im Ablauf von insgesamt sechs Kläranlagen gemessen. Diese Funde können entweder durch unsachgemäße Reinigung von Spritzgeräten oder Unfälle beim Befüllen verursacht worden sein. Metazachlor-Frachten Ende Oktober/Anfang November stammen unter Umständen aus der Reinigung der Applikationsgeräte

vor der Einwinterung. Im Frühjahr 2007 wurde Metazachlor vor allem von Mitte März bis Mitte April gefunden (11. – 16. KW, KA_O, KA_Rh) und versetzt zwei Wochen später in den Abläufen der übrigen untersuchten Kläranlagen. Frachtschwerpunkte liegen in der zweiten Maihälfte (KA_O). Die gemessenen Wirkstoff-Frachten im Frühjahr deuten ebenfalls auf einen engen zeitlichen Zusammenhang mit Applikationszeiträumen im Sommerraps hin.

Bei Präparaten mit Tebuconazol handelt es sich meist um Kombipräparate zur Bekämpfung von Pilzbefall im Ackerbau (Raps, Senf, Getreide), im Obstbau und beim Spargelanbau. Tebuconazolhaltige Präparate werden in großem Maß auch als Wachstumsregler (*Folicur*) im Rapsanbau verwendet (BVL, 2007a). Der Hauptanwendungszeitraum ist von Juni bis Oktober (Meyer et al., 2006). Tebuconazol wurde in den Abläufen von fünf Kläranlagen (KA_B, KA_F, KA_J, KA_ und KA_O) nachgewiesen: im Ablauf der KA_L durchgängig und in den anderen fünf Kläranlagen vermehrt ab der 40. KW 2006 (Anfang Oktober). Damit liegt auch hier wieder die Vermutung nahe, dass die Fundzeiträume durch aktuelle Applikation bzw. damit verbundene Arbeitsschritte sowie mit der Reinigung der Applikationsgeräte vor der Einwinterung zu erklären sind. Im Frühjahr 2007 ist die Verteilung der Frachtschwerpunkte uneinheitlich. Im Ablauf der KA_B ist ein vermehrtes Auftreten von Tebuconazol Ende März bzw. Anfang April zu erkennen (12. – 14. KW), Ende April ist ein deutlicher Anstieg der Tebuconazol-Frachten in den Proben der KA_L, KA_O und KA_Rh zu verzeichnen. Tebuconazolhaltige Präparate werden auch im Getreideanbau als Fungizide bei Befall eingesetzt. Dies könnte die zeitliche Varianz der Funde im Frühjahr erklären. Auch hier wird ein Zusammenhang von Fundhäufigkeit und Applikationszeiträumen angenommen.

5.6.3 Wirkstoffe Zuckerrübenanbau

PSM-Bestandteile, die im Zuckerrübenanbau eingesetzt werden und deren Auftreten in den Ablaufproben der Kläranlagen untersucht werden soll, sind Ethofumesat und Metamitron.

Laut Meyer et al. (2006) ist die Herbizidbehandlung im Zuckerrübenanbau spätestens Ende Juni mit Reihenschluss der Kultur abgeschlossen. Die erste Behandlung erfolgt in der Regel im Nachauflaufstadium der Unkräuter; die empfohlenen beiden Folgebehandlungen stehen in fünf- bis zehntägigem Abstand an (BVL, 2007a). Trotzdem wurde Ethofumesat im Herbst in den Ablaufproben der KA_L und KA_O durchgängig gefunden – also von Mitte August bis Mitte November. In den Einzugsgebieten der KA_L und KA_O ist der Zuckerrübenanteil an den angebauten Fruchtarten relativ hoch (KA_L: 35 % und KA_O: 23 %). Im Ablauf der

KA_L liegen die gemessenen Einzelkonzentrationen zu Beginn des Betrachtungszeitraumes bei rund 0,3 µg/l und zu Ende zwischen 0,08 und 0,1 µg/l. Ein deutlicher Anstieg der Ethofumesat-Konzentrationen im Ablauf der KA_O ist ab Anfang November zu beobachten (Probe 44/1: Ethofumesat-Konzentration von 3,1 µg/l). Eine mögliche Erklärung für die Ethofumesat-Funde im Herbst ist, dass die Reinigung der Applikationsgeräte zumindest in einigen Fällen nicht direkt nach dem Herbizideinsatz bei Zuckerrüben, sondern erst vor der Getreidebehandlung erfolgt sein könnte. Möglicherweise sind also für den deutlichen Anstieg der Ethofumesat-Fracht zum Ende des Betrachtungszeitraumes die Einwinterung von Applikationsgeräten und die damit verbundene gründliche Reinigung verantwortlich.

Im Betrachtungszeitraum Frühjahr 2007 wurde Ethofumesat in vergleichsweise hohen Mengen ab Ende April in den Abläufen der KA_B, KA_F, KA_J, KA_L und KA_O gefunden; davor waren nur vereinzelt in Proben der KA_L und KA_O geringe Konzentrationen dieser Substanz gemessen worden. Die Funde von Ethofumesat im Frühjahr 2007 fallen mit den vermuteten Applikationszeiträumen der entsprechenden Präparate zusammen.

Auch Metamitron ist Bestandteil von Zuckerrüben-Herbiziden. Metamitron wurde während des Betrachtungszeitraums in den Abläufen von drei Kläranlagen detektiert. Im Ablauf der KA_L wurde Metamitron durchgängig von August bis zum 23. Oktober gefunden, mit zwei Wochen Pause (letzte August-/erste Septemberwoche). Der Hauptanteil der Gesamtfracht wurde hier zwischen der 37. – 40. KW (11. September bis 5. Oktober) berechnet. An der KA_O wurden von Beginn der Beprobung bis zur 40. KW (Anfang Oktober) relativ hohe Konzentrationen gemessen, nach einer Pause stiegen die Werte von der 43. bis zur 45. KW (Ende Oktober, Anfang November) wieder an. Im Ablauf der KA_Rh wurde Metamitron an fünf Beprobungsterminen Ende August/Anfang September gefunden. Frachtschwerpunkte liegen im Betrachtungszeitraum Frühjahr 2007 in der zweiten Hälfte des Beprobungszeitraumes (ab der 17. KW in den Proben der KA_F, KA_J, KA_L, KA_O, KA_Reis).

5.6.4 Wirkstoffe Maisanbau

Bentazon, S-Metolachlor und Terbutylazin sind Wirkstoffe, die im Maisanbau eingesetzt werden. Auffällig ist, dass Bentazon sowohl im Herbst 2006 als auch im Frühjahr 2007 regelmäßig in den Ablaufproben der Kläranlagen gefunden wurde. Bentazonhaltige Mittel sind allerdings auch im Anbau von Getreide (Triticale, Gerste, Weizen, Hafer, Roggen) und Fut-

terpflanzen (Ackerbohne, Futtererbse), im Gemüsebau, beim Anbau diverser Arzneipflanzen sowie im Kartoffelanbau zugelassen.

Bentazon wurde im Herbst 2006 im Ablauf von fünf Kläranlagen detektiert (KA_B, KA_F, KA_O, KA_Reis und KA_Rh). Bei den KA_Reis und KA_Rh ist die Bentazonbelastung auf einen einzigen Probenahmetermin im Betrachtungszeitraum zurückzuführen (KA_Reis Mitte Oktober und KA_Rh Mitte August). In der KA_B wurde in der zweiten Augushälfte und Mitte Oktober Bentazon nachgewiesen, in den beiden Anlagen KA_F und KA_O waren die Ablaufproben kontinuierlich mit Bentazon belastet. Abb. A-14 und A-15 im Anhang verdeutlichen, dass Spitzenwerte zu Beginn des Betrachtungszeitraumes Ende August und dann wieder vom 25. September bis 13. November gemessen wurden. Mögliche Ursachen für die Nachweise im Herbst 2006 könnten Anwendungen im Zwischenfruchtanbau (Ackerbohne, Futtererbse) und Nachauflaufbehandlungen im Getreide sein. Einmalige Funde in Kläranlagen können vielfältige Ursachen haben und z. B. auf die Reinigung von Applikationsgeräten zurückzuführen sein. Der Einsatz bentazonhaltiger Mittel im Maisanbau liegt zeitlich früher im Jahr als der Betrachtungszeitraum 33. – 46. KW 2007 (Anwendung im Mais laut Meyer et al., 2006, im Zwei- bis Sieben-Laubblatt-Stadium). Zum Anwendungszeitraum im Mais „passen“ die vermehrten Funde von Bentazon in fünf Kläranlagen im Frühjahr 2007 ab der 18. KW (erste Mai-Woche).

S-Metolachlor und Terbuthylazin sind Herbizid-Wirkstoffe, die im Maisanbau im Vor- und im Nachauflauf angewendet werden. S-Metolachlor wurde im Betrachtungszeitraum Herbst 2006 in keiner Probe nachgewiesen, Terbuthylazin nur in sehr geringen Mengen in vier von 151 Proben in Werten >BG. Im Frühjahr 2007 sind für Terbuthylazin zwei Zeiträume zu erkennen, in denen Frachtschwerpunkte an den KA_B, KA_F, KA_L, KA_O und KA_Rh ausgemacht werden können; das sind die Zeiten zwischen der 12. und 16. KW (Mitte März bis Mitte April) und die 20. – 22. KW (zweite Maihälfte). Ein ähnliches Verteilungsmuster ist für S-Metolachlor zu erkennen. Damit können die Funde in direktem Zusammenhang mit der Applikation der entsprechenden Präparate im Maisanbau und dem Befüllen von Spritzgeräten stehen.

5.7 Zwischenfazit Beprobung Ackerbau-Kläranlagen

Im Gegensatz zur Weinbau-Kläranlage, bei der zwei Hauptapplikationszeiten in zwei aufeinanderfolgenden Jahren beprobt und die Ergebnisse entsprechend verglichen wurden, erfolgte die Beprobung der sieben Ackerbau-Kläranlagen im Herbst 2006 und im Frühjahr 2007. Damit wurde versucht, ein Wirtschaftsjahr abzubilden.

Die mittlere PSM-Fracht in den untersuchten Ackerbau-Kläranlagen beträgt auf das Wirtschaftsjahr 2006/2007 bezogen auf die aussagekräftigere Kenngröße „Fracht pro Feldspritze“, 23 g pro Applikationsgerät.

An dieser Stelle sei angemerkt, dass die tatsächlichen Absoluteinträge möglicherweise höher sind. Das kann damit zusammenhängen, dass es durch die Einführung neuer Wirkstoffe, die nicht im Analysespektrum erfasst werden, zur Substitution herkömmlicher Präparate kommen kann. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurde bspw. auf die Analyse des Wirkstoffes Glyphosat (Präparate laut BVL, 2007a, unter anderem *Roundup* und *Clinic*) verzichtet. Eine der wenigen Studien, die bisher durchgeführt wurden und bei denen auch die Glyphosat-Fracht erfasst wurde, ist die Arbeit von Ittel und Sälzer (2006). Im Ablauf der bei Ittel und Sälzer (2006) untersuchten Kläranlagen lag die mittlere gesamte PSM-Fracht pro Kläranlage bei 2,6 kg (bezogen auf den Messzeitraum 26. März bis 29. Juni 2003). Davon wurden rund 30 % auf Glyphosat und den Metaboliten AMPA zurückgeführt.

Außerdem wird bei dem vorliegenden Beprobungsdesign lediglich die PSM-Fracht bei Trockenwetter ermittelt; das Schmutzwasser, das bei stärkeren Niederschlägen über die Regenwasserentlastung aus der Kanalisation direkt in den Vorfluter gelangt, wird bei dieser Messstrategie nicht erfasst. Ergebnisse von Müller (2000) verdeutlichen den dadurch unter Umständen erheblichen, bisher wenig beachteten Beitrag zur PSM-Belastung von Gewässern. Neumann et al. (2002) ermittelten im Untersuchungsgebiet im Kreis Viersen, dass dort fast 20 % der PSM-Gesamtfracht im Gewässer aus RÜB stammt.

Deutlich werden in der hier vorliegenden Untersuchung die relativ großen Unterschiede zwischen den Kläranlagen bei den Einzelwerten (Tab. 39). Die Spannbreite reicht von 2 g (KA_Reis und KA_Rh) bis 122 g pro Gerät und Wirtschaftsjahr bezogen auf das Einzugsgebiet der KA_B.

Tab. 39. Darstellung der mittleren PSM-Frachten pro Feldspritze [g] bezogen auf ein Wirtschaftsjahr (Herbst 2006 und Frühjahr 2007) im Ablauf von sieben Kläranlagen

	KA_B	KA_F	KA_J	KA_L	KA_O	KA_Reis	KA_Rh
Gesamtfracht [g] (ohne Diuron)	612	2.158	135	5.947	14.793	475	168
Anzahl Feldspritzen	5	111	9	64	482	284	72
Fracht [g/Feldspritze]	122	19	15	93	31	2	2

Die ermittelten Werte bestätigen daher zunächst teilweise die Überschlagsrechnung von Bach et al. (2000), nach der eine Spannbreite der Fracht/Feldspritze in Ackerbaugebieten von 30 g (Minimalwert) bis zu 100 g (Maximalwert) pro Jahr prognostiziert wird. Diese Schätzung basiert auf den Ergebnissen der Untersuchungen, die bis zum Jahr 1999 zu diesem Thema in Deutschland stattgefunden haben (Seel et al., 1996, Bach 1997, Müller et al., 1998, Fischer et al., 1998, Nitschke 1997, Honnen et al., 1997, Hoof, 1995, und Beudert, 1997).

Deutliche Unterschiede bei den einzelnen Kläranlagen zeigen sich auch, wenn die Kenngrößen getrennt voneinander in „Herbst 2006“ und „Frühjahr 2007“ betrachtet werden. In Abb. 25 sind die ermittelten PSM-Frachten pro Feldspritze für die untersuchten Kläranlagen für beide Betrachtungszeiträume dargestellt. Die Werte für Herbst 2006 liegen zwischen knapp 1 g im Einzugsgebiet der KA_Reis und KA_Rh und 25 g/Feldspritze im Einzugsgebiet der KA_B. Die ermittelten PSM-Frachten für Frühjahr 2007 liegen zwischen 1 g im Bereich der KA_Reis und KA_Rh und 83 g pro Applikationsgerät im Einzugsgebiet der KA_L. Da durchgängig das gleiche Beprobungsdesign zum Einsatz kam, ist die Varianz der Werte innerhalb eines Betrachtungszeitraums nicht durch die eingesetzte Messstrategie bzw. Messungenauigkeiten zu erklären.

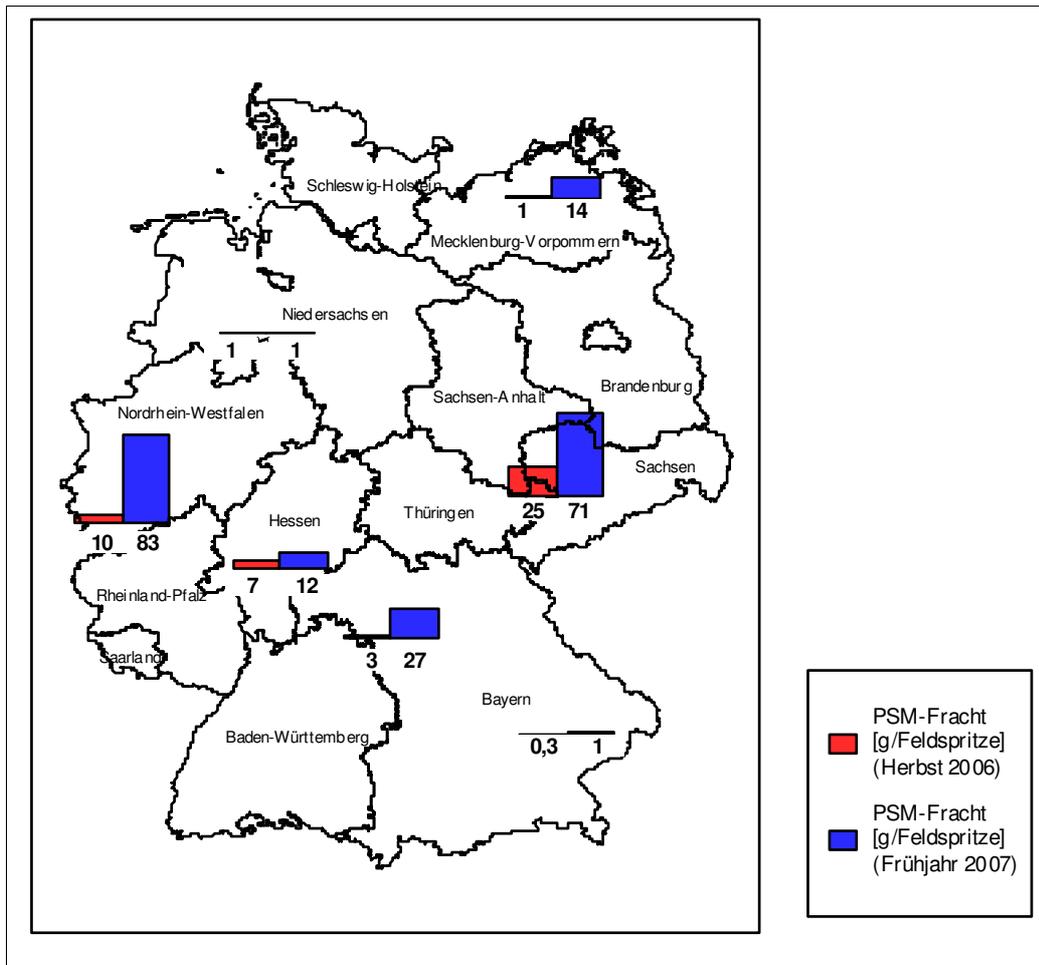


Abb. 25. Darstellung der Kenngröße „PSM-Fracht pro Feldspritze“ (bezogen auf die Betrachtungszeiträume Herbst 2006 und Frühjahr 2007) im Ablauf von sieben Kläranlagen

Ähnlich große Unterschiede (bezogen auf dieselben Betrachtungszeiträume) wurden in den Untersuchungen von Seel et al. (1994) und Seel und Gabriel (2001) deutlich. Hier wurde vor einigen Jahren eine große Anzahl von Kläranlagen (Seel et al. 1994: 22 KA, Seel und Gabriel 2001: 106 KA), die in einem Gebiet mit relativ einheitlicher Agrarstruktur liegen, auf PSM-Rückstände beprobt. Die ermittelten Gesamtsfrachten pro Betrieb betragen bei Seel et al. 1994 zwischen 4 g und 80 g (Beprobungszeitraum März bis Juli 1992). Bislang wurde für diese und weitere Ergebnisse keine schlüssige, eindeutige Erklärung gefunden. Eine Detailanalyse der Ergebnisse dieser Untersuchungen ist im Nachgang nur schwer möglich, da oftmals Langzeitmessungen fehlen (Betrachtungszeitraum oft nur wenige Wochen) und die Analysepektren voneinander abweichen (siehe Ausführungen unter Punkt 2.4). Möglicherweise spie-

len auch die unterschiedlichen Verweilzeiten des Abwassers in den Klärbecken und eine unterschiedliche technische Ausstattung der Anlagen eine wichtigere Rolle als bisher vermutet.

Ein Teil der Unterschiede zwischen Herbst- und Frühjahrsbeprobung (im Ablauf der KA_L immerhin eine Erhöhung um den Faktor 8) im Rahmen der vorliegenden Arbeit können sicherlich mit einer erhöhten Spritzfrequenz im Frühjahr erklärt werden. Durch eine größere Anzahl von Befüllvorgängen besteht erhöhte Gefahr von Unfällen wie z.B. Verschütten von Spritzbrühe. Durch Kulturartenwechsel sind außerdem häufiger Tankreinigungen notwendig, die ebenfalls, bei nicht sachgemäßer Durchführung, zu Punkteinträgen führen können. Hinzu kommt, dass im Analysespektrum der vorliegenden Untersuchung eine Reihe von Wirkstoffen enthalten ist, die im Maisanbau Verwendung finden und daher im Herbst nicht oder nur in sehr geringen Mengen detektiert wurden. Trotzdem ist auffällig, dass selbst unter Betrachtung der Anbausituation im Einzugsgebiet (Anteil bestimmter Kulturen), der Unterschied zwischen den Ergebnissen im Herbst und im Frühjahr nicht vollständig erklärt werden kann.

Als weitere Kenngrößen wurden in der vorliegenden Arbeit erstmalig die Frachten pro behandeltem Hektar Ackerland (für Getreide, Mais, Raps und Zuckerrüben) errechnet (Auswertung siehe Kapitel 6). Deutlich wird, dass der Anbau von Zuckerrüben in den untersuchten Gebieten vergleichsweise hohe PSM-Einträge in Oberflächengewässer verursachte (0,1 bis 0,6 g/pro behandeltem Hektar, Summe der Wirkstoffe Ethofumesat und Metamitron). Wirkstoff-Peaks können ein Indiz des Ablassens der technischen Restmenge auf der Hoffläche vor einem Kulturwechsel (bspw. nach Halmfrucht- und vor Blattfruchtherbiziden) sein. Steigende PSM-Frachten im Ablauf von Kläranlagen Ende Oktober/Anfang November weisen auf Reinigungsvorgänge vor der Einwinterung der Geräte hin.

Die Größenordnung der ermittelten Frachten kann mit Hilfe eines Rechenbeispiels verdeutlicht werden. Die mittlere PSM-Fracht, umgerechnet auf eine Feldspritze (Bezug: alle Einzugsgebiete der untersuchten Ackerbau-Kläranlagen) beträgt auf das Wirtschaftsjahr 2006/2007 bezogen 23 g. Bei einer durchschnittlichen Wirkstoffbefrachtung von 1 bis 5 g Wirkstoff pro Liter Spritzbrühe³⁸ bedeutet das, dass im Untersuchungszeitraum im Schnitt zwischen 5 und 25 l Spritzbrühe pro Applikationsgerät in Form von Punkteinträgen über den Eintragspfad Kläranlage in Oberflächengewässer gelangt sind. Diese Menge entspricht etwa

³⁸ bei mittleren Aufwandmengen (BVL, 2007a) und 200 l Wasser pro ha.

dem Volumen, das beim einmaligen Ablassen der gerätimmanenten technischen Restmenge auf der befestigten Hoffläche in die Kanalisation gelangen kann (BVL, 2007). Dieselbe Wirkstoffmenge kann durch zweimalige Tankinnenreinigung und Ablassen des Waschwassers in die Kanalisation (Balsari et al., 2002 a), mehrmalige Außenreinigung von Applikationsgeräten auf der Hoffläche (Ramwell und Johnson, 2002) oder mehrere kleinere Unfälle beim Befüllen (abhängig von Wirkstoffkonzentrat und verschütteter Menge) über den Eintragspfad Kläranlage in Oberflächengewässer gelangen (siehe Kapitel 2.1 zum PSM-Freisetzungspotenzial im Hofbereich).

In Tab. 40 werden berechnete Einzelwirkstoff-Frachten pro Feldspritze und mittlere Aufwandmengen der Wirkstoffe im Pflanzenschutz dargestellt. Es wird deutlich, dass bereits relativ geringe Mengen Spritzbrühe (pro Gerät und Wirtschaftsjahr) die gemessenen Frachten verursachen können.

Tab. 40. Einzelwirkstoff-Frachten [g/Feldspritze/Betrachtungszeitraum] als Mittelwert über alle KA (Betrachtungszeitraum Wirtschaftsjahr 2006/2007)

Wirkstoff	Gesamte Wirkstofffracht pro Feldspritze und Wirtschaftsjahr 2006/2007	Mittlerer Aufwand pro ha	Wirkstoffgehalt von 1 Liter Spritzbrühe ³⁹	Volumen Spritzbrühe pro Gerät, die die gemessenen Wirkstofffracht verursacht
2,4 DP	3,19	1,5 kg	7,5 g	0,4 l
Bentazon	0,77	2,4 kg	12 g	0,06 l
Ethofumesat	2,47	1 kg	5 g	0,5 l
Epoxiconazol	1,02	0,1 kg	0,5 g	2 l
Isoproturon	6,32	1,5 kg	7,5 g	0,8 l
MCPA	3,69	0,8 kg	4 g	0,9 l
MCPP	1,69	1,2 kg	6 g	0,3 l
Metamitron und Desamino-Metamitron	9,87	1,4 kg	7 g	1,4 l
Metazachlor	1,08	0,8 kg	4 g	0,3 l
S-Metolachlor	0,06	1,2 kg	6 g	0,01 l
Tebuconazol	1,75	0,4 kg	2 g	0,9 l
Terbuthylazin	0,36	0,8 kg	4 g	0,09 l

Für beide Betrachtungszeiträume gilt, dass durchgängig rund 80% der detektierten PSM-Fracht im Ablauf aller Kläranlagen von folgenden Wirkstoffen verursacht wurde (mit unterschiedlichen saisonbedingten Anteilen): 2,4 DP, Bentazon, Ethofumesat, Isoproturon, MCPA, MCPP, Metamitron (und Desamino-Metamitron), S-Metolachlor, Tebuconazol sowie Terbuthylazin. Dies spiegelt relativ gut die Marktdurchdringung einzelner Wirkstoffe wider (IVA, 2005). Ebenso regelmäßig gefunden wurde der Wirkstoff Diuron, der in aller Regel im außerlandwirtschaftlichen Bereich zum Einsatz kommt. Im Ergebnis lässt sich festhalten, dass Isoproturon und Diuron in 86% aller Einzelproben nachgewiesen wurden. Weiterhin auffällig ist, dass auch rund 10 Jahre nach dem Anwendungsverbot noch beachtliche Mengen an Atrazin (maximale Konzentration in einer Einzelprobe immerhin 8,7 µg/l) in zumindest

³⁹ Annahme: 200 l Wasser pro ha.

zwei der beprobten Kläranlagen (KA_L und KA_Reis) gefunden wurde. Hier ist weitere Ursachenklärung nötig.

Ein statistisch gesicherter Zusammenhang zwischen der Niederschlagsituation im Einzugsgebiet der Kläranlagen und dem Auftreten von PSM-Wirstoffen im Kläranlagen-Ablauf konnte mit der vorliegenden Untersuchung nicht festgestellt werden. Trotzdem kann in Einzelfällen ein Zusammenhang nicht ausgeschlossen werden. Das vorliegende Beprobungsdesign ist zu grobmaschig (3- bzw. 4 Tagesmischproben), als dass die Niederschlags-Tagessituation im Einzugsgebiet lückenlos nachvollzogen werden könnte. Ebenso liegen der Auswertung lediglich Schätzungen über den zeitlichen Abstand zwischen einem Regenereignis im Einzugsgebiet und der Ankunft des Wassers am Kläranlagenablauf zugrunde.

Erstmals wurde bei Huber (1998) und Bach et al. (2000) eine Reihe möglicher Kriterien genannt, die mit der Höhe von Punkteinträgen in Verbindung stehen könnten und daher für die Varianz der ermittelten Werte in einzelnen Untersuchungen verantwortlich sein könnten. Auf solche Variablen wird im anschließenden Kapitel 6 näher eingegangen.

6. Maßgebliche Kriterien für das Auftreten von Punkteinträgen

Um die maßgeblichen Kriterien zu benennen, die mit der Höhe und dem Auftreten von PSM-Punkteinträgen in Verbindung stehen, ist zunächst zu klären, woher die PSM-Frachten stammen, die in der vorliegenden Arbeit im Ablauf von Kläranlagen detektiert wurden.

Da keinerlei Hinweise auf außerlandwirtschaftliche Eintragspfade bestehen, wird von landwirtschaftlichen Quellen (Unfälle beim Befüllen von Geräten, Reinigungsvorgänge auf befestigten Flächen o. ä.) ausgegangen; die Fundzeiträume der Wirkstoffe stimmen gut mit den Applikationszeiträumen von PSM in der landwirtschaftlichen Praxis überein. In besonderem Maße wird dies bei der Auswertung der Ergebnisse der Weinbau-Kläranlage deutlich. Hier konnten detaillierte (wöchentliche), regionale Anwendungsempfehlungen dem Auftreten bestimmter Substanzen (Botrytizide, Peronospora-Präparate) im Kläranlagenablauf zugeordnet werden (siehe exemplarisch Abb. 26).

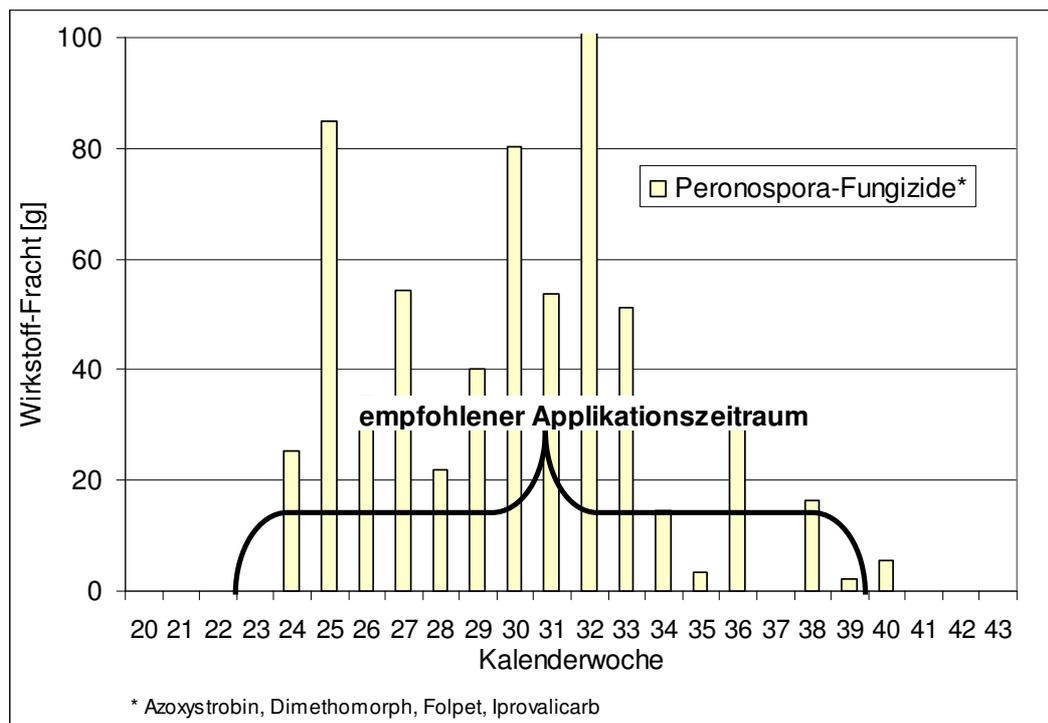


Abb. 26. Zeitlicher Zusammenhang von Anwendungsempfehlung bestimmter Präparate und Detektion der entsprechenden Wirkstoffe im Kläranlagenablauf der KA_N (Betrachtungszeitraum 20.-43. KW 2006)

PSM-Rückstände im Ablauf der Kläranlagen außerhalb der Applikationsperioden (vor allem im Ablauf der Weinbau-Kläranlage) können mit Hilfe des vorliegenden Datenmaterials nicht zweifelsfrei zugeordnet werden. Eine Vermutung ist, dass manche PSM-Wirkstoffe (Beispiel Tebuconazol) aufgrund ihrer physiko-chemischen Eigenschaften über einen langen Zeitraum stabil sind und der Eintrag aus – möglicherweise wenigen einzelnen – Wirkstoffdepots mehrere Wochen andauern kann.

Mit der Regressionsanalyse konnte, anders als erwartet, in den allermeisten Fällen kein statistisch gesicherter Zusammenhang zwischen der Niederschlagshöhe im Einzugsgebiet und der PSM-Fracht im Ablauf der Kläranlagen nachgewiesen werden. Ein solcher Zusammenhang ließe auf die Bedeutung von Abschwemmungsvorgängen von befestigten Flächen bzw. Wegen schließen. Vermutlich spielen solche Abschwemmungsvorgänge nur in Einzelfällen eine zentrale Rolle bei der Entstehung von Punkteinträgen.

In der Literatur (für die Situation in Deutschland vor allem bei Bach et al., 2000, und Huber, 1998) wird eine Reihe mutmaßlicher Schlüsselfaktoren genannt, die für das Ausmaß von Punkteinträgen verantwortlich gemacht werden. Es handelt sich dabei um die Anzahl der Feldspritzen in einem Untersuchungsgebiet, die Agrarstruktur (u. a. den Anteil der Ackerfläche, den Anteil bestimmter Kulturen, die mittlere Betriebsgröße und die damit in Verbindung stehende technische Ausstattung der Landwirtschaftsbetriebe) sowie den Einsatz chemisch relativ stabiler Wirkstoffe.

Huber (1998) geht davon aus, dass die Anzahl der Feldspritzen das entscheidende Kriterium dafür ist, in welcher Größenordnung mit Punkteinträgen zu rechnen ist, und zugleich der einzige Parameter, der es gestattet, Punkteinträge zu prognostizieren. Es wird argumentiert, dass eine höhere Anzahl an Geräten eine größere Anzahl von Befüll- und Reinigungsvorgängen impliziert – also Vorgänge mit einem hohen Potenzial der Freisetzung von PSM. Daher gehen Huber (1998) und auch Bach et al. (2000) davon aus, dass in den ostdeutschen Flächenbundesländern mit einer geschätzten „Spritzendichte“ von einem Gerät auf 1000 ha Ackerfläche deutlich geringere Punkteinträge zu erwarten sind als beispielsweise in Baden-Württemberg mit 41 Applikationsgeräten auf 1000 ha Ackerfläche (die Anzahl der Feldspritzen in den Bundesländern geht auf eine bundesweite Schätzung aus dem Jahr 1996 unter Federführung der BBA zurück). Die vergleichsweise hohen Frachten in Weinanbaugebieten

werden mit den höheren Feldspritzenzahlen im Sonderkulturanbau und der im Vergleich zum Ackerbau höheren Anwendungsfrequenz begründet.

Diese Theorie erscheint schlüssig, kann jedoch mit den Ergebnissen der vorliegenden Arbeit nicht ohne weiteres bestätigt werden. Zwei der beprobten Ackerbau-Kläranlagen liegen in ostdeutschen Flächenbundesländern: die KA_J in Mecklenburg-Vorpommern und die KA_B in Sachsen. Die mittlere Fracht pro Feldspritze bezogen auf das Wirtschaftsjahr 06/07 (Summe ohne Diuron Herbst 06 und Frühjahr 07) beträgt im Einzugsgebiet der KA_J 15,2 g (dritthöchster Wert nach KA_Reis und KA_Rh). Die gemessene PSM-Fracht pro Applikationsgerät im Einzugsgebiet der KA_B ist die höchste in der gesamten Untersuchung mit 122,5 g/Gerät (ohne Diuron, Summe aus Herbst 06 und Frühjahr 07). Im Einzugsgebiet der KA_J konnten neun, im Einzugsgebiet der KA_B fünf amtlich geprüfte Geräte ermittelt werden. Jedoch bleibt zu bedenken, dass bei einer geringen Zahl von Anwendern bereits das Fehlverhalten eines einzigen erhebliches Gewicht erlangen kann. Ein solches Fehlverhalten kann mit dem verwendeten Untersuchungsansatz (Beprobung des Ablaufes von Kläranlagen) nicht nachvollzogen werden. Um dieser Frage nachzugehen, müssten einzelne Hofabläufe beprobt werden. Die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung deuten darauf hin, dass die Höhe von Punkteinträgen nur unzureichend über die Anzahl der Feldspritzen in einem bestimmten Gebiet zu quantifizieren ist.

Fischer (1996) stellt die besondere Bedeutung der agrarstrukturellen Größen wie Betriebsdichte und Bildungsstand der Landwirte heraus, die im Gegensatz zu den flächenbezogenen Parametern wie Ackerfläche und Aufwandmenge größeren Einfluss auf die Höhe von Punkteinträgen hätten. Doch auch die Argumentationskette (Bach et al., 2000) - vergleichsweise große Betriebe, höhere Wirtschaftlichkeit, Einsatz neuerer, emissionsärmerer Technik, besserer Ausbildungsstand der Betriebsleiter und damit einhergehende geringere Gefahr von Punkteinträgen - kann mit der vorliegenden Arbeit nicht zweifelsfrei belegt werden. Die durchschnittliche Betriebsgröße im Einzugsgebiet der KA_J beträgt beispielsweise 1133 ha. Die Anzahl der amtlich geprüften Feldspritzen übersteigt sogar die Anzahl der Betriebe, die im Einzugsgebiet angesiedelt sind, was auf eine relativ gute technische Ausstattung der Betriebe hindeutet. Trotzdem werden hier vergleichsweise höhere Frachten pro Feldspritze errechnet als in der niederbayerischen KA_Reis in einer vergleichsweise kleinstrukturierten Agrarlandschaft. Die Werte differieren um den Faktor 7,5. Auch eine eingehende Recherche vor Ort liefert keine Hinweise darauf, dass die vergleichsweise geringen Gesamtfrachten an

der KA_Rh oder auch KA_Reis auf technische Probleme bei der Beprobung oder z. B. mangelnden Anschluss der landwirtschaftlichen Hofflächen an die Kläranlage zurückzuführen sind. Um den Einfluss von agrarstrukturellen Größen bei der Ursachenforschung von Punkteinträgen herauszufinden, wären weitere hochauflösende Studien nötig.

Zumindest ein Hinweis darauf, dass es möglicherweise besonders „verlustintensive“ Kulturen gibt, die im Zusammenhang mit Punkteinträgen eine Rolle spielen können, bieten die Ergebnisse insbesondere der KA_L und KA_O. In beiden Einzugsgebieten beträgt der Anteil des Zuckerrübenanbaus an der gesamten landwirtschaftlichen Nutzfläche > 20 %. Möglicherweise sind die relativ hohen Frachten im Ablauf dieser KA mit Reinigungsvorgängen aufgrund von Kulturwechseln zu erklären (Grundreinigung der Applikationsgeräte beim Wechsel von Halm- auf Blattfruchtherbizide). Zu dieser Argumentation könnte auch die geringe PSM-Fracht im Einzugsgebiet der KA_Rh passen; hier findet kein Zuckerrübenanbau statt. Im Umkehrschluss müsste das bedeuten, dass bei einem hohen Grünlandanteil und vergleichsweise hohen Maisanteil in der Fruchtfolge geringere PSM-Gesamtfrachten erwartet werden können. Wie aus Tab. 41 deutlich wird, können die durchgeführten Analysen auch hierauf lediglich Hinweise geben – die Varianz der einzelnen Werte ist zu groß und der Stichprobenumfang zu klein, um ein einheitliches Bild zu zeichnen. Auch hierzu wären weiterführende Detailstudien nötig.

Tab. 41. PSM-Frachten [mg/ha Anbaufläche] bezogen auf die Anbaufläche einzelner Kulturen in den untersuchten Gebieten

	KA_B	KA_F	KA_J	KA_L	KA_O	KA_Reis	KA_Rh
Fracht pro ha Getreide [mg/ha] ^a	165	101	2	623	200	13	9
Fracht pro ha Mais [mg/ha] ^b	79	97	--	219	52	5	3
Fracht pro ha Zuckerrüben [mg/ha] ^c	389	189	154	627	577	73	--
Fracht pro ha Raps [mg/ha] ^d	212	184	3	--	777	83	18

a) Fracht bezieht sich auf die Summe der Wirkstoffe 2,4 DP, Isoproturon, MCPA und MCPP im gesamten Betrachtungszeitraum

b) Fracht bezieht sich auf die Summe der Wirkstoffe Bentazon, S-Metolachlor und Terbutylazin im gesamten Betrachtungszeitraum

c) Fracht bezieht sich auf die Summe der Wirkstoffe Ethofumesat und Metamitron im gesamten Betrachtungszeitraum

d) Fracht bezieht sich auf die Summe der Wirkstoffe Metazachlor und Tebuconazol im gesamten Betrachtungszeitraum

Inwieweit der Einsatz bestimmter Wirkstoffe im Ackerbau eine Rolle beim Auftreten von Punkteinträgen spielt, konnte nicht abschließend geklärt werden. Leider existieren auch keine belastbaren, das heißt entsprechend umfangreiche Studien zum Thema Elimination von PSM-Wirkstoffen in Kläranlagen. Die in der vorliegenden Arbeit beprobten Kläranlagen weichen insbesondere bei der jeweiligen Ausbaugröße, als auch bei der technischen Ausstattung voneinander ab. Allerdings wurde bewusst darauf verzichtet, sehr kleine Anlagen (< 5.000 EWG) sowie Teichkläranlagen zu beproben. Im Ergebnis wurde deutlich, dass es rund zehn Wirkstoffe gibt, die in allen Kläranlagenabläufen und in beiden Betrachtungszeiträumen frachtdominierend waren. Aufgrund der hohen Varianz der Werte wurde allerdings auf eine detaillierte Betrachtung verzichtet. Auch Müller (2000) geht davon aus, dass kein Zusammenhang zwischen den physiko-chemischen Eigenschaften eines Wirkstoffes und seinem punktuellen Anteil an der PSM-Gesamtfracht besteht. Begründet wird dies damit, dass ein Hauptgrund für Punkteinträge im Fehlverhalten von Landwirten zu suchen und dieses Fehlverhalten nicht an bestimmte Wirkstoffgruppen gekoppelt ist.

Seel und Gabriel (2001) heben ebenfalls die besondere Bedeutung menschlichen Fehlverhaltens für das Entstehen von Punkteinträgen hervor. Laut Bach et al. (2000) ist das Verhalten

der Landwirte bzw. der Anwender von PSM der zentrale Parameter, um Punkteinträge abschätzen zu können. Dieses Kriterium ist allerdings nur sehr schwer messbar und es ist nahezu unmöglich, Vorhersagen darüber zu treffen.

Alles deutet darauf hin, dass eine derartige Varianz der gemessenen PSM-Frachten im Rahmen der vorliegenden Arbeit bis zu einem gewissen Grad auf „unvermeidliche Verluste“ beim Umgang mit PSM zurückzuführen ist (Außenreinigung von Traktoren, unvermeidbare Unfälle trotz der nötigen Sorgfalt). Die dadurch verursachte Grundbefrachtung bewegt sich im Rahmen von 1 bis 2 g PSM pro Feldspritze und Wirtschaftsjahr. Darüber hinausgehende Frachten sind hauptsächlich mit individuellem Fehlverhalten einzelner Landwirte zu begründen (Spanne zwischen 10 g und 120 g pro Wirtschaftsjahr in Ackerbauregionen). Agrarstrukturelle Unterschiede und andere genannte mögliche Kriterien können in Einzelfällen ebenfalls bedeutsam sein.

Es wird festgehalten, dass es vor allem zwei Faktoren sind, die das Auftreten und die Höhe punktueller PSM-Einträge in Oberflächengewässer maßgeblich steuern:

1. Sorgfalt beim Ansetzen der Spritzbrühe, bei der Restentsorgung und bei der Reinigung von Applikationsgeräten
2. Versiegelungsgrad des Waschplatzes

Zu einem vergleichsweise geringen Teil spielen der Anteil „verlustintensiver“ Kulturen in der Fruchtfolge (Zuckerrüben) und andere mögliche Einflussfaktoren eine Rolle.

7. Zusammenfassung

Mit der vorliegenden Arbeit sollte erstmals versucht werden, das Thema Punkteinträge von Pflanzenschutzmitteln in Oberflächengewässer auf Bundesebene zu beleuchten. Im Vordergrund stand die Frage, in welcher Größenordnung solche Einträge zu erwarten sind und welche Faktoren auf die tatsächliche Höhe von Punkteinträgen maßgeblichen Einfluss haben.

Eine gängige Methode, die in den vergangenen Jahren in rund einem Dutzend Studien zum Einsatz kam, um PSM-Einträge aus Hofabläufen abzuschätzen, ist die Beprobung von Kläranlagen in Gebieten, in denen die Hofentwässerung an diese Kläranlagen angeschlossen ist (siehe Kapitel 2.4). Die bisher durchgeführten Untersuchungen zeigten, dass Punkteinträge regional unterschiedlich einen relativ hohen Anteil an der Gesamtbelastung von Oberflächengewässern mit PSM-Rückständen haben können. Diese Untersuchungen wurden jedoch alle nicht in einem räumlich, zeitlich und methodisch abgestimmten Gesamtkonzept durchgeführt. Es sind vielmehr bei den bisherigen Untersuchungen deutliche Unterschiede in Beprobungsablauf, -dauer und -frequenz, Stichprobenumfang, Wirkstoffspektrum und Gesamtzielsetzung zu erkennen. Bislang fehlte ein einheitlicher, überregionaler Untersuchungsansatz. Deshalb wurden in den Jahren 2006 und 2007 erstmals acht Kläranlagen in sieben landwirtschaftlich genutzten Einzugsgebieten und einem weinbaulich genutzten Einzugsgebiet mit Hilfe eines einheitlichen Ansatzes beprobt. Die Ergebnisse der Untersuchungen wurden nach vergleichbaren Kriterien ausgewertet. Im Einzelnen wurden die folgenden Ergebnisse gewonnen:

1. Mit der vorliegenden Arbeit wird die These bestätigt, dass Punkteinträge bundesweit eine wichtige – wenn auch regional vermutlich unterschiedlich große – Rolle bei der Gesamtbelastung der Oberflächengewässer mit PSM spielen. Die zu erwartenden Einträge bewegen sich in einem „normalen“ Jahr bei rund 20 g pro Feldspritze und Betrieb. Der berechnete PSM-Austrag, bezogen auf die behandelte Fläche, beträgt zwischen 0,02 g und 1,57 g je Hektar behandelter Ackerfläche. Für die Weinbau-Kläranlage wurde eine mittlere PSM-Fracht von 2,52 g je Hektar behandelter Rebfläche und Jahr ermittelt. Die hohe Varianz der PSM-Frachten in den einzelnen Jahren ist offensichtlich auf den spezifischen Infektionsdruck in den jeweiligen Jahren und den damit verbundenen unterschiedlichen Anwendungshäufigkeiten verbunden.

2. Die Ergebnisse der Untersuchung stützen die These, dass die PSM-Befrachtung von Oberflächengewässern in erster Linie durch die handelnden Personen und ihre Fahrlässigkeit bzw. ihr Fehlverhalten bei der Vorbereitung und Durchführung von PSM-Maßnahmen bestimmt wird und nur zu einem geringen Teil durch physische, naturwissenschaftlich erfassbare Prozessdeterminanten.
3. Die bisherigen Bemühungen der landwirtschaftlichen Beratungsdienste sind noch nicht ausreichend geeignet, die PSM-Punkteinträge in die Gewässer zu reduzieren. Daneben zeigen die großen Unterschiede zwischen den verschiedenen Einzugsgebieten, dass offensichtlich nicht alle Potenziale zur Reduktion der Einträge ausgeschöpft sind.
4. Gezielte Strategien und Vorschläge für Maßnahmen zur Verminderung bzw. Vermeidung von PSM-Punkteinträgen sollten speziell auf die Situation in den Problemgebieten ausgerichtet sein. Die vorliegende Arbeit macht deutlich, dass eine pauschale Charakterisierung von Problemgebieten relativ schwierig ist. Weder gibt das vorliegende Datenmaterial belastbare Hinweise darauf, dass die Höhe von Punkteinträgen maßgeblich von der Anzahl der Applikationsgeräte im Einzugsgebiet beeinflusst wird, noch scheinen agrarstrukturelle Unterschiede in den Einzugsgebieten der Beprobungsstandorte die Varianz der Ergebnisse hinreichend zu erklären, was nicht im Umkehrschluss bedeutet, dass diese Faktoren im Einzelfall nicht doch eine maßgebliche Rolle spielen können.
5. Eindeutig kann festgehalten werden, dass effiziente Minderungsmaßnahmen bei der Handhabung von Feldspritzen und PSM-Präparaten im Hofbereich ansetzen müssen.
6. Es gibt Hinweise darauf, dass der erforderliche Sachkundenachweis bei vielen Landwirten veraltet ist und die Gefahr besteht, dass entsprechende Inhalte in Vergessenheit geraten bzw. nicht mehr zeitgemäß sind. Dieser Sachkundenachweis ist auf Bundesebene sicherzustellen, um auf diesem Wege die Sensibilität für die Gefahr von PSM-Einträgen von der Hoffläche zu erhöhen.

8. Literaturverzeichnis

- Alder**, L., Luderitz, S., Lindtner, K., Stan, H-J., 2004: The ECHO technique- the more effective way of data evaluation in liquid chromatography-tandem mass spectrometry analysis. In: *Journal of Chromatography A*. 1058, 67-79.
- Altmayer**, B, Twertek, M., Paetzold, M., Laronche, J.S., 2003: Pesticide loss to surface waters – situation in the vine growing regions and measures to avoid pesticide input. *Gesunde Pflanzen* 55, 6, 161-168.
- Altmayer**, B., Twertek, M., 2001: Bericht zur Forschungsarbeit „Einträge von Pflanzenschutzmitteln in Kläranlagen und Fließgewässer aus Weinbaubetrieben“ Ergebnisse 1997-2000. Staatliche Lehr- und Forschungsanstalt für Landwirtschaft, Weinbau und Gartenbau, Neustadt/Weinstraße (Hrsg.).
- Altmayer**, B., 2002: Einträge von Pflanzenschutzmitteln in Gewässer durch Weinbau wirksam reduzieren. In: *das deutsche weinmagazin*, 7/6. April 2002, 23-27.
- Artan**, N., Wilderer, P., Orhon D., Morgenroth, E., Özgür, N., 2001: The mechanism and design of sequencing batch reactor systems for nutrient removal - the state of the art. In: *Water Science Technology* 43, 53-60.
- Bach**, M., Huber, A., Frede, H. G., Mohaupt, V., Zullei-Seibert, N., 2000: Schätzung der Einträge von Pflanzenschutzmitteln aus der Landwirtschaft in die Oberflächengewässer Deutschlands. Umweltbundesamt (Hrsg.), UBA-Berichte 3/00, E. Schmidt Verlag, Berlin.
- Balsari**, P., Marucco, P., Tamagnone, M., 2002 a: Inside cleaning of sprayers: new European standard proposal and first test results. In: *Aspects of Applied Biology* 66, 33-38.
- Balsari**, P., Marucco, P., Tamagnone, M., Ganzelmeier, H., Wehmann, H., 2002 b: Cleaning of sprayers: new European standard proposal and first test results. In: *Aspects of Applied Biology* 66, 9-16.
- Balsari**, P., Airoidi, G., 1998: A survey to determine the amount of unused product and disposal methods used in pesticide application. In: *BCPC Monograph* 70, 195-202.
- Bayerisches** Landsamt für Statistik und Datenverarbeitung (Hrsg.), 2002: Betriebsgrößenstruktur, Bodennutzung und Viehhaltung in der Landwirtschaft Bayerns, Ergebnisse der Landwirtschaftszählung/Agrarstrukturerhebung 1999, München.
- Bayerisches** Landesamt für Statistik und Datenverarbeitung (Hrsg.), 2006 a: Flächenerhebung in Bayern 2005 nach Art der tatsächlichen Nutzung zum Stichtag 31.12.2004, München.
- Bayerisches** Landesamt für Statistik und Datenverarbeitung (Hrsg.), 2006 b: Größenstruktur der landwirtschaftlichen Betriebe in Bayern 2005, München.

- BBA** Biologische Bundesanstalt für Land und Forstwirtschaft (Hrsg.) 2003: Neptun 2003, Erhebung der tatsächlichen Pflanzenschutzmittelanwendungen im Weinbau. Berichte aus der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft, Heft 124.
- BBA** Biologische Bundesanstalt für Land und Forstwirtschaft (Hrsg.), 2002: Neptun 2000, Erhebung von Daten zum tatsächlichen Einsatz chemischer Pflanzenschutzmittel im Ackerbau Deutschlands. Berichte aus der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft, Heft 98.
- BBA** Biologische Bundesanstalt für Land und Forstwirtschaft (2000): Möglichkeiten der lokal differenzierten Bewertung der Umwelt-Exposition von Stoffen durch den Einsatz geografischer Informationssysteme. In: Ergebnisschrift des Fachgespräches vom 7./8. 06.2000 in Kleinmachnow.
- Beltmann, W., Wenneker, M., Leistra, M., 2007:** Transport water from fruit sorting as point source of pesticides in surface waters. XIII Symposium of Pesticide Chemistry, Piacenza 4-7 September 2007 (in press).
- Bernecker, A., 1999:** Untersuchungen zum Verhalten von insektizidhaltigen Wässern bei Prozessen der chemischen Nassoxydation. Universität Bremen. Diss..
- Bockholt, K., Feuerborn, B., 2007:** Abfüllplätze clever gebaut. In: Die landwirtschaftliche Zeitschrift 7, 62-63.
- Braekman, P., Langenakens, J., Van Canneyt, T., Pieters, M., 2002:** Organisation and results of the mandatory inspection of crop sprayers in the Flanders, Belgium. In: Aspects of Applied Biology 66, 23-32.
- Bucheli, T., Müller, S., Voegelin, A., Schwarzenbach, R., 1998 a:** Bituminous roof sealing membranes as major sources of herbicide (R, S)-Mecorpop in roof runoff waters: Potential contamination of groundwater and surface waters. In: Environmental Science and Technology 32, 3465-3471.
- Bucheli, T., Müller, S., Heberle, S., Schwarzenbach, R., 1998 b:** Occurrence and behaviour of pesticides in rainwater, roof runoff and artificial stormwater infiltration. In: Environmental Science and Technology 32, 3457-3464.
- Butler-Ellis, M., Bradley, A., 2002:** The influence of formulation on spray drift. In: Aspects of Applied Biology 66, 251-258.
- BVL, Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit, 2007 a:** Verzeichnis der zugelassenen Pflanzenschutzmittel. Online-Datenbank: <http://psm.zadi.de/psm/jsp/> (Stand: 01.11.2007).
- BVL, Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit, 2007 b:** BVL setzt die Anwendung tolyfluandhaltiger Pflanzenschutzmittel im Freiland aus. Pressemitteilung vom 21.02.2007, online verfügbar unter: www.bvl.bund.de (Stand: 24.11.07).

- BVL**, Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit, 2005: Absatz an Pflanzenschutzmitteln in der Bundesrepublik Deutschland, Ergebnisse der Meldungen gemäß § 19 Pflanzenschutzgesetz für das Jahr 2004, Braunschweig.
- Carter**, A., 2000: How pesticides get into water- and proposed reduction measures. In: Pesticide Outlook, Aug 2000, 149-156.
- Chevre**, N., 2003: Risikobeurteilung von Pestiziden in Schweizer Oberflächengewässern. In: GWA 12, S. 906-917.
- Codis**, S., Demars, J., Rochard, J., 2005: Rinsing the sprayer in the field of use: first results from an experimental approach based on ISO 22368-1. In: Annual Review of Agricultural Engineering 4 (1)/2005, S. 41-50.
- Cooper**, J., 1998: The regulatory regime for managing pesticide and packaging waste. In: BCPC Monograph 70, 33-40.
- Cooper**, S., Taylor, W., 1998: A survey of spray operators agrochemical container rinsing skills conducted in Juni 1997. In: BCPC Monograph 70, 145-148.
- Cooper**, S., Taylor, W., 1998: Some factors that may influence rate of accumulation and final quantity of pesticide deposits on external surfaces of arable crop sprayers. In: BCPC Monograph 70, 145-148.
- Dechet**, F., 2003: Hofabläufe – Punktquellen für den Eintrag von Pflanzenschutzmitteln in Gewässer. IVA (Hrsg.) homepage IVA „Presse und news“ (Stand: 20.01.2008).
- De Wilde**, T., Spanoghe, P., Debaer, C., Ryckeboer, J., Springael, D., Jaeken, P., 2007: Review – Overview of on-farm bioremediation systems to reduce the occurrence of point-source contamination. In: Pest Management Science 63, 111-128.
- Dirkmeyer**, W., Forstner, B., Margarian, A., Zimmer, Y., 2006: Aktualisierung der Zwischenbewertung des Agrarinvestitionsförderprogramms (AFP) in Deutschland für den Förderzeitraum 2000-2004 – länderübergreifender Bericht. FAL, Institut für Betriebswirtschaft (Hrsg.), Braunschweig, 107 S..
- DLR** Rheinpfalz, Dienstleistungszentrum Ländlicher Raum Rheinpfalz, 2007: Rebschutz- und Weinbauinformationsdienst Pfalz, Mitteilungen Nr. 2 bis 23. [schriftl. Mittlg.].
- DLR** Rheinpfalz, Dienstleistungszentrum Ländlicher Raum Rheinpfalz, 2006: Rebschutz- und Weinbauinformationsdienst Pfalz, Mitteilungen Nr. 6 bis 20. [schriftl. Mittlg.].
- Eichhorn**, H., 1999: Landtechnik – Landwirtschaftliches Lehrbuch. 7. Auflage, Ulmer, Stuttgart.
- Fait**, G., Nicelli, M., Fragoulis, G., Trevisan, m., Capri, E., 2007 : Reduction of point contamination sources of pesticide from a vineyard farm. In: Environmental Science and Technology 41, 3302-3308.

- Feather, P., Amacher, G., 1994:** Role of information in the adoption of pest management practices for water quality improvement. In: *Agricultural Economics* 11, 159-170.
- Feldmann, F., 2007:** The concept of Best Agricultural Practice – proposal of a basis for discussion. Published on occasion of the international symposium “Best Practice in Disease, Pest and Weed Management” 10-12 May 2007, Berlin, Selbstverlag.
- Felgentreu, D., Fleßner, B., 2004:** Modelluntersuchungen zur Inaktivierung von Pflanzenschutzmittel-Abwässern und Restbrühen durch den Einsatz von „Biobeds“. In: 54. Deutsche Pflanzenschutztagung in Hamburg, 22.-24.09.2004, *Mitteilungen Biolog. Bundesanst. Land – und Forstwirtschaft, Parey, Berlin*, 396 S., 616-617.
- Felgentreu, D., Bischoff, G., 2006:** Studies on inactivation of waste water and residual liquids containing plant protection products by biobeds. In: *Pesticide behaviour in soils, water, and air. Abstracts of the SCI Meeting Warwick, UK, 2006*, no. A10.
- Fischer, P., 1996:** Quantifizierung der Eintragspfade für Pflanzenschutzmittel in Fließgewässern, Justus-Liebig-Universität Gießen. Diss.
- Fischer, P., Bach, M., Burhenne, J., Spittler M., Frede H.-G., 1996:** Pflanzenschutzmittel in Fließgewässern Teil 3: Anteil diffuser und punktueller Einträge in einem kleinen Vorfluter. In: *Deutsche Gewässerkundliche Mitteilungen* 40: 168-173.
- Fischer, P., Burhenne, J., Bach, M., Spittler, M., Frede, H.-G., 1996:** Landwirtschaftliche Beratung als Instrument zur Reduzierung von punktuellen Einträgen in Fließgewässer. In: *Nachrichtenblatt Deutscher Pflanzenschutzdienst* 48, 261-264.
- Fischer, P., Hartmann, H., Bach, M., Burhenne, J., Frede, H.-G., Spittler, M., 1998:** Reduktion des Gewässereintrags von Pflanzenschutzmitteln aus Punktquellen durch Beratung. In: *Gesunde Pflanzen* 50, 148-152.
- Fogg, P., Boxall A., 2004 a:** Leaching of pesticides from biobeds: effect of biobed depth and water loading. In: *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 52, 6217-6227.
- Fogg, P., Boxall, A., Walker, A., Jukes, A., 2004 b:** Degradation and leaching potential of pesticides in biobed systems. In *Pest Management Science* 60, 645-654.
- Fogg, P., Boxall, A., Walker, A., Jukes, A., 2003:** Pesticide degradation in a “biobed” composting substrate. In: *Pest Management Science* 59, 527-537.
- Fogg, P., Boxall, A., Walker, A., 2001 a:** Biobeds Phase 3: the development and evaluation of a biological system for the disposal of pesticide waste and washings. Final report MAFF Projekt: PLO543, Soil Survey and Research Centre, Dhardlow, UK.
- Fogg, P., Boxall, A., Walker, A., 2001 b:** Biobeds Phase 2: the development and evaluation of a biological system for the disposal of pesticide waste and washings. Final report DEFRA Projekt: PLO544, Soil Survey and Research Centre, Dhardlow, UK.

- Fogg, P., Boxall, A., Walker, A., 2000:** Biobeds Phase 1: the development and evaluation of a biological system for the disposal of pesticide waste and washings. Final report MAFF Projekt: PLO527, Soil Survey and Research Centre, Dhardlow, UK.
- Fogg, P., Carter, A., 1998:** Biobeds: the development and evaluation of a biological system for pesticide waste and washings. In: BCPC Monograph 70, 49-58.
- Foppe, J., Kunisch, S., 1994:** Ordnungsrechtliche Maßnahmen der Kreisverwaltung gegen punktuelle Einträge in Gewässer sowie Sanierungsvorschläge. In: Landwirtschaftskammer Westfalen-Lippe Kreisstelle Coesfeld (Hrsg.), Kooperation Landwirtschaft und Wasserwirtschaft im Einzugsgebiet der Stevertalsperre, Bericht über die Ergebnisse der Beratung in 1994, S. 25-26.
- Gabriel, S., Seel, P., 2005:** Messungen von Pflanzenschutzmitteln (PSM) in durch Weinbau in Regenrückhaltebecken von Weinbergen. Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie, Wiesbaden. [schriftl. Mittlg.].
- Gabriel, S., Seel, P., 2005:** Messungen von Pflanzenschutzmitteln (PSM) in durch Weinbau beeinflussten Kläranlagen im Jahre 2004. HLUG (Hrsg.), Wiesbaden.
- Gabriel, S., Seel, P., 2004:** Messungen von Pflanzenschutzmitteln (PSM) in durch Weinbau beeinflussten Kläranlagen im Jahre 2003. HLUG (Hrsg.), Wiesbaden.
- Gabriel, S., Seel, P., 2002:** Weinbau-Pflanzenschutzmittel in Kläranlagen und in Regenrückhaltebecken von Weinbergen. HLUG (Hrsg.), Wiesbaden.
- Ganzelmeier, H., 2005:** Regelungen für Pflanzenschutzgeräte vor dem Hintergrund europäischer und internationaler Entwicklungen. BBA (Hrsg.), S. 25-51, online verfügbar unter:
http://www.bba.bund.de/cln_044/nn_925832/DE/Home/pflanzenschutzgeraete/ausgew_veroeff/ausgew_veroeff_node.html_nnn=true (Stand: 16.10.07).
- Ganzelmeier, H., 1998:** Proper cleaning of sprayers. In: BCPC Monograph 70, 91-98.
- Garratt, J., Kennedy, A., 2006:** Use of models to assess the reduction in contamination of water bodies by agricultural pesticides through the implementation of policy instruments: a case study of the Voluntary Initiative in the UK. In: Pest Management Science 62, 1138-1149.
- Gerecke, A., Schärer, M., Singer H., Müller, S., Schwarzenbach, R., Sägesser, M., Ochsenbein, U., Popow, G., 2002:** Sources of pesticides in surface waters in Switzerland: pesticide load through waste water treatment plants – current situation and reduction potential. In: Chemosphere 48, 307-315.
- Gerecke, A., Müller, S., Singer, H., Schärer, M., Schwarzenbach, R., Sägesser, M., Ochsenbein, U., Popow, G., 2001:** Pestizide in Oberflächengewässern – Einträge via ARA: Bestandsaufnahme und Reduktionsmöglichkeiten. In: Gewässerschutz Wasser Abwasser 03/2001, 173-181.

- Gerecke, A.**, 2001: Phenylurea herbicides in the aquatic environment- sources and elimination process. Swiss Federal Institute of Technology Zürich. Diss.
- Giry, G., Ayele, J., Gauthier, C.**, 2001: Elimination du carbendazime contenu dans des eaux de conditionnement de fruits par adsorption sur différents matériaux. In: Environm. Technol. 22, 803-811.
- Gladtko, D., Heyer, P., Werner P.**, 1997: Pflanzenbehandlungsmittel in der Niers- Vorkommen und Herkunft. In: Korrespondenz Abwasser 44, 687-694.
- Glass, C., Boatman, N., Brown, C., Garthwaite, D., Thomas, M.**, 2006: Evaluation of the performance of the Voluntary Initiative for Pesticides in the United Kingdom. Report Number P3OG1001.
- Glass, C., Gilbert, A., Mathers, J., Lewis, R., Harrington, P., Perez Duran, S.**, 2002: Potential for operator and environmental contamination during concentrate handling in UK agriculture. In: Aspects of Applied Biology 66, 379-386.
- Gussin, E.**, 1998: Developing the Ecomatic system. In: BCPC Monograph 70, 141.
- Helweg, A., Bay, H., Hansen, H., Rabolle, M., Sonnenborg, A., Stenvang, L.**, 2002: Pollution at and blow sites used for mixing and loading of pesticides. In: International Journal of Environmental Analytical Chemistry 82, 583-590.
- Henser, U.**, 2002: Formulierung und Mischbarkeit von Pflanzenschutzmitteln – was ist zu beachten? In: Syngenta Agro GmbH und DEULA Schleswig-Holstein GmbH (Hrsg.), Applikationstechnik von Profis für Profis, Schriftenreihe Ausgabe III, 38-41.
- Henriksen, V., Helweg, A., Spiid, N., Felding, G., Stenvang, L.**, 2003: Capacity of model biobeds to retain and degrade mecoprop and isoproturon. In: Pest Management Science 59, 1076-1082.
- Hessisches Statistisches Landesamt**, 2005: Agrarstrukturerhebung 2003. Gemeindeergebnisse. Heft C IV 9. Wiesbaden.
- Higginbotham, S.**, 2001: Protecting water. In: Pesticide Outlook 12, 132-133.
- Hill, N., McIntyre, A., Perry, R., Lester, J.**, 1986: Behaviour of chlorophenoxy herbicides during the activated sludge treatment of municipal waste water. In: Water Research 20, 45-52.
- HLUG Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie (Hrsg.)** 2000: Presseinformation zur Untersuchung von PSM-Einträgen aus 106 hessischen kommunalen Kläranlagen April/Mai 1999.
- Hoof, U.**, 1995: Vermeidung der PSM-Austräge von befestigten Hofflächen. Zwischenbericht. Staatliches Umweltamt Münster (Hrsg.).

- Hollies, J., Ramwell, C., Holman, I., 2004:** Hardspec - a first-tier model for estimating surface- and ground-water exposure resulting from herbicides applied to hard surfaces. NSRI research report No. SR3766E for DEFRA PL0531.
- Holst, C., Nielsen, C., Andersen, P., 2002:** Developments with the internal and external cleaning of sprayers in the field of use. In: *Aspects of Applied Biology* 66, 395-400.
- Honnen, W., Rath, K., Schlegel, T., Schwinger, A., Frahne, D., 2001:** Chemical analyses of water, sediment and biota in two small streams in southwest Germany. In: *Journal of Aquatic Ecosystem Stress and Recovery* 8, 195-213.
- Honnen, W., Frahne, D., Schlegel, T., Rath, K., Hartmann, M., Schwinger, A., Blum, T., 1997:** Teilprojekt 2: Chemische Analytik von Pestiziden, PAH, PCB, Schwermetallen und MBAS in Bachwasser, Kläranlagenausläufen, Sediment, Staub-, Tier- und Futterproben aus: Zweiter Zwischenbericht zum BMBF-Verbundprojekt „Validierung und Einsatz biologischer, chemischer und mathematischer Tests und Biomarkerstudien zur Bewertung der Belastung kleiner Fließgewässer mit Umweltchemikalien“.
- Horn, W., Roßkamp, E., Ullrich, D., 2002:** Biozidemissionen aus Dispersionsfarben. Umweltbundesamt (Hrsg.), WaBoLu-Heft 2/02.
- Humphrey, N., Breach, B., Goldsworthy, P., Hamilton, C., Hillier, S., Keyse, P., Knapp, M., Littlejohn, J., Mooney, M., Welland, G., 2007:** The Voluntary Initiative Pilot Catchment Project. UKWIR Report Ref No: 07/WR/26/2, UK Water Industry Research (Hrsg.), London.
- Iske, U., 1996:** Untersuchungen zum Eintrag von PBSM in Oberflächengewässer am Modellbeispiel der Stadt Hattingen. In: *Einträge und Eintragspfade von Pflanzenschutzmitteln in Oberflächengewässer. Schwerter Fachgespräch zur Wasserforschung. Institut für Wasserforschung* (Hrsg.), Schwerte, 3-52.
- Ittel, I., Sälzer, J., 2006:** Pflanzenwirkstoffe (PSM) in 6 rheinland-pfälzischen Kläranlagenabläufen 2003. Landesamt für Umwelt, Wasserwirtschaft und Gewerbeaufsicht Rheinland-Pfalz (Hrsg.), Oppenheim.
- Ittel, I., Sälzer, J., 2004:** Pflanzenschutzwirkstoffe in der Selz. Landesamt für Wasserwirtschaft Rheinland-Pfalz (Hrsg.), Oppenheim.
- IVA Industrieverband Agrar e.V. (Hrsg.), 2007:** Jahresbericht 2006/2007, Frankfurt am Main.
- IVA Industrieverband Agrar e.V. (Hrsg.), 2005:** Mengenmäßig bedeutende Pflanzenschutzwirkstoffe – Wirkstoffmeldungen von IVA-Mitgliedsfirmen für 2000. [schriftl. Mittlg.].
- Jaacken, P., Debaer, C., 2005:** Risk of water contamination by plant protection products (PPP) during pre- and post treatment operations. In: *Annual Review of Agricultural Engineering* 4, 93-112.
- John, R. Allan B., 1998:** Pesticide waste – practical prevention, minimisation and handling on the farm. In: *BCPC Monograph* 70, 59-64.

- Kaule, G., Schulzke, D., 1998:** Regionale Richtlinien zur Unterstützung einer nachhaltigen Landnutzung durch Agrarumweltprogramme der EU. EU-Projekt AIR CT 94-1296, Teilprojekt Brandenburg: Agrarökologische Gebietsgliederung- Forschungsbericht.
- Kempenaar, C., Lotz, L., van der Horst, C., Beltman, W., Leemans, K., Bannink, A., 2007:** Trade off between costs and environmental effects of weed control on pavements. In: *Crop Protection* 26, 430-435.
- Kempenaar, C., Spijker, J., 2004:** Weed control on hard surfaces in the Netherlands. In: *Pest Management Science* 60, 595-599.
- Kleffmann, 2002:** IVA Befragung zu Einträgen von Pflanzenschutzmitteln durch Kleffmann Marketing Services. [schriftl. Mitteilung].
- Klein, 1998:** Einsatz von Simulationsmodellen zur nationalen Bilanzierung der ungewollten Einträge von Pflanzenschutzmitteln in Gewässer. Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben 10240306 „Gewässerbelastung mit Pflanzenschutzmitteln in Deutschland“ des Umweltbundesamtes, Schmallenberg.
- Kline, A., Landers, A., Hedge, A., Lemley, A., Obendorf, S., Dokuchayeva, T., 2003:** Pesticide exposure levels on surfaces within sprayer cabs. In: *Applied Engineering in Agriculture*, 19/4, 397-403.
- Kommission der Europäischen Gemeinschaft, 2006:** Vorschlag für eine Richtlinie des Europäischen Parlaments und des Rates über Umweltqualitätsnormen im Bereich der Wasserpolitik und zur Änderung der Richtlinie 2000/60/EG. Von der Kommission vorgelegt am 17.07.2006, KOM (2006) 397 endgültig, 2006/0129 (COD).
- Köhler, W., Schachtel, G., Voleske, P., 2001:** Biostatistik – Eine Einführung für Biologen und Agrarwissenschaftler. 3., aktualisierte und erweiterte Auflage, Springer, Berlin, Heidelberg.
- Kreuger, J., Kylin, H., 2006:** Atmospheric transport and deposition of pesticides in Sweden. In: *Pesticide behaviour in soils, water and air, platform presentations of the SCI Meeting*, Warwick, UK, 2006, online verfügbar unter: <http://www.york.ac.uk/depts/eeem/people/brown/sci/index.htm> (Stand: 08.11.2007).
- Kreuger, J., Nilsson, E., 2001:** Catchment scale risk-mitigation experiences – key issues for reducing pesticide transport to surface waters. 2001 BCPC Symposium Proceedings No. 78: *Pesticide Behaviour in Soil and Water*, 319-324.
- Kreuger, J., 1998:** Pesticides in stream water within an agricultural catchment in southern Sweden, 1990-1996. In: *Science of the Total Environment* 216, 227-251.
- KTBL Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (Hrsg.)** KTBL-Taschenbuch Landwirtschaft – Daten für betriebliche Kalkulationen in der Landwirtschaft. 21. Auflage 2002/2003, Darmstadt.
- Landesamt für Datenverarbeitung und Statistik NRW (Hrsg.), 2005:** Agrarstrukturerhebung 2003, Düsseldorf.

- Landesamt** für Datenverarbeitung und Statistik NRW (Hrsg.), 2004: Zahlen zur Landwirtschaft in Nordrhein-Westfalen 2004, Düsseldorf.
- Landesumweltamt** Brandenburg (Hrsg.), 2005: Band 51 Pflanzenschutzmittel in der Umwelt, Erhebung von Pflanzenschutzmittel-Wirkstoffmengen im Land Brandenburg 2003- ein Vergleich zu 2001 und 1998/99, Potsdam.
- Landesumweltamt** Brandenburg (Hrsg.), (o.A.): Studien- und Tagungsberichte Band 30 Pflanzenschutzmittel in der Umwelt, Erhebung u Wirkstoffmengen von Pflanzenschutzmitteln im Land Brandenburg, Potsdam.
- Leterme**, B., Vanclooster, M., Rounsevell, M.D.A., Bogaert, P., 2006: Discriminating between point and non-point sources of atrazine contamination of a sandy aquifer. In: *Science of the Total Environment* 362, 124-142.
- Leu**, C., Singer, H., Stamm, C., Müller, S.R., Schwarzenbach, R., 2004: Simultaneous assessment of sources, processes and factors influencing herbicide losses to surface waters in a small agricultural catchment. In: *Environmental Science and Technology* 38, 3827-3834.
- Lichtenberg**, E., Zimmerman, R., 1999: Information on farmers' attitudes about pesticides, water quality and related environmental effects. In: *Agriculture, Ecosystems and Environment* 73/3, 227-236.
- Liedtke**, H., Marcinek, J. (Hrsg.), 2002: *Physische Geographie Deutschlands*. 3., überarbeitete und erweiterte Auflage, Klett-Perthes, Gotha.
- Liess**, M., Schulz, R., Neumann, M., 1999: Untersuchung der diffusen und punktuellen Pflanzenschutzmittel-Einträge im Einzugsgebiet der Nette. Abschlussbericht April 1999. Arbeitsgruppe Ökotoxikologie Zoologisches Institut der TU Braunschweig (Hrsg.).
- Linneweber**, B., 1997: Untersuchungen über den Eintrag von Pflanzenbehandlungs- und Schädlingsbekämpfungsmitteln in einer städtischen Kanalisation. In: *GWF Wasser Abwasser* 138 12., 605-610.
- Luijendijk**, C., Beltman, W., Wolters, M., 2003: Measures to reduce glyphosate runoff from hard surfaces. *Plant Research International B.V.*, Wageningen, Note.
- Manheller**, W., Müller, W., Schäfer, K., Schumacher, D., 1999: The pesticide-pollution of the Niers – reasons and strategies for minimizing. In: *Natur am Niederrhein* 14, 8-18.
- Mason**, P., 2003: Point source contamination of surface waters by pesticides: implications for management. Diss. Coventry University, U.K.
- Menge**, D., 2005: Gewässerbelastung durch den Eintrag von Bioziden aus Dachfarben- eine Risikoeinschätzung. Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen (Hrsg.). *Merkblätter* Band 51, Essen.

- Meyer**, E., Emschermann, F., Frahm, J., Gebel, D., Klenner, M., Klug, M., Kramer, H., Kock, T., Meinert, G., Schruft, G., 2006: Taschenbuch des Pflanzenarztes. 54., neu bearbeitete Folge, Landwirtschaftsverlag Münster Hilstrup.
- Mills-Thomas**, G., Pigott, A., Robinson, T., Watt, A., 1998: Packaging innovation: the development of refillables and its impact on the agrochemical sector. In: BCPC Monograph 70, 137-140.
- Müller**, K., Bach, M., Hartmann, H., Spiteller, M., Frede, H.-G., 2002: Point- and nonpoint-source pesticide contamination in the Zwester Ohm catchment, Germany. In: Journal of Environmental Quality 31, 309-318.
- Müller**, K., 2000: Diffuse und punktuelle Pflanzenschutzmittel-Einträge in ein Fließgewässer: Messungen und Modellierung. Justus-Liebig-Universität Gießen. Diss.
- Neck**, T., 1998: The idea of a closed substance cycle and waste management act and the implementation by the IVA - packaging disposal concept: In: BCPC Monograph 70, 159-166.
- Neumann**, M., Schulz, R., Schäfer, K., Müller, W., Mannheller, W., Liess, M., 2002: The significance of entry routes as point and non-point sources of pesticides in small streams. In: Water Research 36, 835-842.
- Neumann**, M., Schulz, R., Liess, M., 1999: Diffuse und punktuelle Eintragspfade für Pflanzenschutzmittel und ihre Bedeutung für zwei kleine Fließgewässer. In: Tagungsbericht der Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Limnologie 27.09.-01.10.99 in Rostock, 503-508.
- Nitsch**, H., Osterburg, B., 2004: Umweltstandards in der Landwirtschaft und ihre Verknüpfung mit agrarpolitischen Förderinstrumenten. In: Landbauforschung Völknerode 54, 113-125.
- Nitschke**, L., Wilk, A., Schüssler, W., Metzner, G., Lind, G., 1999: Biodegradation in laboratory activated sludge plants and aquatic toxicity of herbicides. In: Chemosphere 39, 2313-2323.
- Nitschke**, L., Schüssler, W., 1998: Surface water pollution by herbicides from effluents of waste water treatment plants. In: Chemosphere 36, 35-41.
- Ochsenbein**, U., Krebs, R., 2005: Fließgewässerbericht 2001-2004 Schwerpunkt Emmental. Amt für Gewässerschutz und Abfallwirtschaft des Kantons Bern, Gewässer- und Bodenschutzlabor (Hrsg.).
- Oechslin**, R., Lengweiler, P., Seiler, K., Götz, C., Gomides Freitas, L., Singer, H., Müller, S., 2002: Rückstände von neuen Pestiziden im Oberflächen- und Grundwasser. In: EWAG (Hrsg.), Jahresbericht 2002, 41-42.
- Osteroth**, H. J., 1998: Geschätzter Bestand an Spritzgeräten in Feld- und Sonderkulturen für das Jahr 1996. BBA (Hrsg.). [schriftl. Mittlg.].

- Parker, C., Huntington, M., 2002:** The use of herbicide application equipment for controlling weed growth on hard surfaces in amenity areas. In: *Aspects of Applied Biology* 66, 359-366.
- Peschka, M., Müller, J., Knepper, T.P., Seel, P., 2005:** Trends in pesticide transport into the river Rhine. *Handbook of Environmental Chemistry* 5, Part L, 155-175.
- Ramwell, C., Johnson, P., Corns, H., 2006:** Transferability of six pesticides from agricultural sprayer surfaces. In: *Annals of the Occupational Hygiene* 50, 323-329.
- Ramwell, C., 2005:** Herbicide sorption to concrete and asphalt. In: *Pest Management Science* 61, 144-150.
- Ramwell, S., Johnson, P., Boxall, A., Rimmer, D., 2005:** Pesticide residues on the external surfaces of field crop sprayers: occupational exposure. In: *Annals of occupational Hygiene* 49, 345-350.
- Ramwell, C., Heather, A., Shepherd, A., 2004 a:** Herbicide loss following application to a railway. In: *Pest Management Science* 60, 556-564.
- Ramwell, C., Johnson, P., Boxall, A., Rimmer, D., 2004 b:** Pesticide residues on the external surfaces of field-crop sprayers: environmental impact. In: *Pest Management Science* 60, 795-802.
- Ramwell, C., Johnson, P., Corns, H., 2004 c:** An investigation into methods for sprayer decontamination. In: *Aspects of Applied Biology*, 71/2, 371-376.
- Ramwell, C., Heather, A., Shepherd, A., 2002 a:** Herbicide loss following application to a roadside. In: *Pest Management Science* 58, 695-701.
- Ramwell, C., Johnson, P., Boxall, A., Rimmer, D., 2002 b:** Exposure to pesticide residues on agricultural spraying equipment. Contract research report 440/2002, Health and Safety Executive (Hrsg.), Sudbury, 50 S..
- Rask, A., Kristoferson, P., 2007:** A review of non-chemical weed control on hard surfaces. In: *Weed Research* 47, 370-380.
- Read, M., Taylor, W., 1998:** A preliminary investigation into the effectiveness of decontamination methods on the residues of amidosulfuron, used alone and in mixtures from polyethylene sprayer tanks. In: *BCPC Monograph* 70, 107-112.
- Reichenberger, S., Bach, M., Skitschak, A., Frede, H.G., 2007:** Mitigation strategies to reduce pesticide inputs into ground- and surface water and their effectiveness; a review. In: *Science of the Total Environment* 384, 1-35.
- Reichenberger, S., Bach, M., Skitschak, A., Frede, H.G., 2006:** State-of-the-art review on mitigation strategies and their effectiveness. Report DL#7 of the FP6 EU-funded FOOTPRINT project [www.eu-footprint.org].

- Reschke, M.**, 1997: Vermeidung von punktuellen PSM-Emissionen – Stand der Gerätetechnik und Entwicklungen. In: Umweltbundesamt (Hrsg.); 1997: Pestizideinträge in Oberflächengewässer aus landwirtschaftlichen Hofabläufen – Kenntnisstand und Minderungsmaßnahmen. UBA-Texte 87/97, 120 S., S. 91-100.
- Rose, S., Basford, W., Carter, A.**, 2003: On-farm bioremediation systems to limit point source pesticide pollution. In: Proceedings of the XII Symposium Pesticide Chemistry, 04.-06.06.2003, Piacenza, La Goliardica Pavese, Pavia, 559-566.
- Rose, S., Mason, P., Foster, I., Walker, A., Carter, A.**, 2001: The design of a pesticide handling and washdown facility. In: BCPC Symposium Proceedings Nr. 78: Pesticide Behaviour in Soils and Water, 379-384.
- Rott, U., Schlichtig, B.**, 2003: Eintrag von Pflanzenschutzmitteln in Oberflächengewässer am Beispiel des Bodensee-Zuflusses Seefelder Aach, Untersuchungsprogramm 2002. Abschlussbericht. Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, Institut für Seenforschung (Hrsg.), Langenargen.
- Röpke, B., Bach, M., Frede, H. G.**, 2004: Prediction of pesticide concentrations on German river basins from diffuse agricultural inputs. Umweltbundesamt (Hrsg.), UBA-Berichte 2/04, E. Schmidt Verlag, Berlin.
- Rübel, A.**, 1999: Eintrag von Pflanzenschutzmitteln in Oberflächengewässer durch den Weinbau in Steillagen. Universität Trier. Diss.
- Schlichtig, B., Rott, U.**, 2004: Integrierter Gewässerschutz an der Seefelder Aach- Schwerpunkt Pflanzenschutzmittel. In: Wasser und Abfall 4, 43-49.
- Schlichtig, B., Schüle, E., Rott, U.**, 2001: Eintrag von Pflanzenschutzmitteln in die Seefelder Aach. In: Wasser und Abfall 3, 20-28.
- Schoknecht, U., Wegner, R., Horn, W., Jann, O.**, 2002: Biozidemissionen aus Materialien. Forschungsbericht im Auftrag des Umweltbundesamtes, Förderkennzeichen (UFO-PLAN) 299 67 410, 256 S..
- Schoknecht, U., Wegner, R., horn, W., Jann, O.**, 2003: Emission of biocides from treated materials. In: Environmental Science and Pollut Res 10, 154-161.
- Schweizer Bundesamt für Landwirtschaft**, 2007: Pflanzenschutzmittelverzeichnis der Schweizerischen Eidgenossenschaft (Stand: 30.10.2007), online: www.psa.bwl.admin.ch/index_de_9_1.html (Stand 21.12.2007).
- Seel, P., Gabriel, S.**, 2001: Immer noch hohe Gewässerbelastung durch Pflanzenschutzmittel. In: HLUG (Hrsg.), Jahresbericht 2000, Wiesbaden, S. 23-25.
- Seel, P., Knepper, T. P., Gabriel, S., Weber, A., Haberer, K.**, 1996: Sewage works as the main source of pesticides in surface waters – balance of the entry. Vom Wasser 86, 247-262.

- Seel, P.**, 1996: Pflanzenschutzmittelfrachten im Ablauf von 28 Kläranlagen im Nidda-Einzugsgebiet während des Zeitraums Mai – Juni 1994. [schriftl. Mittlg.].
- Seel, P., Knepper, T. P., Gabriel, S., Weber, A., Haberer, K.**, 1994: Einträge von Pflanzenschutzmitteln in ein Fließgewässer – Versuch einer Bilanzierung. In: Vom Wasser 83, 357-372.
- Smith, R.**, 1998: Effective container cleaning for crop protection products. In: BCPC Monograph 70, 71-87.
- Skark, C., Zullei-Seibert, N., Willmes, U., Gatzemann, U., Schlett, C.**, 2004: Contribution of non-agricultural pesticides to pesticide load in surface water. In: Pest Management Science 60, 525-530.
- Skark, S., Zullei-Seibert, N., Gatzemann, U., Schwarz, D.**, 1996: Diuronfunde in Ruhrzuflüssen unter Berücksichtigung der Flächennutzung. In: Berichte aus der Dortmunder Energie und Wasserversorgung 424, 126-129.
- Soleas, G., Goldberg, D.**, 2000: Pesticide residues in unfermented grape juices and raw wines: a 5-year survey of more than 3000 products. In: Journal of Wine Research 11/3, 197-207.
- Spanoghe, P., Claeys, J., Pinoy, L., Steurbaut, W.**, 2005: Rainfastness and adsorption of herbicides on hard surfaces. In: Pest Management Science 61, 793-798.
- Spanoghe, P., Maes, A., Steurbaut, W.**, 2004: Limitation of point source pesticide pollution: results of bioremediation system. In: Aspects of Applied Biology 69, 719-32.
- Spliid, N., Helweg, A., Heinrichson, K.**, 2006: Leaching and degradation of 21 pesticides in a full-scale biobed. In: Chemosphere 65, 2223-2232.
- Statistisches Landesamt Mecklenburg-Vorpommern (Hrsg.)**, 2005 a: Landwirtschaft, Zahlen und Fakten 2005. Schwerin.
- Statistisches Landesamt Mecklenburg-Vorpommern (Hrsg.)**, 2005 b: Statistische Berichte Agrarstruktur, Betriebssysteme und Standardbetriebseinkommen der landwirtschaftlichen Betriebe in Mecklenburg-Vorpommern, Stand Mai 2003. Schwerin.
- Statistisches Landesamt Rheinland-Pfalz (Hrsg.)**, 2005: Agrarstrukturerhebung 2003, Bad Ems.
- Statistisches Landesamt des Freistaates Sachsen (Hrsg.)**, 2004: Bodennutzung und Viehbestände in den landwirtschaftlichen Betrieben im Freistaat Sachsen. Kamenz.
- Staatliches Umweltamt Aachen (Hrsg.)**, 2004: Pflanzenschutzbehandlungsmittel in Kläranlagenabläufen und Gewässern, Untersuchungsbericht Messprogramm 2003. [schriftl. Mittlg.].
- Toller, G., Flaim, G.**, 1996: Fate of pesticide residues in an organic filter. In: Protocol X Symposium Pesticide Chemistry, 30.09.-02.10.1996, Piacenza, Abstract.

- Torstensson, L.**, 2001: Use of herbicides on railway tracks in Sweden. In: Pesticide Outlook 11, 16-21.
- Torstensson, L.**, 2000: Experiences of biobeds in practical use in Sweden. In: Pesticide Outlook 10, 206-211.
- Torstensson, L., Castillo, M.**, 1997: Use of biobeds in Sweden to minimize environmental spilages from agricultural spraying equipment. In: Pesticide Outlook 8, 24-27.
- Twertek, M.**, 1995: Eintrag und Verhalten von Pflanzenschutzmitteln in Oberflächengewässer nach der Applikation an Weinreben. Universität Kaiserslautern. Diss.
- Twertek, M., Altmayer, B.**, 1995: Eintrag und Verhalten von Pflanzenschutzmitteln in Oberflächengewässer. In: das deutsche Weinmagazin 19, 11-16.
- Umweltbundesamt**, 2006: Anwendung von Pflanzenschutzmitteln in der Landwirtschaft – Ergebnisse von Untersuchungen des Umweltbundesamt und Vergleich mit Erkenntnissen der Länder. Pressemitteilung vom 10.01.06.
- Umweltbundesamt**, 1997: Pestizideinträge in Oberflächengewässer aus landwirtschaftlichen Hofabläufen – Kenntnisstand und Minderungsmaßnahmen. UBA-Texte 87/97.
- Van de Zande, J., Porskamp, H., Holterman, H.**, 2002 : Influence of reference nozzle choice on spray drift classification. In: Aspects of Applied Biology 66, 49-56.
- Van de Zande, J., Michielsen, J., Stallinga, H., Porskamp, H., Holterman, H., Huijsmans, J.**, 2002: Environmental risk control. In: Aspects of Applied Biology 66, 165-176.
- Vidali, M.**, 2001 : Bioremediation. An overview. In: Pure Applied Chemistry 73, 1163-1172.
- Vischetti, C., Capri, E., Trevisan, M., Casucci, C., Oerucci, P.**, 2004: Biomassbed: a biological system to reduce pesticide point contamination on farm level. In: Chemosphere 55, 823-828.
- Webb, D., Parkin, C., Andersen, P.**, 2002: Uniformity of the spray flux under arable boom sprayers. In: Aspects of Applied Biology 66, 87-94.
- Wen, S.**, 2002: Photocatalytic oxidation of pesticide rinsate. In: Journal of Environmental Science and Health 37, 65-74.
- Yoshida, K., Fuzesi, I., Suzan, M., Nagy, L.**, 1990: Measurements of surface contamination of spray equipment with pesticides after various methods of application. In: Journal of Environmental Health B., 25/2, 169-183.
- Zühlke, S., Bach, M., Hoch, A.**, 2007: Bestimmung der Frachten von Pflanzenschutzmitteln und deren Metaboliten in kommunalen Kläranlagenabläufen. GDCh Fachgruppe Umweltchemie und Ökotoxikologie - Jahrestagung 2007, 26.-28.09.07, Osnabrück.

- Zühlke, S.,** Bach, M., Hoch, A., 2006: LC-MS/MS Multimethode zur Bestimmung von Pflanzenschutzmitteln und deren Metaboliten in Kläranlagenabläufen und Oberflächenwasser. In: GdCh Fachgruppe Umweltchemie und Ökotoxikologie, Jahrestagung der wasserchemischen Gesellschaft 14.-16.05.07, Passau.

Übermittlung der Anzahl der TÜV-geprüften Applikationsgeräte im EZG der Kläranlagen

Amt für Landwirtschaft und Forsten Deggendorf: Anzahl der TÜV-geprüften Feldspritzen im EZG der KA_Reis in den Jahren 2005 und 2006. E-Mail vom 17.10.2007.

Amt für Landwirtschaft und Forsten Würzburg: Anzahl der TÜV-geprüften Feldspritzen im EZG der KA_O in den Jahren 2005 und 2006. E-Mail vom 03.12.2007

Aufsichts- und Dienstleistungsdirektion Rheinland Pfalz: Anfrage bzgl. der Anzahl der TÜV-geprüften Feldspritzen und Sprüheräte im EZG der KA_N in den Jahren 2005 und 2006. Telefonat mit Herrn B. Dondelinger am 13.11. 2007.

Regierungspräsidium Gießen, Pflanzenschutzdienst Hessen: Anzahl der TÜV-geprüften Feldspritzen im EZG der KA_F in den Jahren 2005 und 2006. E-Mail vom 30.08.2007.

Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft: Anzahl der TÜV-geprüften Feldspritzen im EZG der KA_B. Schreiben vom 02.10.2007.

Landesamt für Landwirtschaft, Lebensmittelsicherheit und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern: Anzahl der TÜV-geprüften Feldspritzen im EZG der KA_J in den Jahren 2005 und 2006. E-Mail vom 23.08.2007.

Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen: Anzahl der TÜV-geprüften Feldspritzen im EZG der KA_Rh und KA_L in den Jahren 2004 und 2005. E-Mail vom 11.07.2007.

Unterstützung bei der Auswahl der Wirkstoffe für die Beprobung von Kläranlagen

- Dr. Bernd Altmayer, Dienstleistungszentrum Ländlicher Raum Rheinpfalz
- Dr. Friedrich Dechet, Industrieverband Agrar
- Hr. Martin Kerber, Regierungspräsidium Giessen, Pflanzenschutzdienst Hessen
- Dr. Norbert Kirchhoff, Staatliches Amt für Umwelt und Arbeitsschutz Ostwestfalen-Lippe
- Dr. Steffen Matezki, Umweltbundesamt
- Dr. Michael Morgenstern, Landesamt für Verbraucherschutz, Landwirtschaft und Flurneuordnung in Frankfurt/Oder
- Hr. Ortwin Rodeck, Deutsche Vereinigung des Gas- und Wasserfaches e.V.
- Dr. Peter Seel, Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie
- Dr. Martin Strelake, Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit
- Dr. Michael Trepel, Landesamt für Natur und Umwelt Schleswig-Holstein
- Dr. Zornbach, Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz

Abbildungen

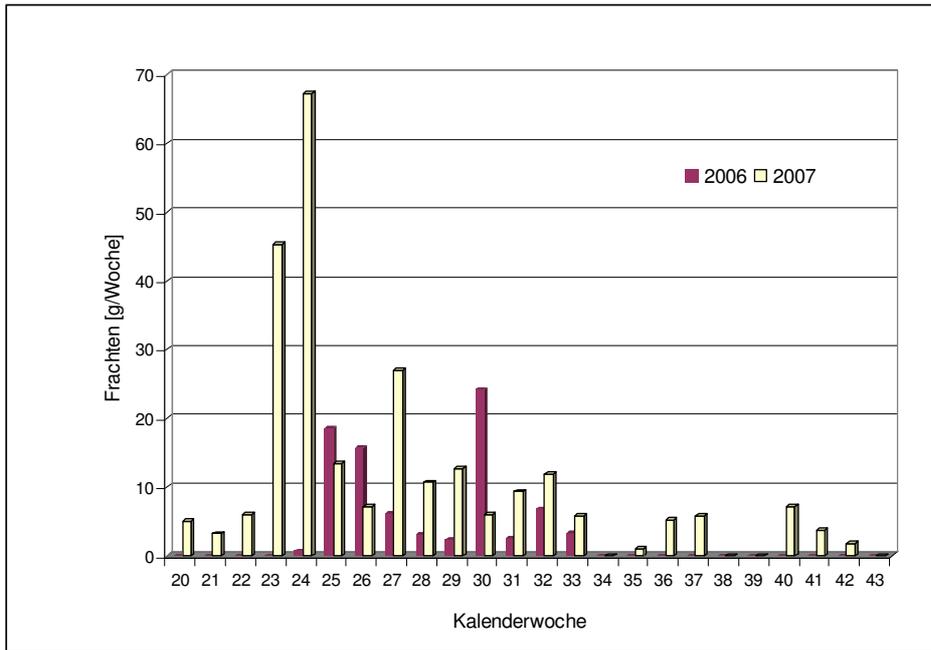


Abb. A-1. Wochenfrachten von Azoxystrobin in den Hauptapplikationszeiträumen (20.-43.KW) im Ablauf der KA_N in den Jahren 2006 und 2007

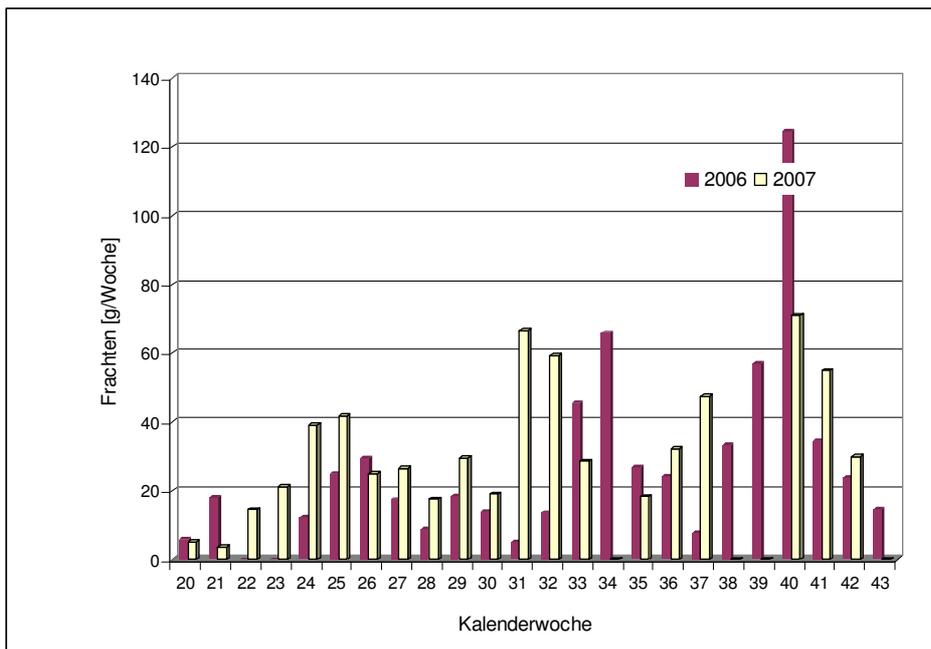


Abb. A-2. Wochenfrachten von Boscalid in den Hauptapplikationszeiträumen (20.-43.KW) im Ablauf der KA_N in den Jahren 2006 und 2007

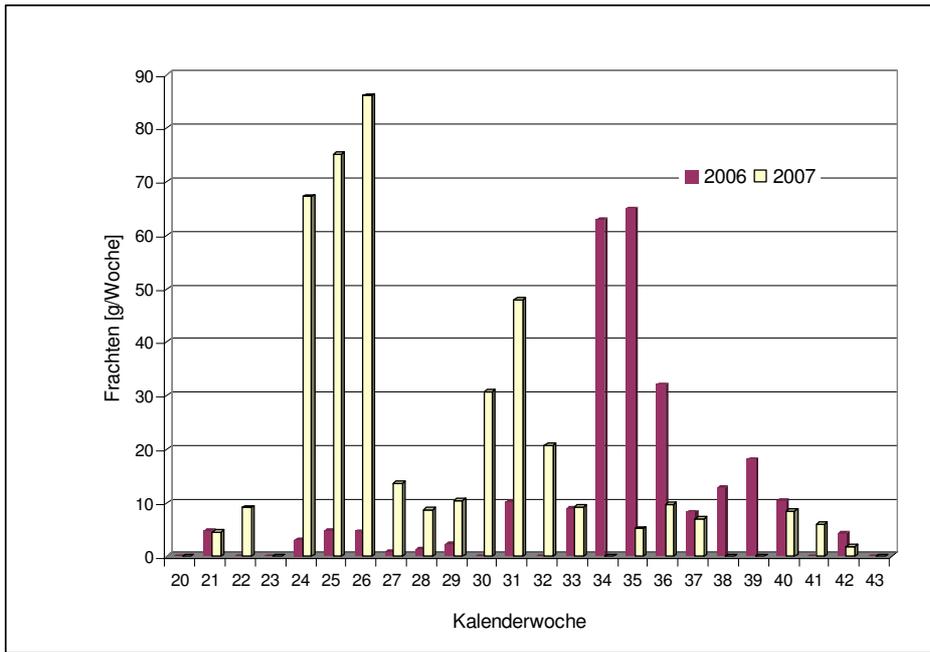


Abb. A-3. Wochenfrachten von Cyprodinil in den Hauptapplikationszeiträumen (20.-43.KW) im Ablauf der KA_N in den Jahren 2006 und 2007

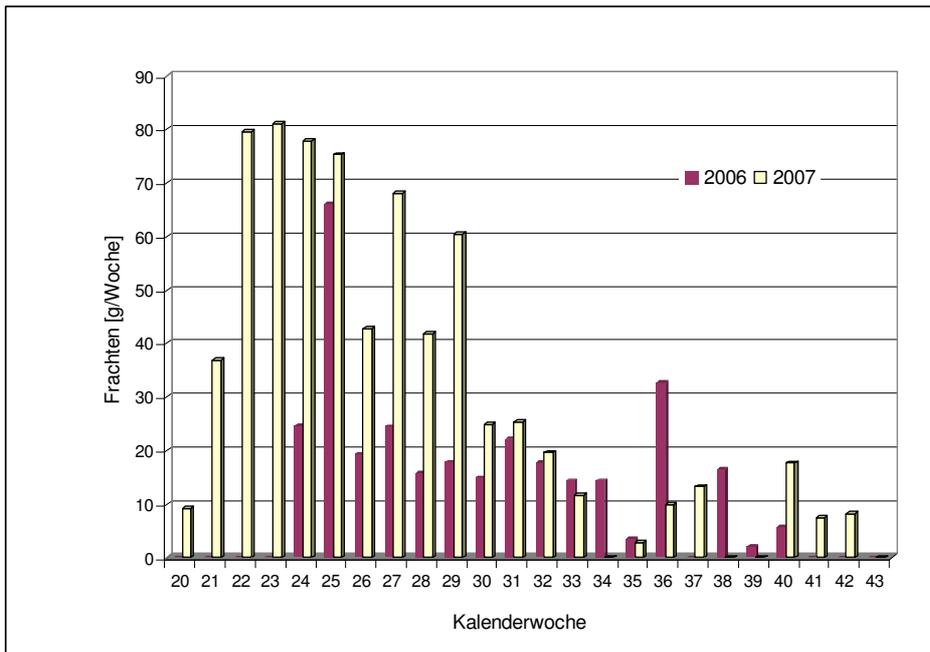


Abb. A-4. Wochenfrachten von Dimetomorph in den Hauptapplikationszeiträumen (20.-43.KW) im Ablauf der KA_N in den Jahren 2006 und 2007

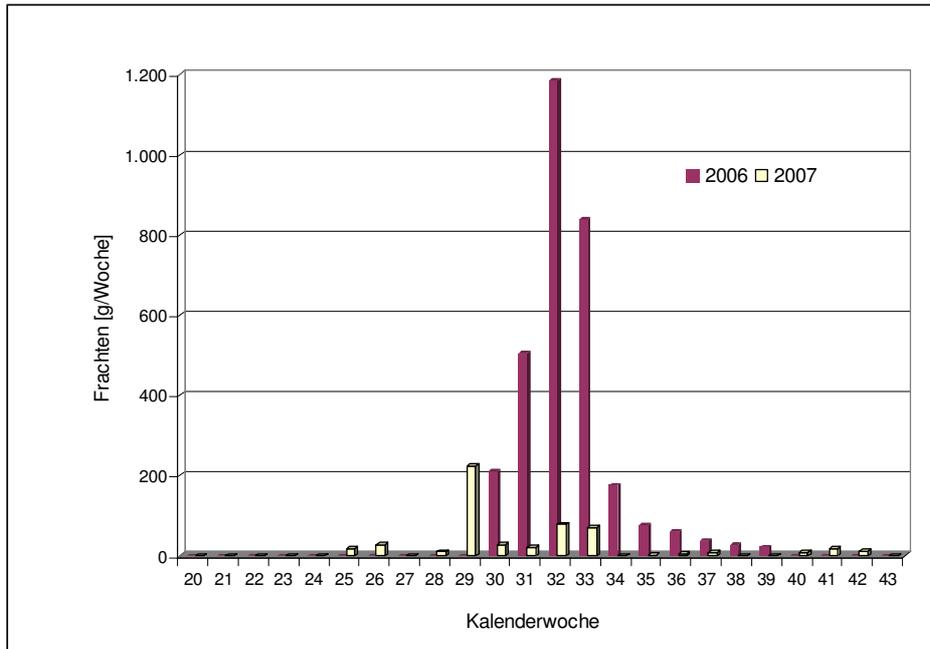


Abb. A-5. Wochenfrachten von Fenhexamid in den Hauptapplikationszeiträumen (20.-43.KW) im Ablauf der KA_N in den Jahren 2006 und 2007

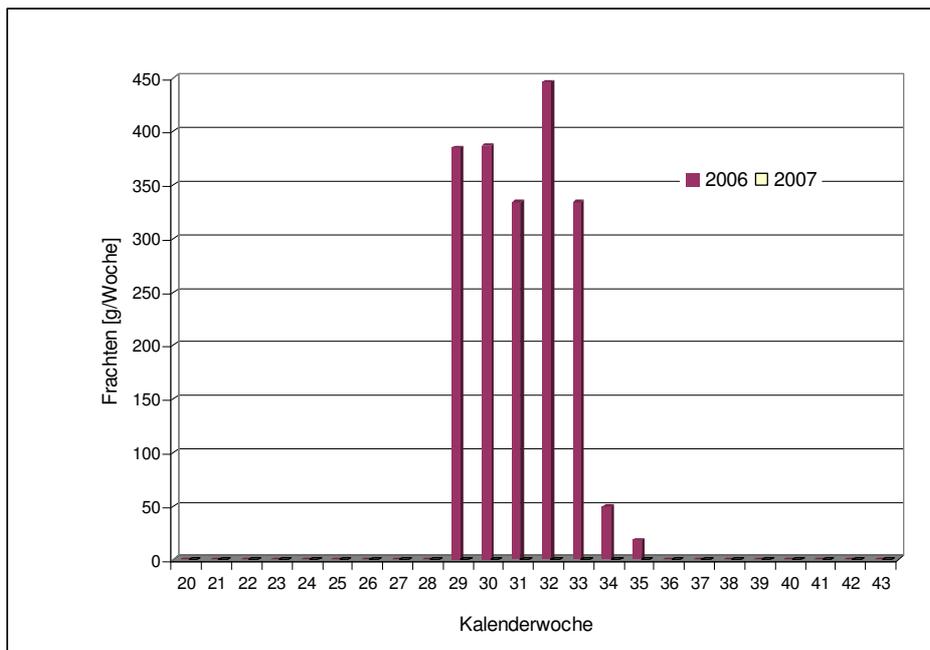


Abb. A-6. Wochenfrachten von Fenpropimorph in den Hauptapplikationszeiträumen (20.-43.KW) im Ablauf der KA_N in den Jahren 2006 und 2007

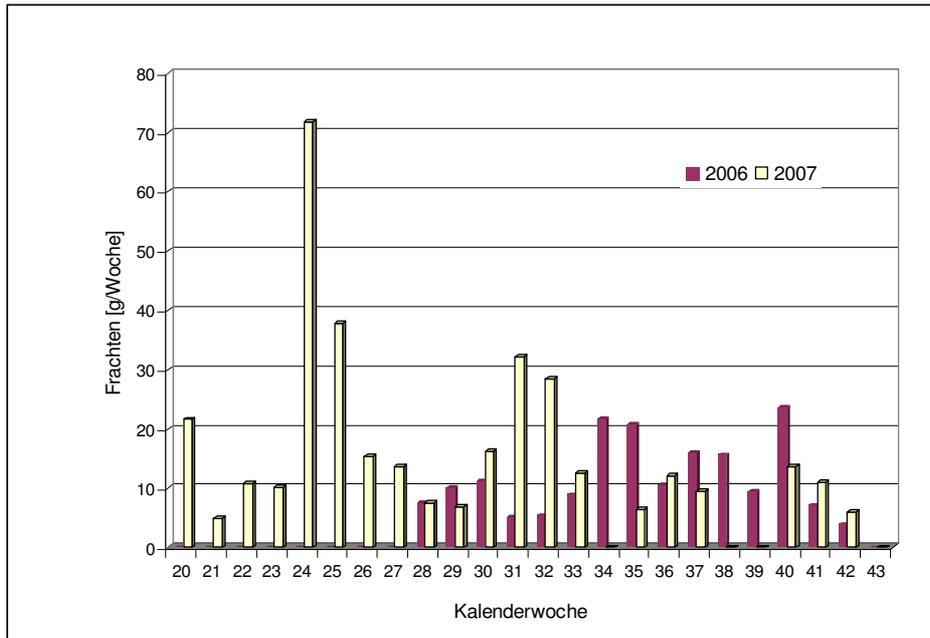


Abb. A-7. Wochenfrachten von Fludioxonil in den Hauptapplikationszeiträumen (20.-43.KW) im Ablauf der KA_N in den Jahren 2006 und 2007

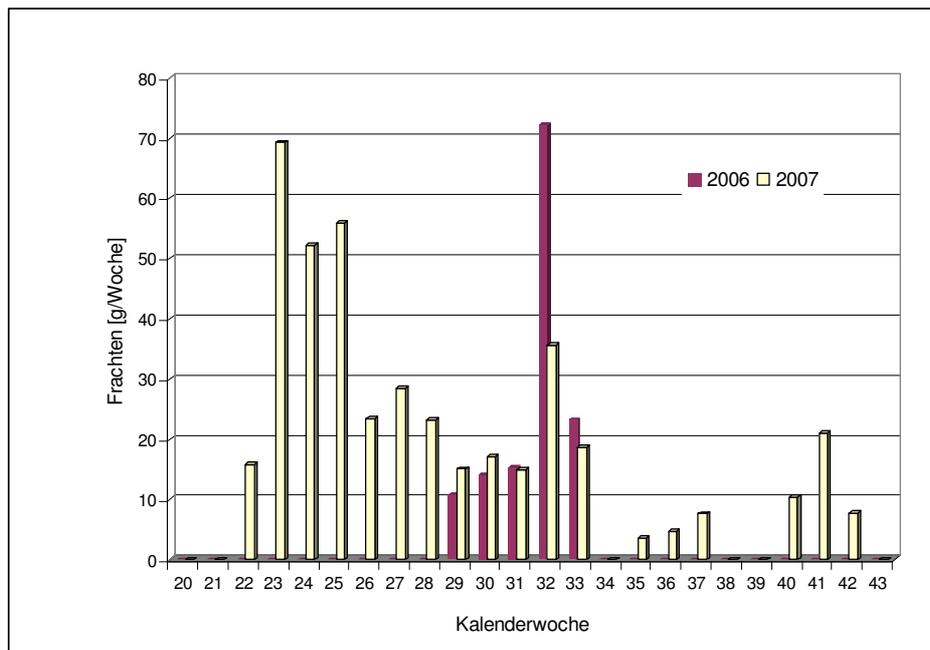


Abb. A-8. Wochenfrachten von Folpet in den Hauptapplikationszeiträumen (20.-43.KW) im Ablauf der KA_N in den Jahren 2006 und 2007

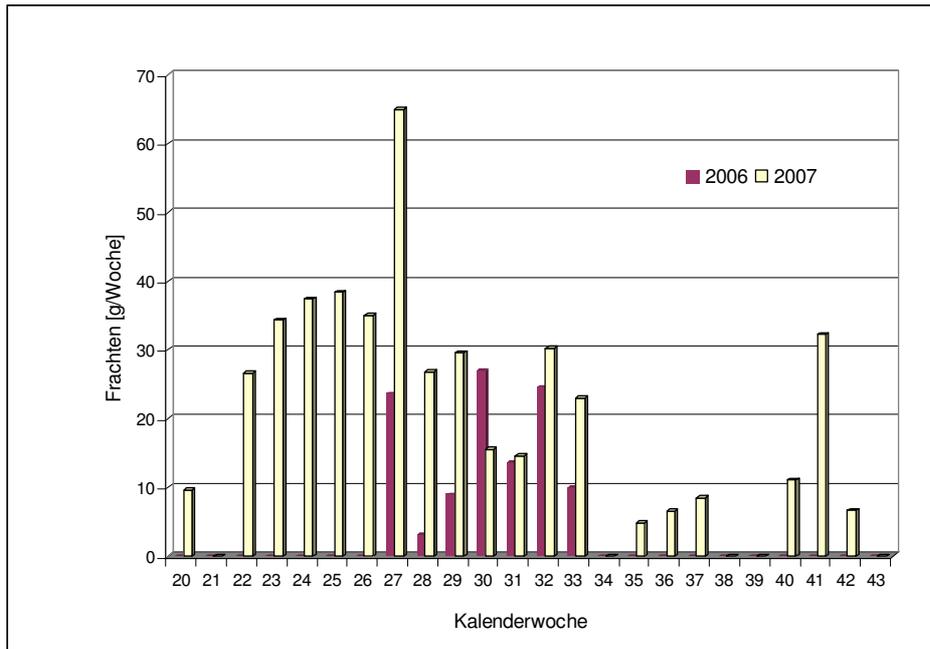


Abb. A-9. Wochenfrachten von Iprovalicarb in den Hauptapplikationszeiträumen (20.-43.KW) im Ablauf der KA_N in den Jahren 2006 und 2007

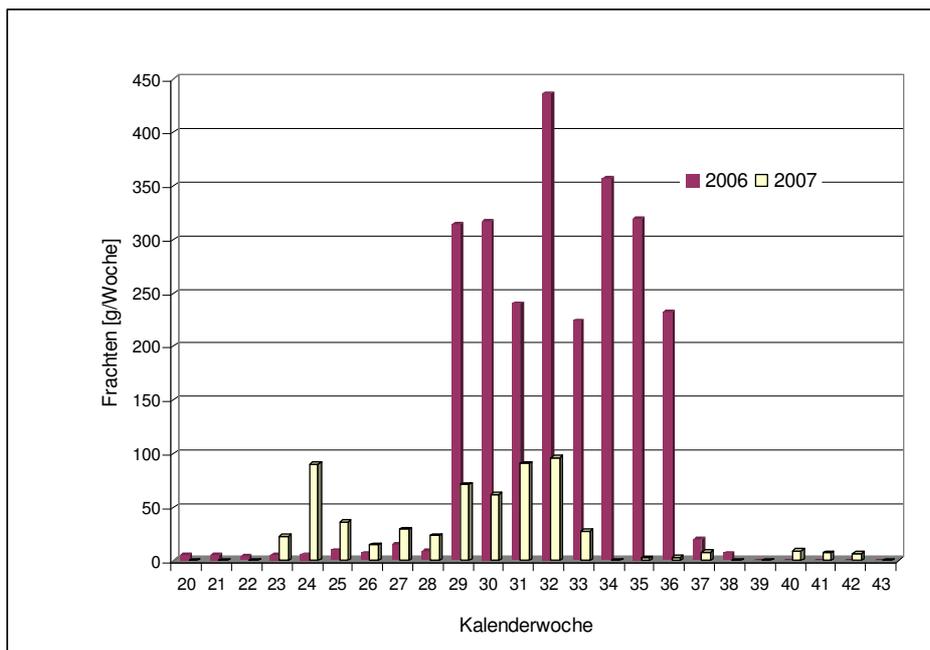


Abb. A-10. Wochenfrachten von Pyrimethanil in den Hauptapplikationszeiträumen (20.-43.KW) im Ablauf der KA_N in den Jahren 2006 und 2007

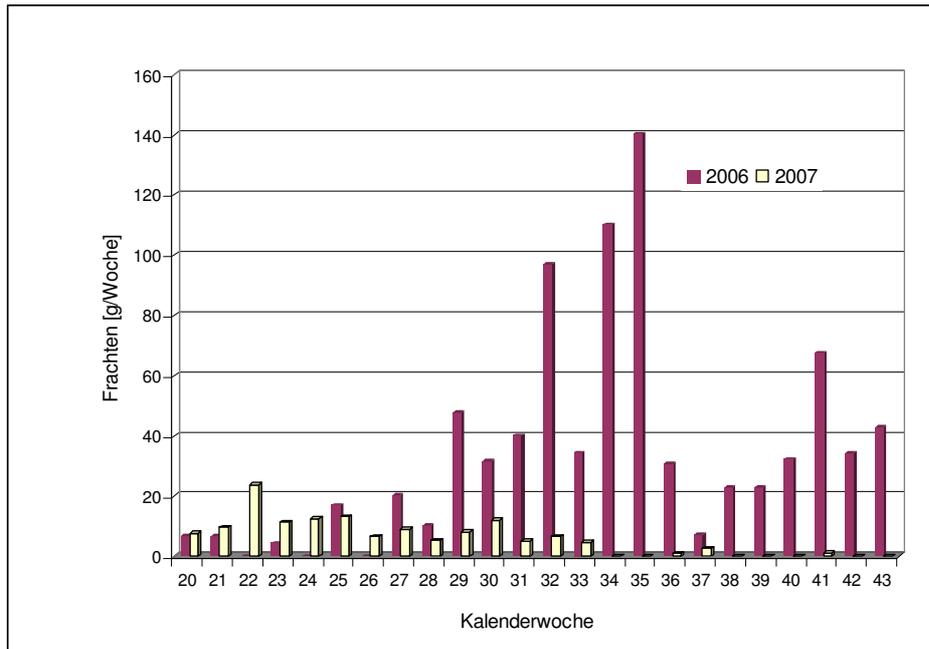


Abb. A-11. Wochenfrachten von Tebuconazol in den Hauptapplikationszeiträumen (20.-43.KW) im Ablauf der KA_N in den Jahren 2006 und 2007

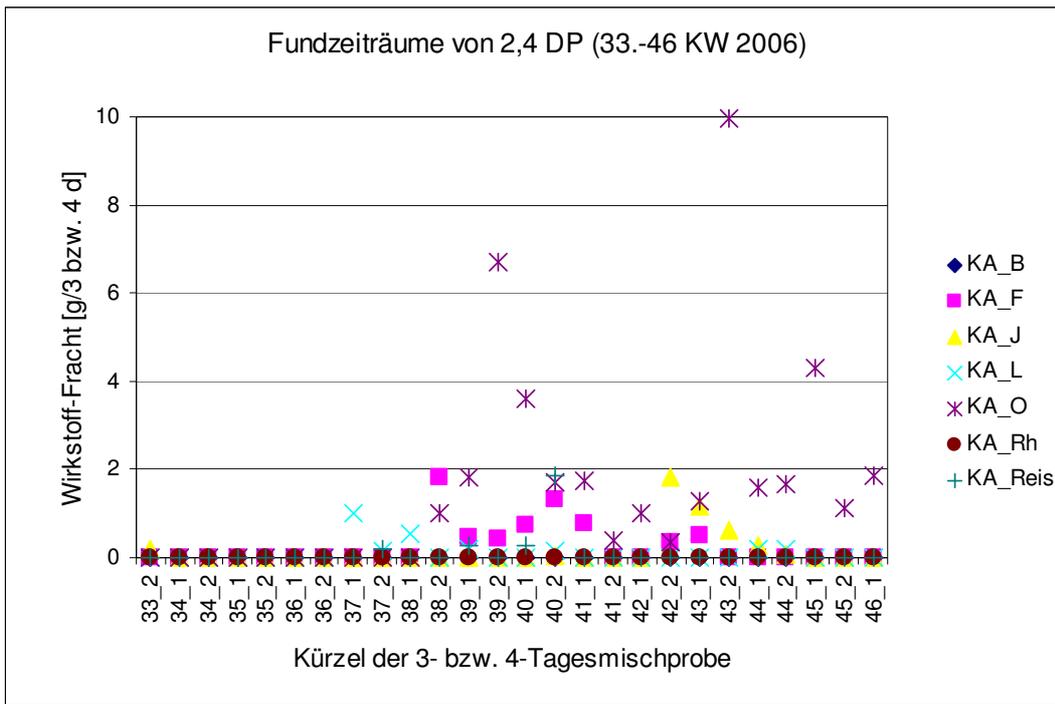


Abb. A-12. Fundzeiträume von 2,4 DP im Ablauf von sechs Kläranlagen (Betrachtungszeitraum 33.–46. KW 2006)

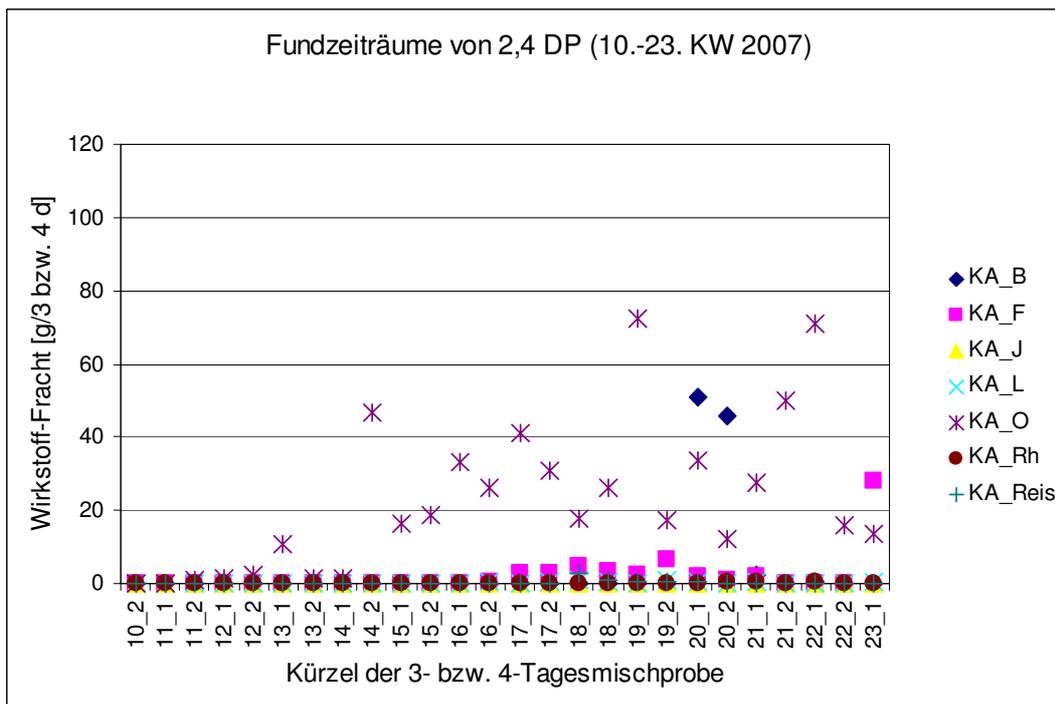


Abb. A-13. Fundzeiträume von 2,4 DP im Ablauf von sieben Kläranlagen (Betrachtungszeitraum 10.–23. KW 2007)

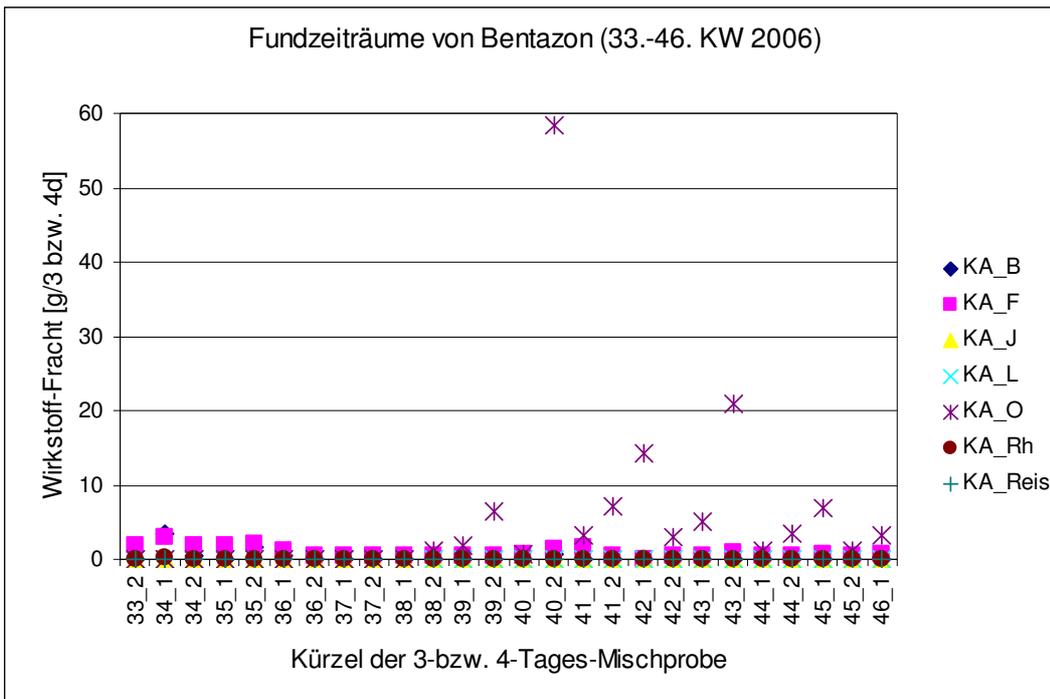


Abb. A-14. Fundzeiträume von Bentazon im Ablauf von fünf Kläranlagen (Betrachtungszeitraum 33.–46. KW 2006)

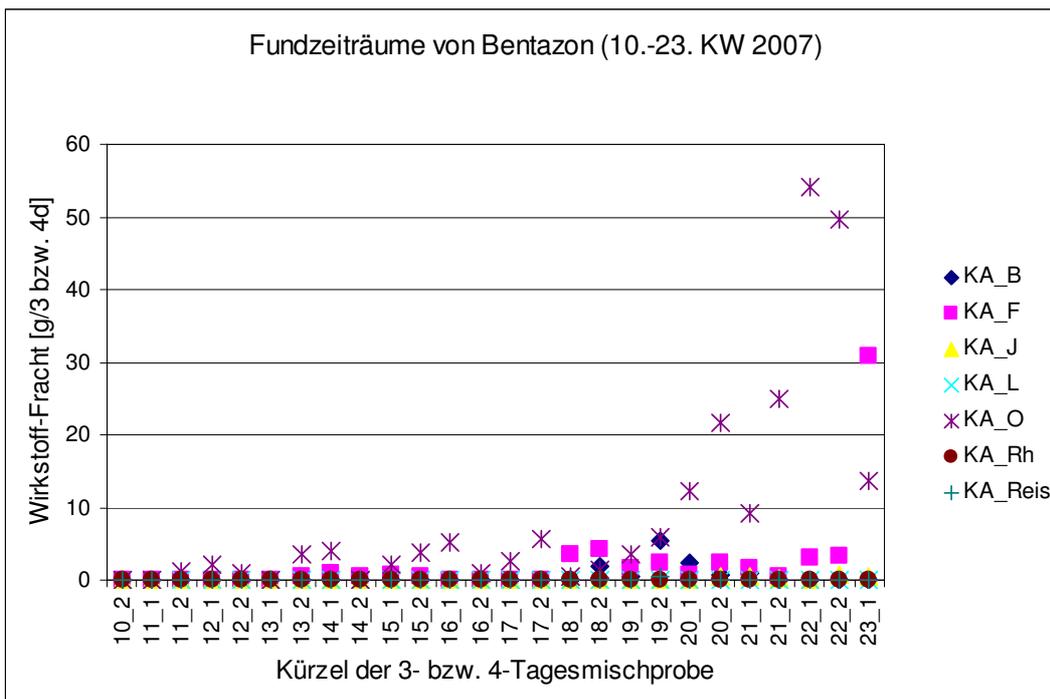


Abb. A-15. Fundzeiträume von Bentazon im Ablauf von fünf Kläranlagen (Betrachtungszeitraum 10.–23. KW 2007)

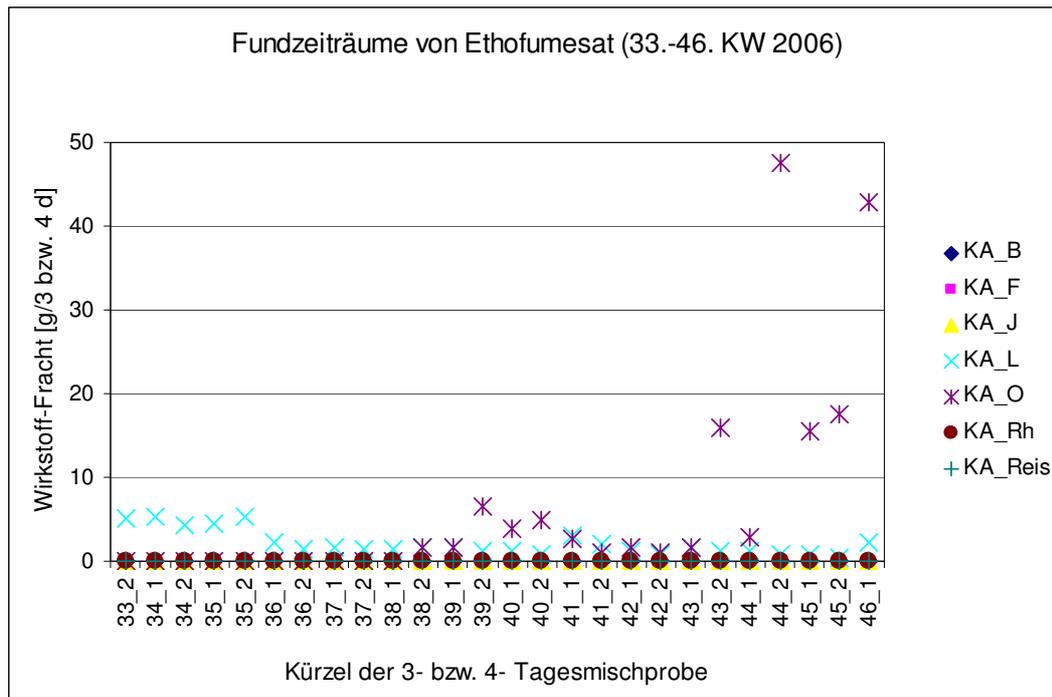


Abb. A-16. Fundzeiträume von Ethofumesat im Ablauf von zwei Kläranlagen (Betrachtungszeitraum 33.–46. KW 2006)

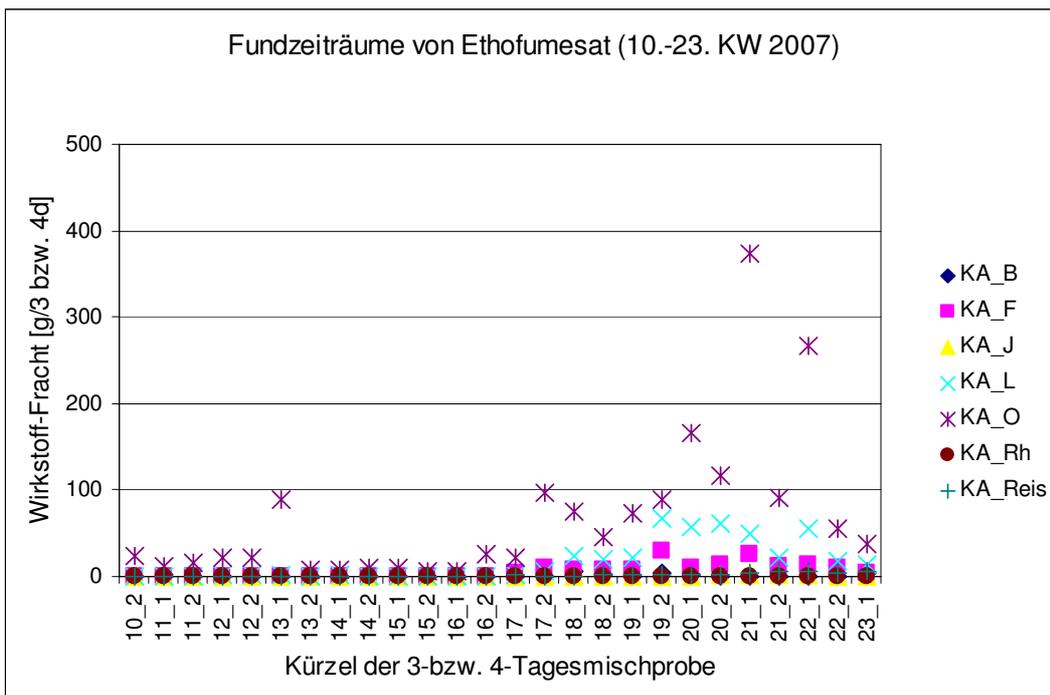


Abb. A-17. Fundzeiträume von Ethofumesat im Ablauf von sechs Kläranlagen (Betrachtungszeitraum 10.–23. KW 2007)

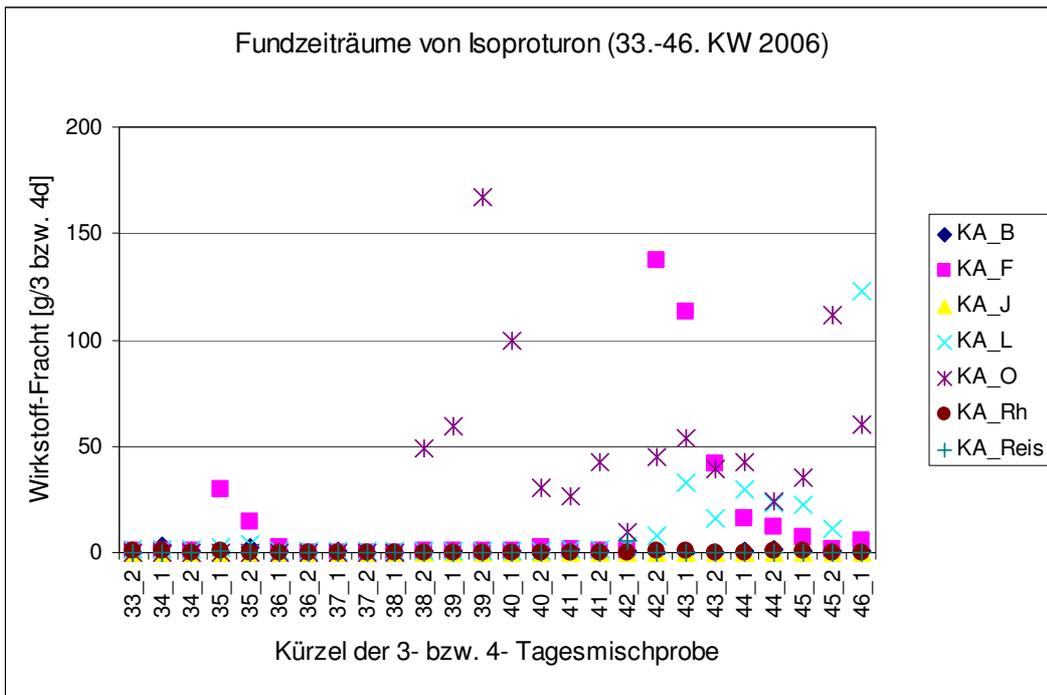


Abb. A-18. Fundzeiträume von Isoproturon im Ablauf von sieben Kläranlagen (Betrachtungszeitraum 33.–46. KW 2006)

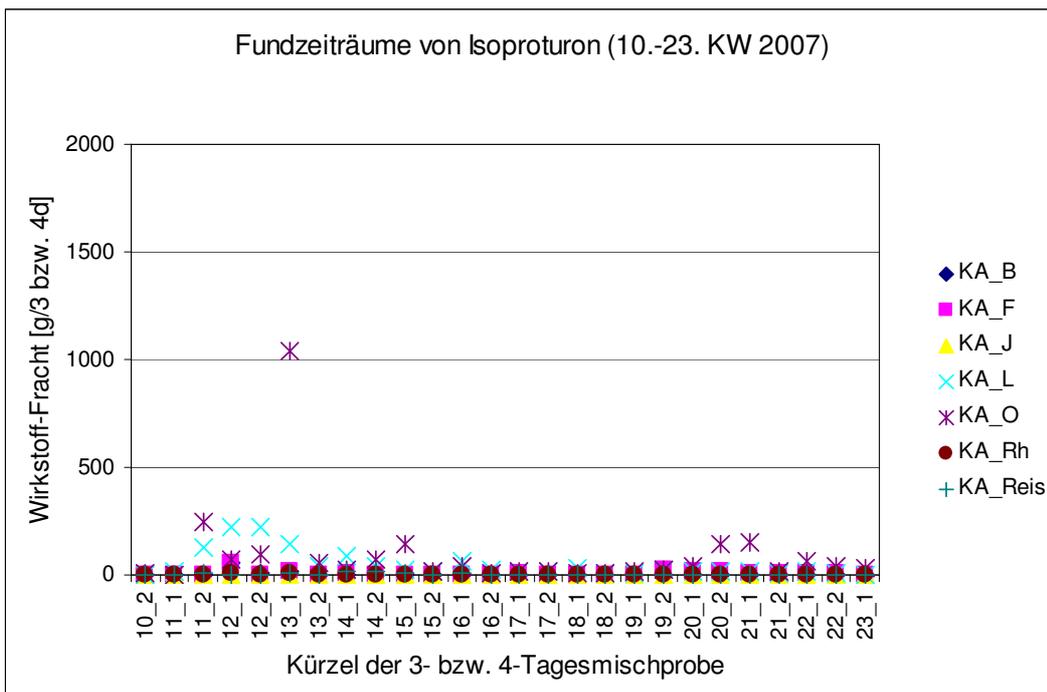


Abb. A-19. Fundzeiträume von Isoproturon im Ablauf von sieben Kläranlagen (Betrachtungszeitraum 10.–23. KW 2007)

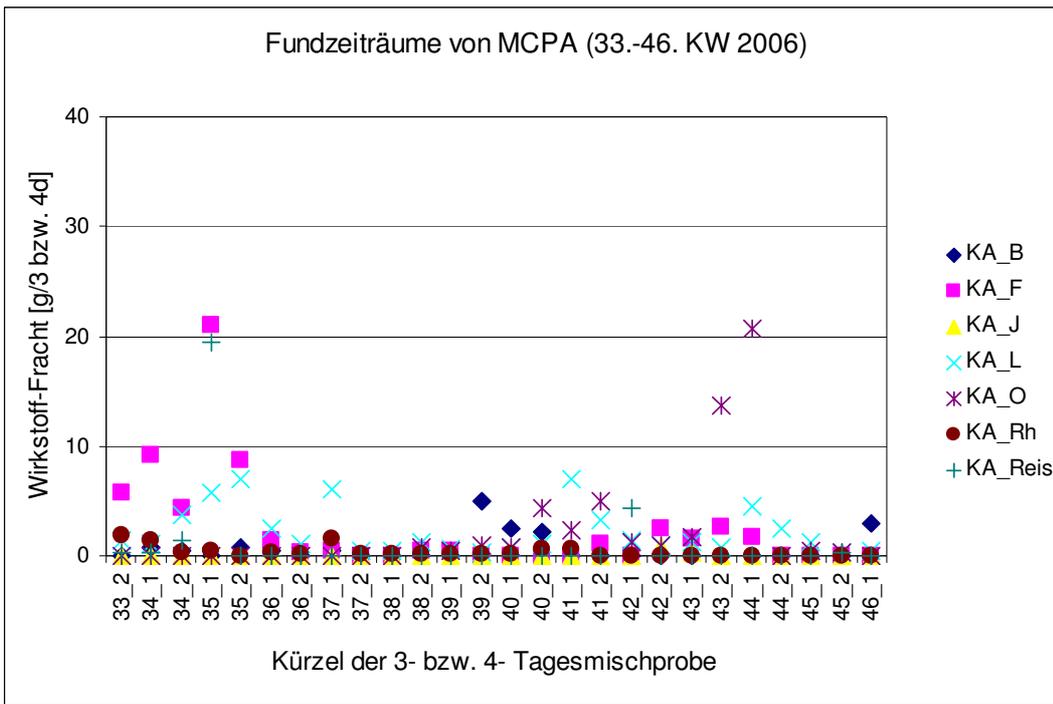


Abb. A-20. Fundzeiträume von MCPA im Ablauf von sieben Kläranlagen (Betrachtungszeitraum 33.–46. KW 2006)

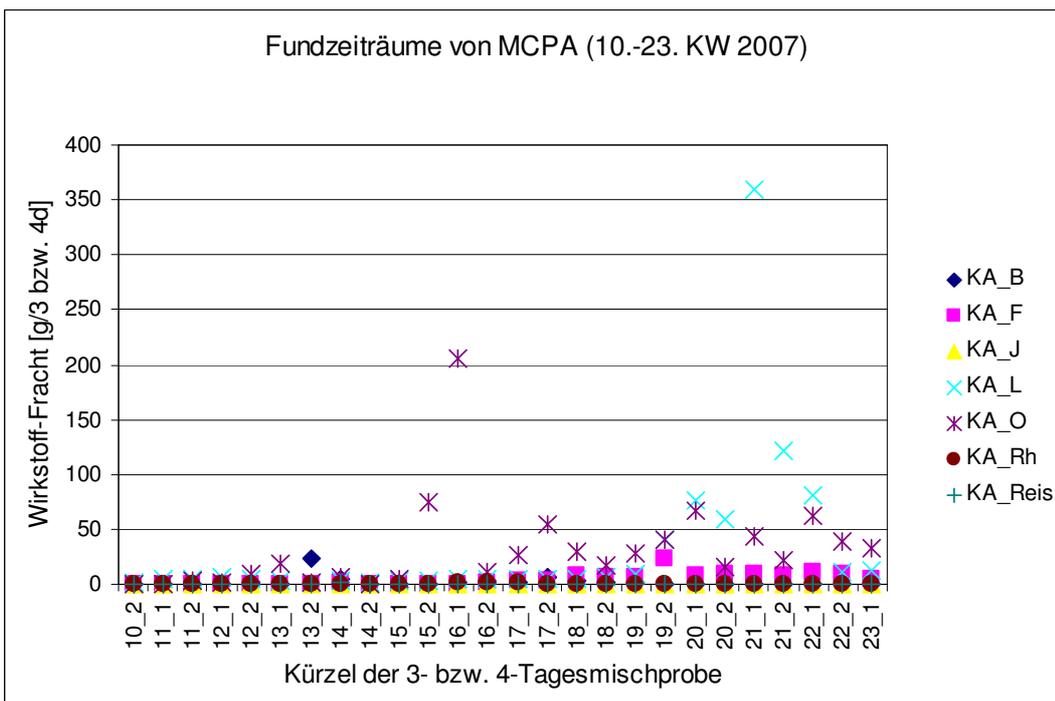


Abb. A-21. Fundzeiträume von MCPA im Ablauf von sieben Kläranlagen (Betrachtungszeitraum 10.–23. KW 2007)

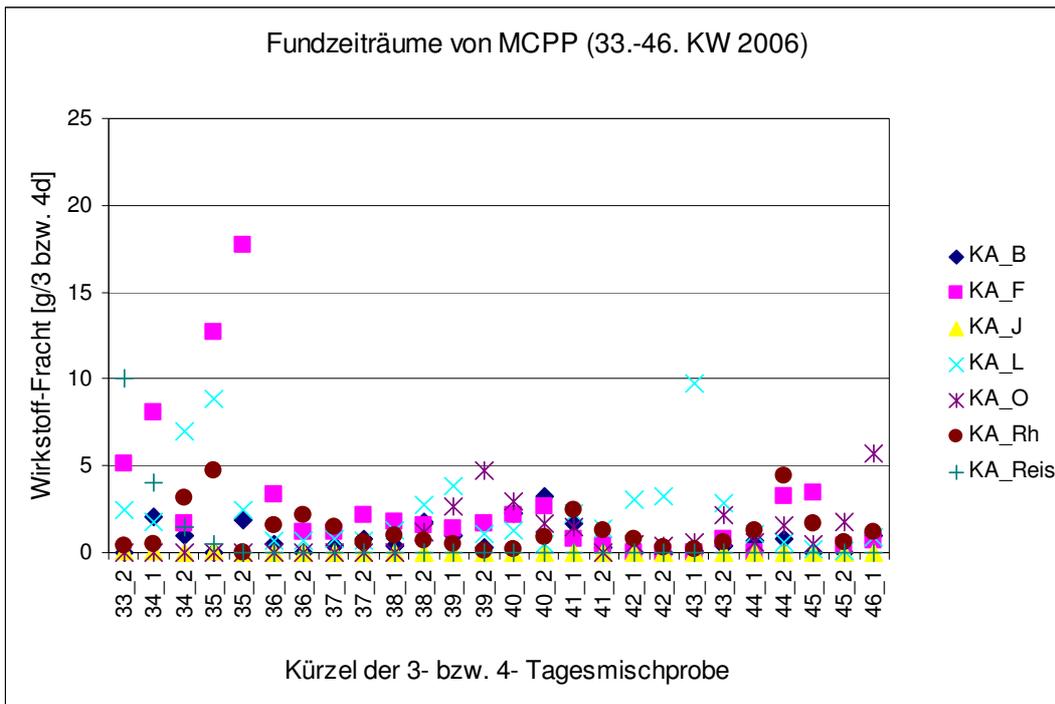


Abb. A-22. Fundzeiträume von MCPP im Ablauf von sieben Kläranlagen (Betrachtungszeitraum 33.–46. KW 2006)

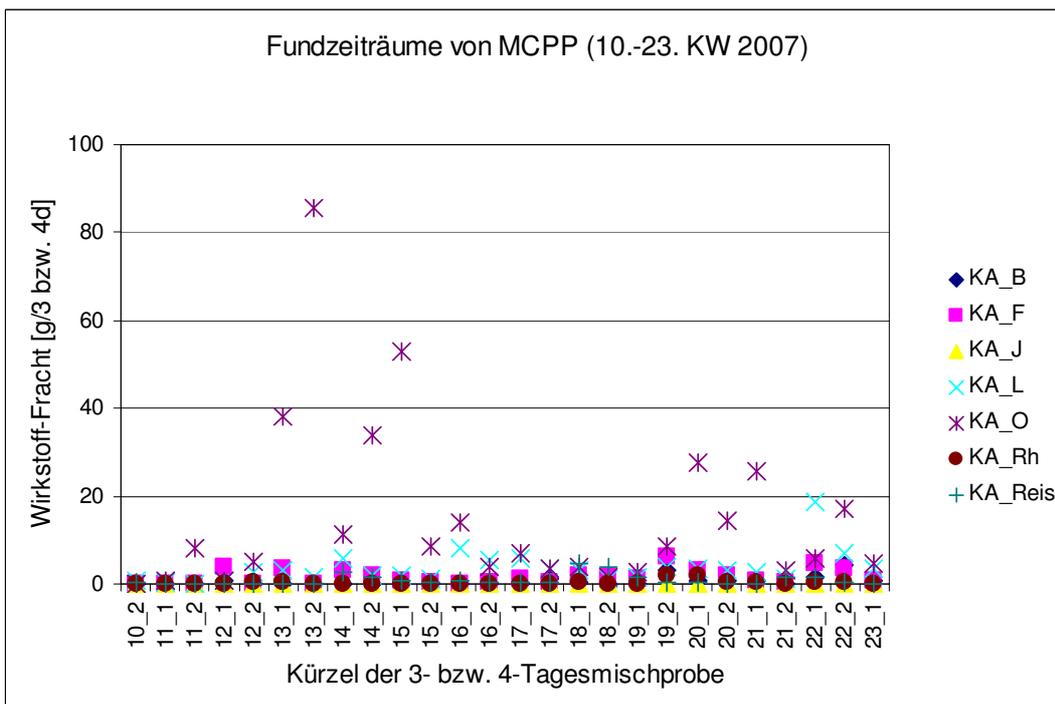


Abb. A-23. Fundzeiträume von MCPP im Ablauf von sechs Kläranlagen (Betrachtungszeitraum 10.–23. KW 2007)

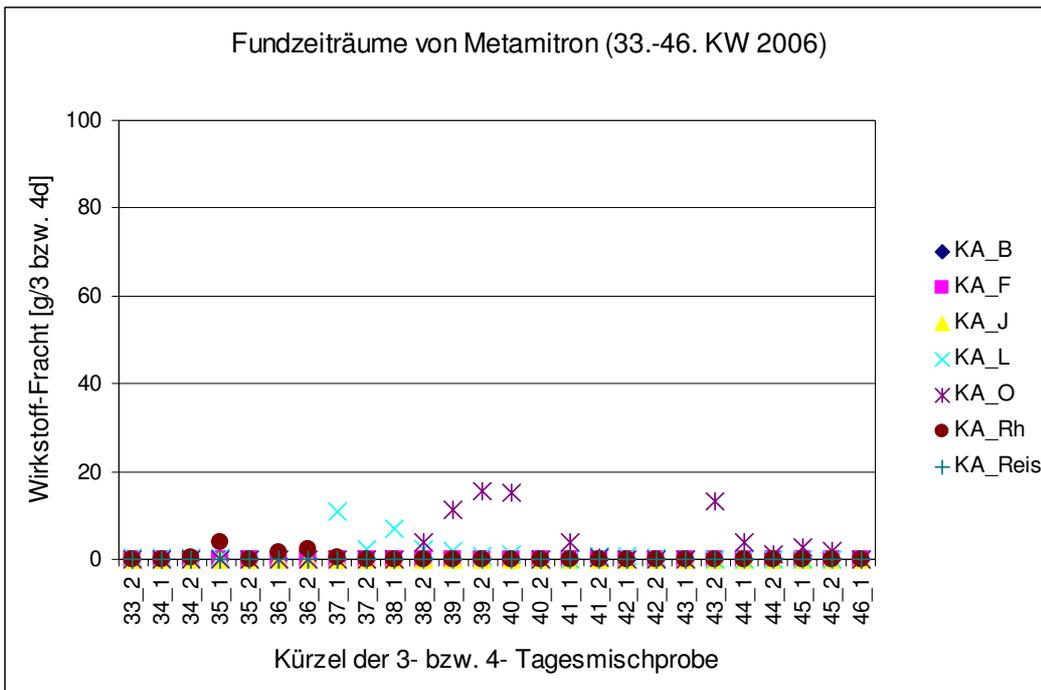


Abb. A-24. Fundzeiträume von Metamitron im Ablauf von drei Kläranlagen (Betrachtungszeitraum 33.–46. KW 2006)

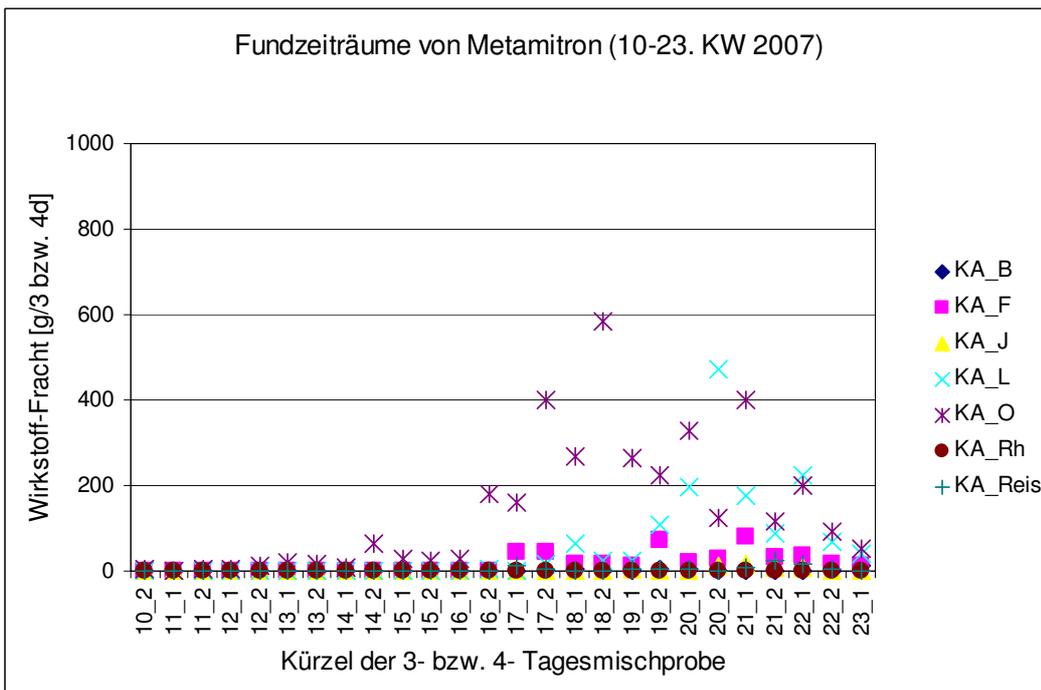


Abb. A-25. Fundzeiträume von Metamitron im Ablauf von sieben Kläranlagen (Betrachtungszeitraum 10.–23. KW 2007)

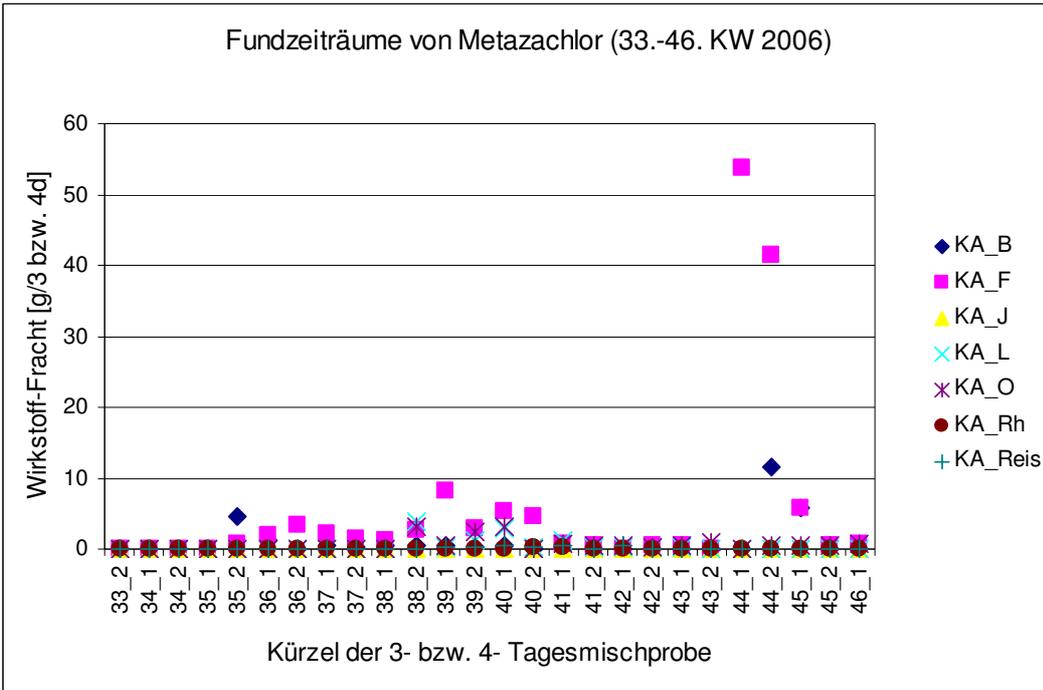


Abb. A-26. Fundzeiträume von Metazachlor im Ablauf von sechs Kläranlagen (Betrachtungszeitraum 33.–46. KW 2006)

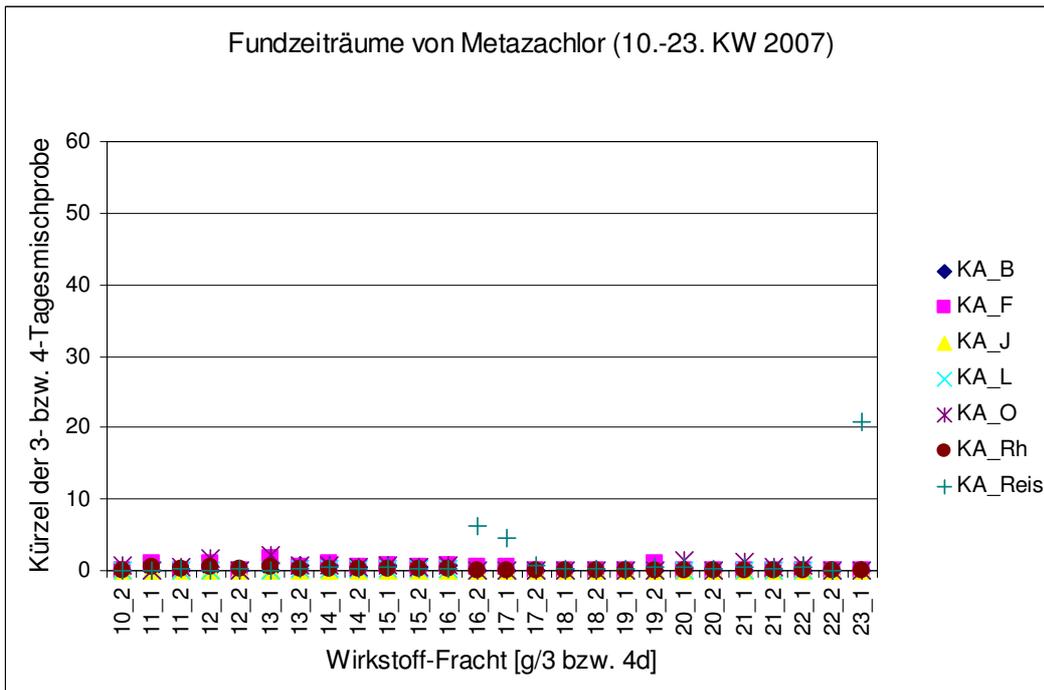


Abb. A-27. Fundzeiträume von Metazachlor im Ablauf von sieben Kläranlagen (Betrachtungszeitraum 10.–23. KW 2007)

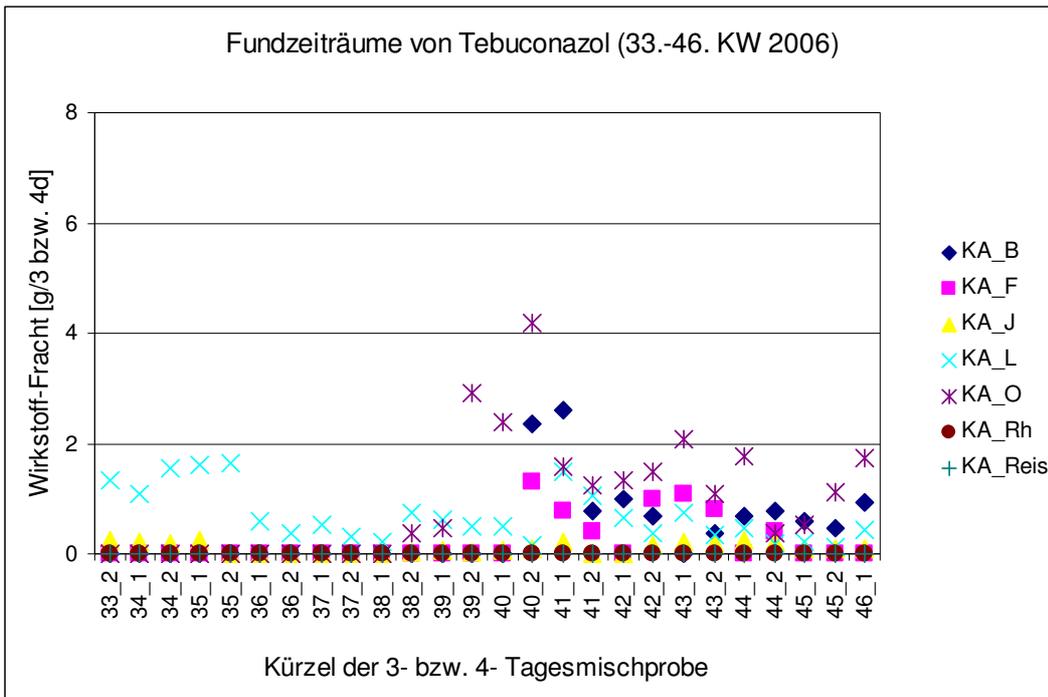


Abb. A-28. Fundzeiträume von Tebuconazol im Ablauf von fünf Kläranlagen (Betrachtungszeitraum 33.–46. KW 2006)

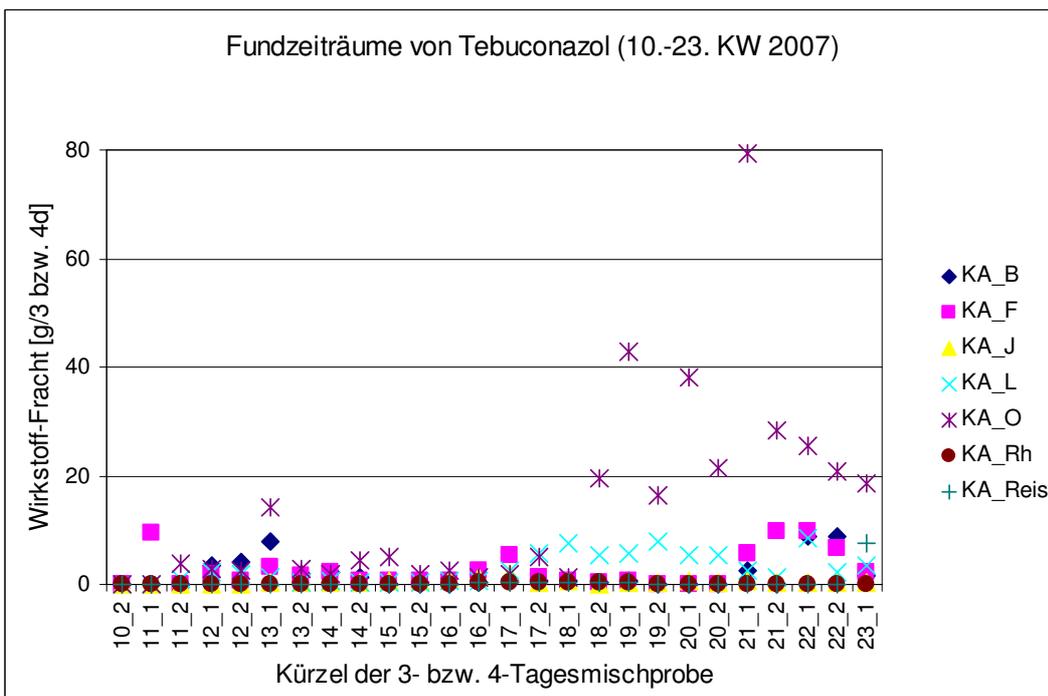


Abb. A-29. Fundzeiträume von Tebuconazol im Ablauf von sechs Kläranlagen (Betrachtungszeitraum 10.–23. KW 2007)

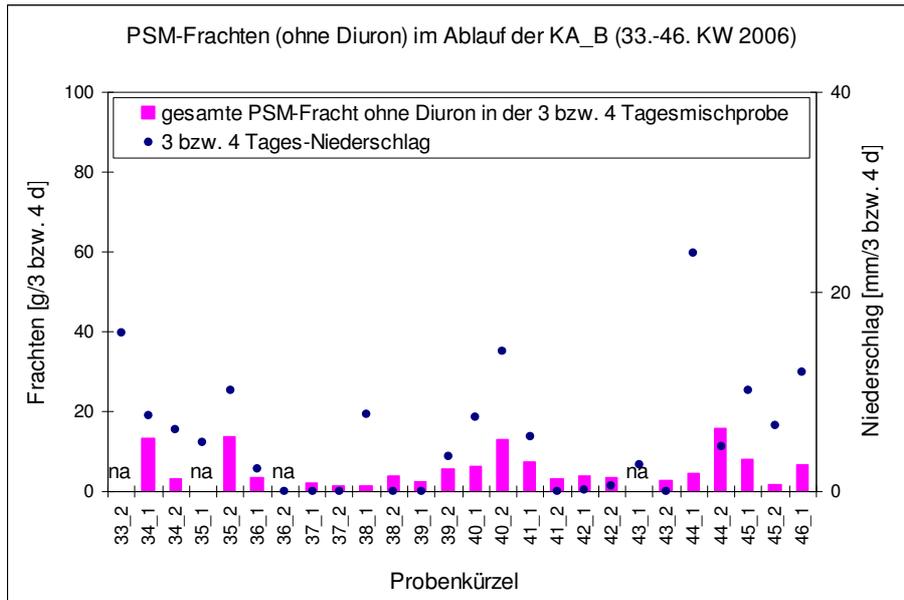


Abb. A-30. Summenfracht aller Wirkstoffe (26 Wirkstoffe und 2 Metabolite) im Ablauf der KA_B und Niederschlagssumme zum Zeitpunkt der Einzelproben (3-bzw. 4-Tages-Mischproben) im Beprobungszeitraum 33.-46. KW 2006 (n.a.= nicht analysiert)

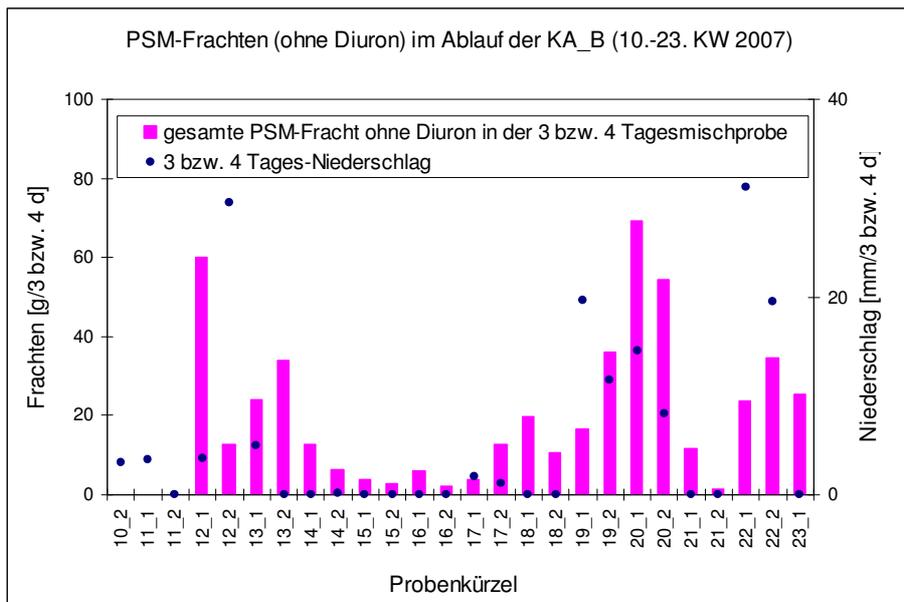


Abb. A-31. Summenfracht aller Wirkstoffe (26 Wirkstoffe und 2 Metabolite) im Ablauf der KA_B und Niederschlagssumme zum Zeitpunkt der Einzelproben (3-bzw. 4-Tages-Mischproben) im Beprobungszeitraum 10.-23. KW 2007

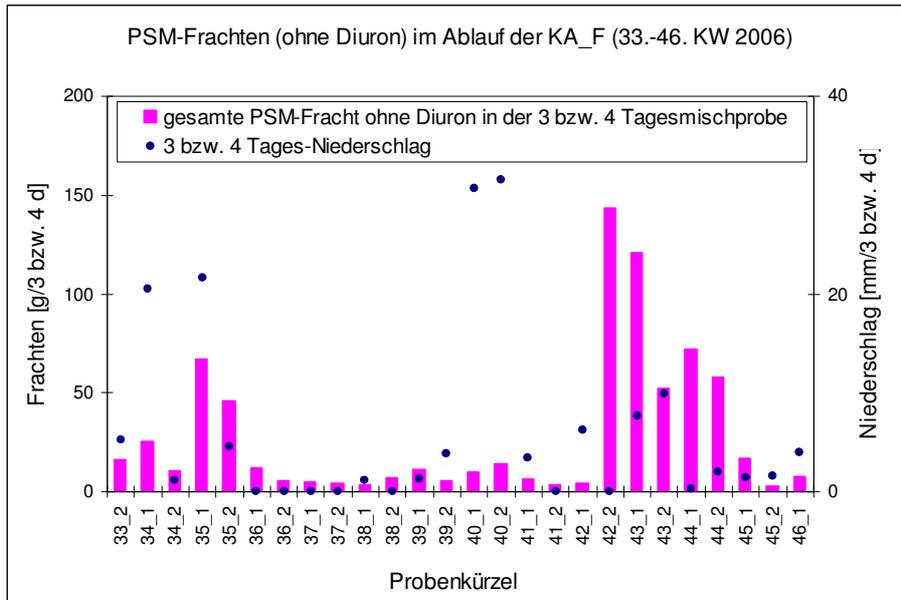


Abb. A-32. Summenfracht aller Wirkstoffe (26 Wirkstoffe und 2 Metabolite) im Ablauf der KA_F und Niederschlagssumme zum Zeitpunkt der Einzelproben (3-bzw. 4-Tages-Mischproben) im Beprobungszeitraum 33.-46. KW 2006

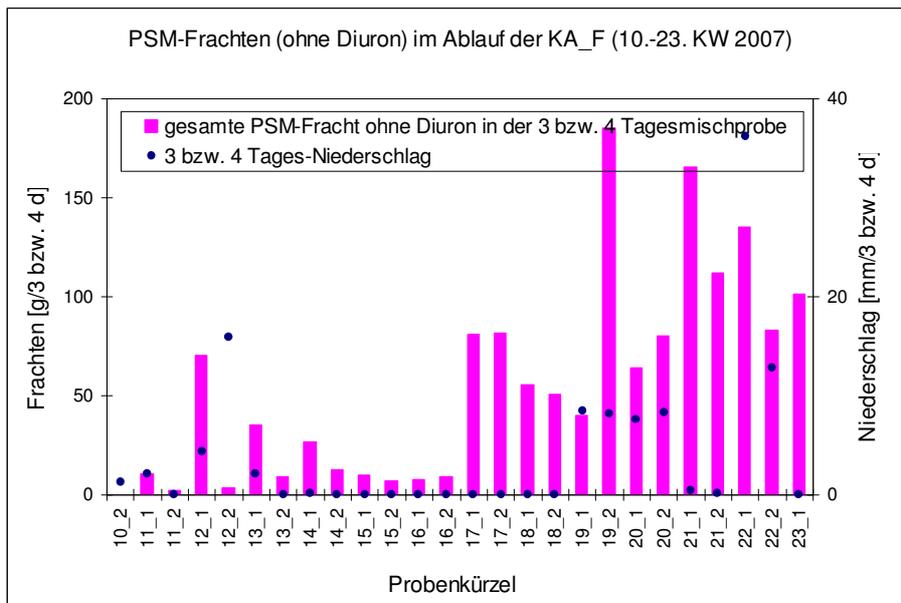


Abb. A-33. Summenfracht aller Wirkstoffe (26 Wirkstoffe und 2 Metabolite) im Ablauf der KA_F und Niederschlagssumme zum Zeitpunkt der Einzelproben (3-bzw. 4-Tages-Mischproben) im Beprobungszeitraum 10.-23. KW 2007

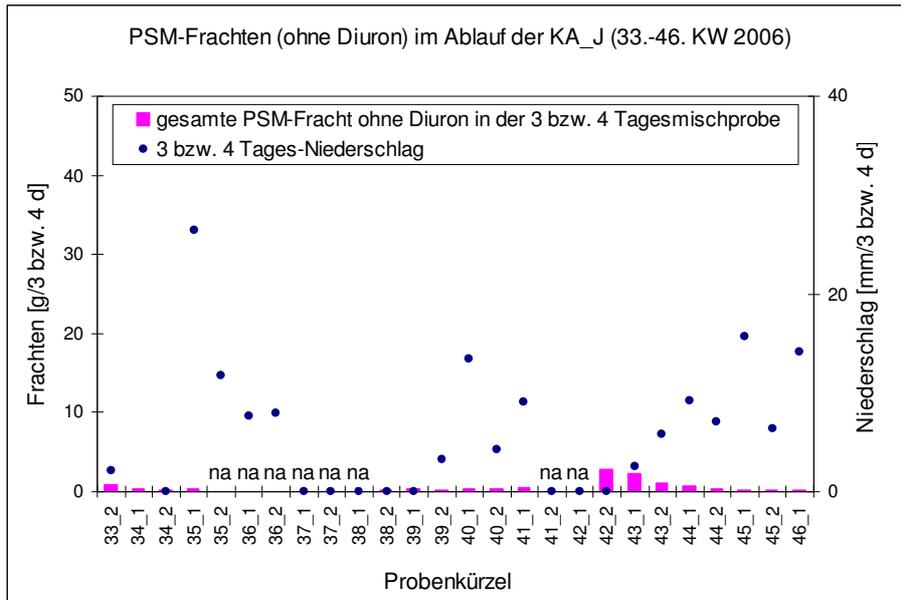


Abb. A-34. Summenfracht aller Wirkstoffe (26 Wirkstoffe und 2 Metabolite) im Ablauf der KA_J und Niederschlagssumme zum Zeitpunkt der Einzelproben (3-bzw. 4-Tages-Mischproben) im Beprobungszeitraum 33.-46. KW 2006 (n.a.= nicht analysiert)

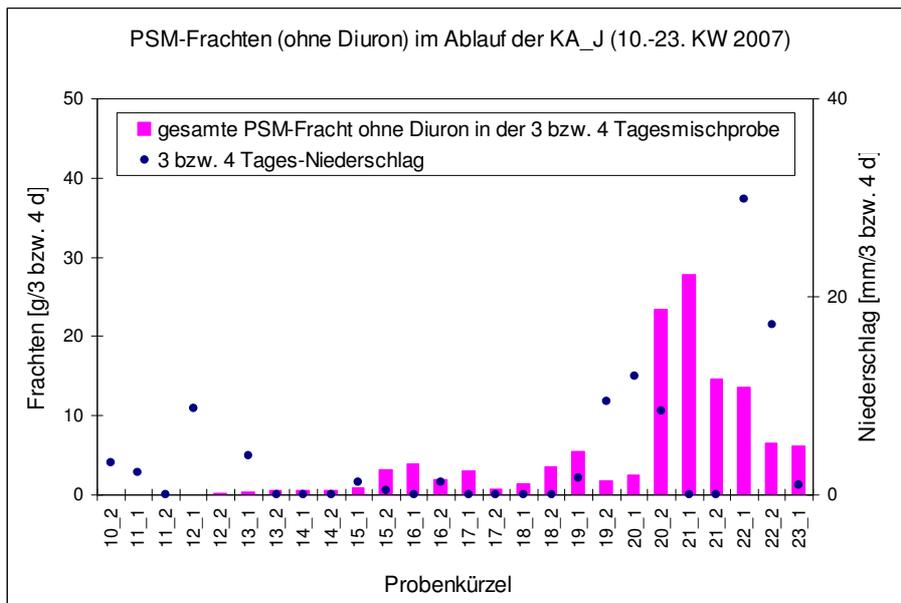


Abb. A-35. Summenfracht aller Wirkstoffe (26 Wirkstoffe und 2 Metabolite) im Ablauf der KA_J und Niederschlagssumme zum Zeitpunkt der Einzelproben (3-bzw. 4-Tages-Mischproben) im Beprobungszeitraum 10.-23. KW 2007 (n.a.= nicht analysiert)

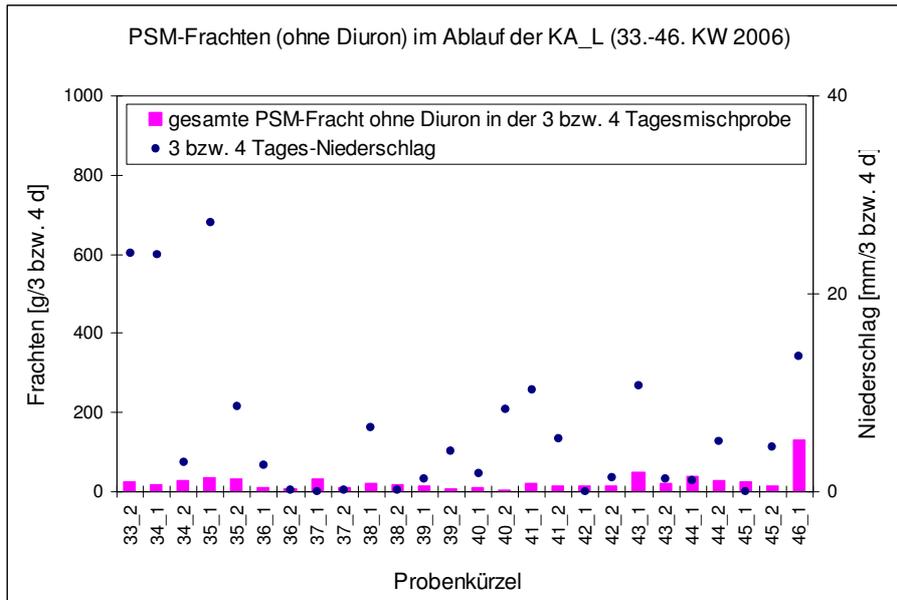


Abb. A-36. Summenfracht aller Wirkstoffe (26 Wirkstoffe und 2 Metabolite) im Ablauf der KA_L und Niederschlagssumme zum Zeitpunkt der Einzelproben (3-bzw. 4-Tages-Mischproben) im Beprobungszeitraum 33.-46. KW 2006

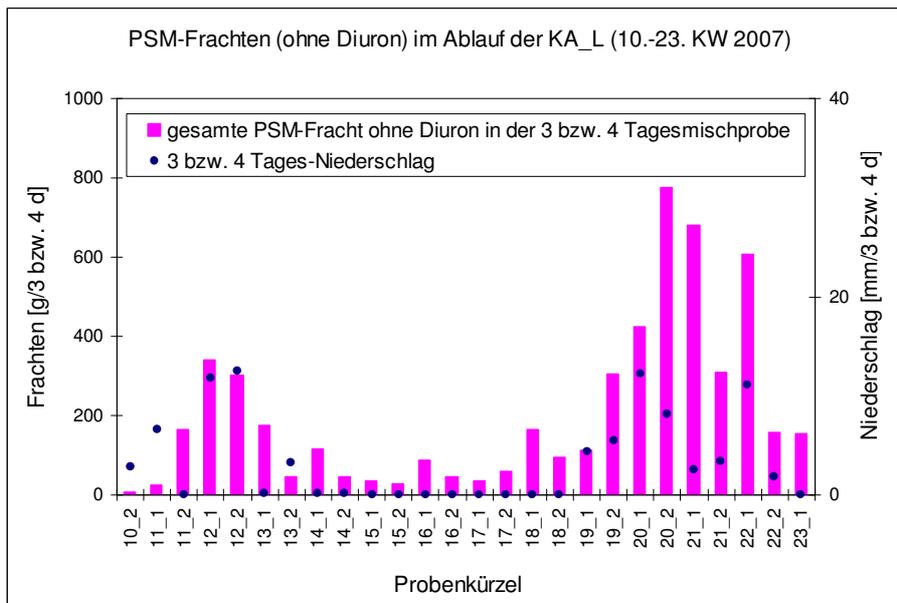


Abb. A-37. Summenfracht aller Wirkstoffe (26 Wirkstoffe und 2 Metabolite) im Ablauf der KA_L und Niederschlagssumme zum Zeitpunkt der Einzelproben (3-bzw. 4-Tages-Mischproben) im Beprobungszeitraum 10.-23. KW 2007

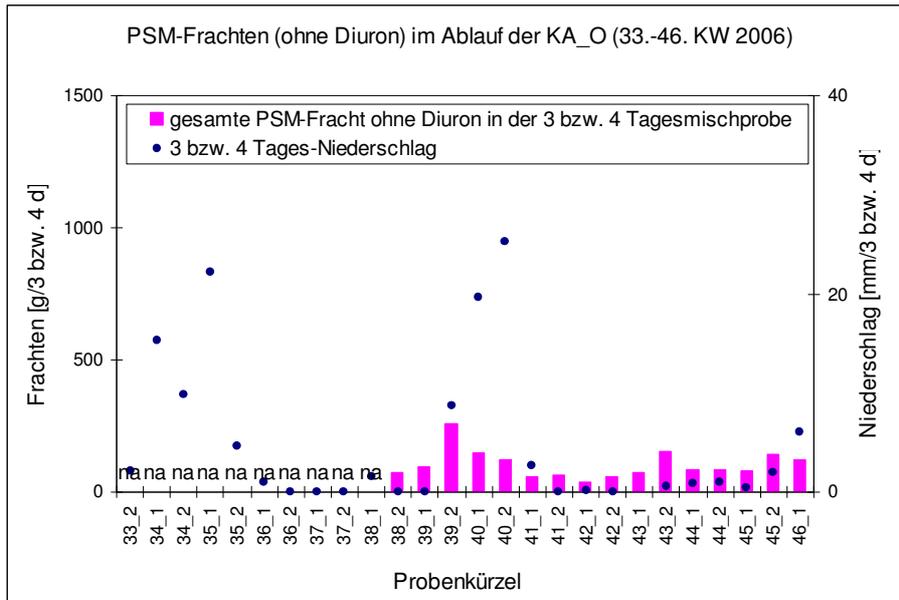


Abb. A-38. Summenfracht aller Wirkstoffe (26 Wirkstoffe und 2 Metabolite) im Ablauf der KA_O und Niederschlagssumme zum Zeitpunkt der Einzelproben (3-bzw. 4-Tages-Mischproben) im Beprobungszeitraum 33.-46. KW 2006 (n.a.= nicht analysiert)

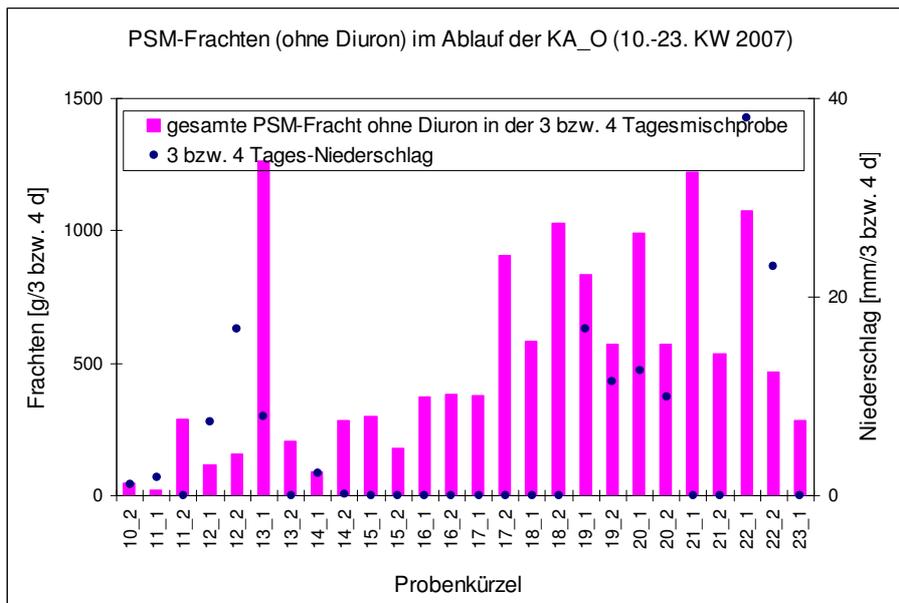


Abb. A-39. Summenfracht aller Wirkstoffe (26 Wirkstoffe und 2 Metabolite) im Ablauf der KA_O und Niederschlagssumme zum Zeitpunkt der Einzelproben (3-bzw. 4-Tages-Mischproben) im Beprobungszeitraum 10.-23. KW 2007

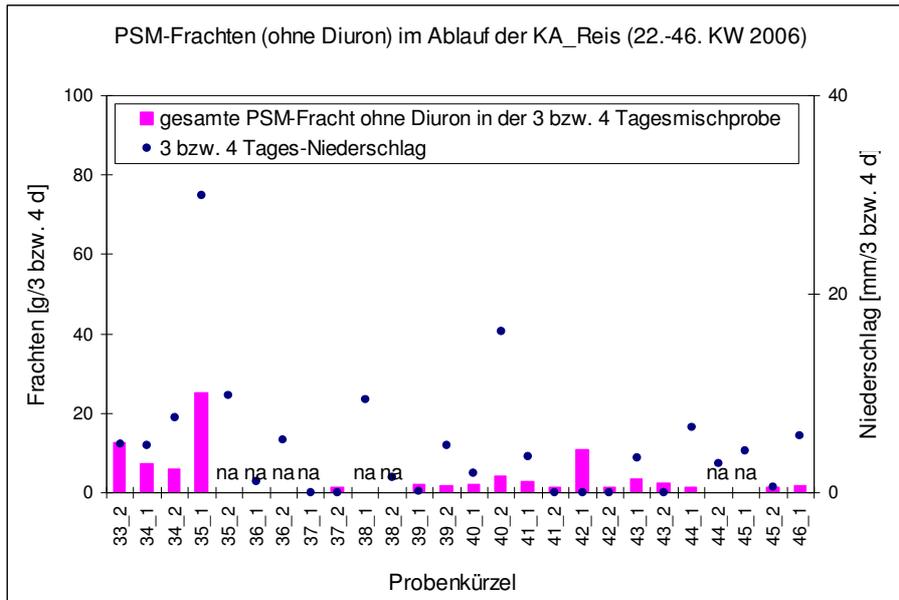


Abb. A-40. Summenfracht aller Wirkstoffe (26 Wirkstoffe und 2 Metabolite) im Ablauf der KA_Reis und Niederschlagssumme zum Zeitpunkt der Einzelproben (3-bzw. 4-Tages-Mischproben) im Beprobungszeitraum 33.-46. KW 2006 (n.a.= nicht analysiert)

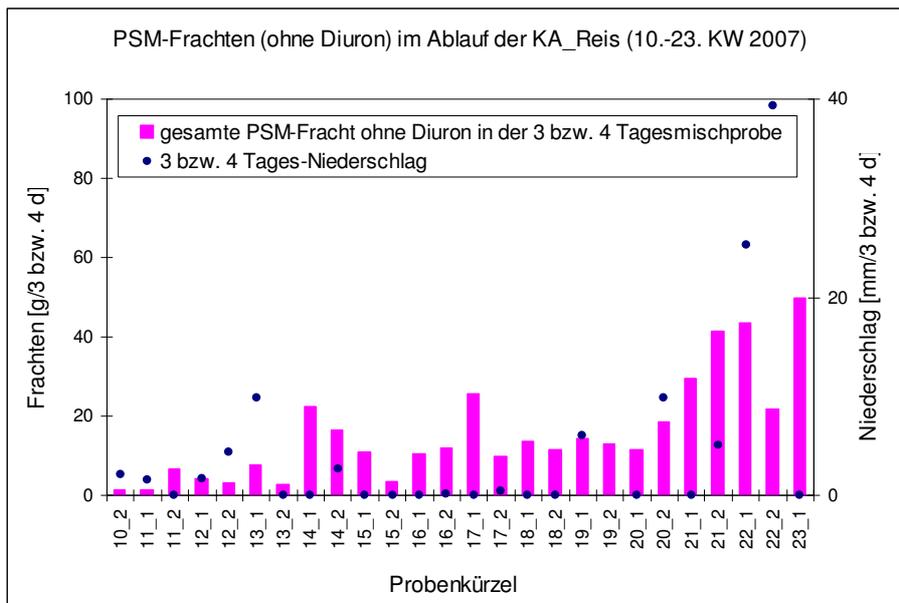


Abb. A-41. Summenfracht aller Wirkstoffe (26 Wirkstoffe und 2 Metabolite) im Ablauf der KA_Reis und Niederschlagssumme zum Zeitpunkt der Einzelproben (3-bzw. 4-Tages-Mischproben) im Beprobungszeitraum 10.-23. KW 2007

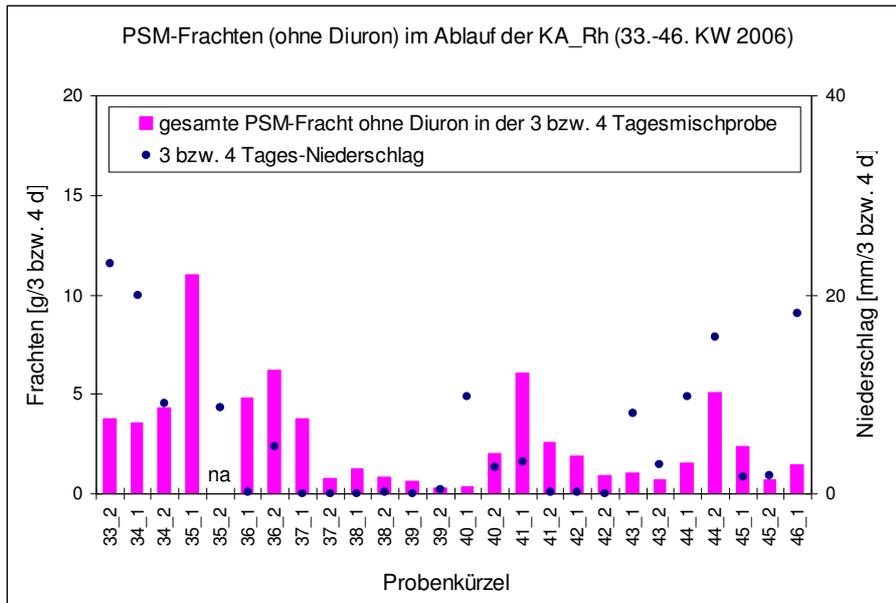


Abb. A-42. Summenfracht aller Wirkstoffe (26 Wirkstoffe und 2 Metabolite) im Ablauf der KA_Rh und Niederschlagssumme zum Zeitpunkt der Einzelproben (3-bzw. 4-Tages-Mischproben) im Beprobungszeitraum 33.-46. KW 2006 (n.a.= nicht analysiert)

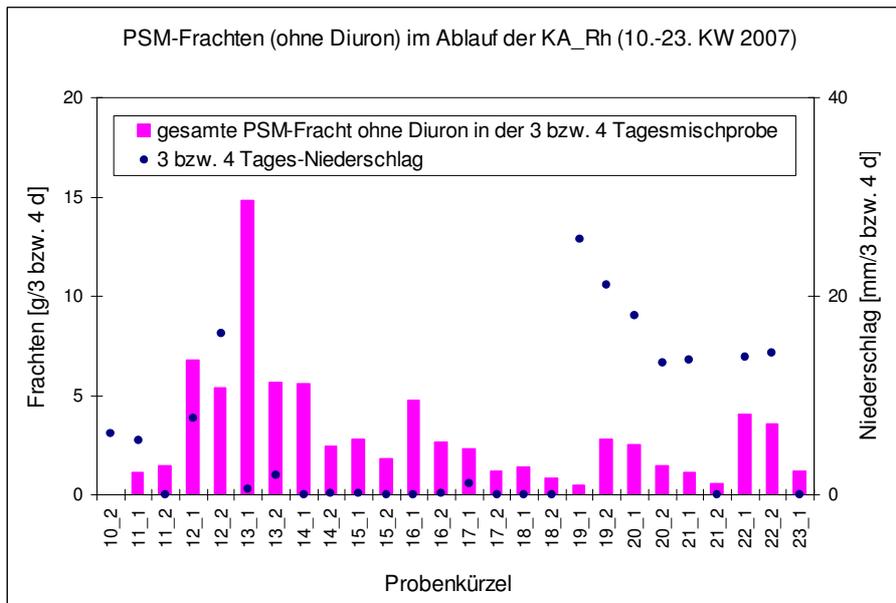


Abb. A-43. Summenfracht aller Wirkstoffe (26 Wirkstoffe und 2 Metabolite) im Ablauf der KA_Rh und Niederschlagssumme zum Zeitpunkt der Einzelproben (3-bzw. 4-Tages-Mischproben) im Beprobungszeitraum 10.-23. KW 2007

Tabellen

Tab. A-1. Maximalkonzentrationen [$\mu\text{g/l}$] von PSM-Wirkstoffen in Einzelproben im Ablauf von sieben Kläranlagen (33.-46. KW 2006)

	KA B	KA F	KA J	KA L	KA O	KA Reis	KA Rh
	Maximalwert [$\mu\text{g/l}$]						
	n=22	n=26	n=18	n=26	n=16	n=18	n=25
2,4 D							0,1
2,4 DP		0,1	1,1	0,1	0,2	0,1	
Amidosulfuron							
Atrazin		0,1		0,1	0,5	0,1	
Azoxystrobin		0,1		0,1			
Bentazon	0,1	0,1			0,9		
Bromacil							
Desamino-Metamitron		0,1		0,9	0,9		0,2
Desethyl-Atrazin		0,1				0,2	
Diflufenican	0,1				0,1		
Dimethoat							
Diuron	0,6	0,2	0,5	0,6	0,6	0,1	0,3
Epoxiconazole				0,2			
Ethofumesat				0,3	3,1		
Fenpropidin		0,1		0,1			
Fenpropimorph							
Flufenacet	0,1	0,2					
Isoproturon	0,1	9,3	0,1	7,2	7,3	0,5	0,1
MCPA	0,4	0,7	0,4	0,7	0,9	1,0	0,2
MCPP	0,1	0,6		1,1	0,2	0,7	0,4
Metamitron				1,3	0,6		0,3
Metazachlor	0,4	2,6		0,4	0,2	0,1	
Metribuzin			0,1	0,1			0,3
Propiconazol				0,2	0,1		
S-Metolachlor							
Spiroxamine			0,1	0,1	0,1		
Tebuconazol	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1		
Terbuthylazin	0,1			0,1			

Tab. A-2. Maximalkonzentrationen [$\mu\text{g/l}$] von PSM-Wirkstoffen in Einzelproben im Ablauf von sieben Kläranlagen (10.-23. KW 2007)

	KA_B	KA_F	KA_J	KA_L	KA_O	KA_Reis	KA_Rh
	Maximalwert [$\mu\text{g/l}$]						
	n=26	n=26	n=26	n=26	n=26	n=26	n=26
2,4 D	0,05	0,99	0,99	0,15	0,34		
2,4 DP	1,59	1,11		0,10	3,16	0,26	
Amidosulfuron		0,25			0,36		
Atrazin	0,22	0,72		8,70	0,45	0,09	
Azoxystrobin		0,07	0,14	0,11	0,06		
Bentazon	0,12	1,22	0,20		1,74		
Bromacil							
Desamino-Metamitron	0,12	1,08	2,72	8,50	20,20	0,32	
Desethyl-Atrazin		0,07				0,09	
Diflufenican					0,09		
Dimethoat	0,07			0,14	0,06		
Diuron	6,96	0,31	0,09	1,85	0,86	0,52	2,39
Epoxiconazole	0,29	0,17	0,07	0,19	0,69		
Ethofumesat	0,25	0,81	0,75	4,79	8,54	0,55	
Fenpropidin							
Fenpropimorph							
Flufenacet							0,06
Isoproturon	2,25	1,50	0,45	19,70	12,66	1,23	0,50
MCPA	0,77	0,64	0,14	27,26	7,98	0,09	0,26
MCPP	0,07	0,18		1,08	3,51	0,51	0,13
Metamitron	0,49	2,71	5,08	24,87	37,00	2,21	
Metazachlor					0,06	0,88	
Metribuzin	0,17	0,16		2,05	0,16		
Propiconazol	0,14		0,06	0,12	0,55		
S-Metolachlor		0,07		0,44	0,76	0,57	0,19
Spiroxamine	0,17	0,14	0,06		0,25	0,13	
Tebuconazol	0,31	0,64	0,95	1,05	1,87	0,32	
Terbuthylazin	0,06	0,21	0,26	3,21	3,86	0,58	0,16

Tab. A-3. Mittelwerte der Konzentrationen [$\mu\text{g/l}$] von PSM-Wirkstoffen in Einzelproben im Ablauf von sieben Kläranlagen (33.-46. KW 2006)

	KA_B	KA_F	KA_J	KA_L	KA_O	KA_Reis	KA_Rh
	Mittelwert [$\mu\text{g/l}$]						
	n=22	n=26	n=18	n=26	n=16	n=18	n=25
2,4 D							0,1
2,4 DP		0,1	0,4	0,1	0,1	0,1	
Amidosulfuron							
Atrazin		0,1		0,1	0,2	0,1	
Azoxystrobin		0,1		0,1			
Bentazon	0,1	0,1			0,3		
Bromacil							
Desamino-Metamitron		0,1		0,3	0,3		0,2
Desethyl-Atrazin		0,1				0,1	
Diflufenican	0,1				0,1		
Dimethoat							
Diuron	0,3	0,1	0,2	0,3	0,2	0,1	0,1
Epoxiconazole				0,1			
Ethofumesat				0,2	0,5		
Fenpropidin		0,1		0,1			
Fenpropimorph							
Flufenacet	0,1	0,2					
Isoproturon	0,1	1,4	0,1	1,1	2,5	0,5	0,1
MCPA	0,2	0,2	0,3	0,2	0,2	0,5	0,1
MCPP	0,1	0,2		0,3	0,1	0,4	0,2
Metamitron				0,3	0,3		0,2
Metazachlor	0,2	0,5		0,2	0,1	0,1	
Metribuzin			0,1	0,1			0,2
Propiconazol				0,1	0,1		
S-Metolachlor							
Spiroxamine			0,1	0,1	0,1		
Tebuconazol	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1		
Terbutylazin	0,1			0,1			

Tab. A-4. Mittelwerte der Konzentrationen [$\mu\text{g/l}$] von PSM-Wirkstoffen in Einzelproben im Ablauf von sieben Kläranlagen (10.-23. KW 2007)

	KA_B	KA_F	KA_J	KA_L	KA_O	KA_Reis	KA_Rh
	Mittelwert [$\mu\text{g/l}$]						
	n=26	n=26	n=26	n=26	n=26	n=26	n=26
2,4 D	0,1	0,6	0,4	0,1	0,1		
2,4 DP	1,0	0,3		0,1	1,0	0,2	
Amidosulfuron		0,2			0,1		
Atrazin	0,1	0,3		1,2	0,2	0,1	
Azoxystrobin		0,1	0,1	0,1	0,1		
Bentazon	0,1	0,2	0,1		0,3		
Bromacil							
Desamino-Metamitron	0,1	0,5	1,1	2,7	3,7	0,2	
Desethyl-Atrazin		0,1				0,1	
Diflufenican					0,1		
Dimethoat	0,1			0,1	0,1		
Diuron	1,1	0,1	0,1	0,9	0,2	0,2	0,6
Epoxiconazole	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2		
Ethofumesat	0,1	0,5	0,3	1,5	2,1	0,2	
Fenpropidin							
Fenpropimorph							
Flufenacet							0,1
Isoproturon	0,4	0,3	0,4	5,0	2,3	0,3	0,2
MCPA	0,2	0,3	0,1	2,9	1,3	0,1	0,2
MCPP	0,1	0,1		0,4	0,6	0,2	0,1
Metamitron	0,2	1,3	1,4	5,8	5,6	0,5	
Metazachlor					0,1	0,5	
Metribuzin	0,1	0,1		0,6	0,1		
Propiconazol	0,1		0,1	0,1	0,1		
S-Metolachlor		0,1		0,4	0,3	0,2	0,1
Spiroxamine	0,1	0,1	0,1		0,2	0,1	
Tebuconazol	0,1	0,2	0,3	0,3	0,5	0,3	
Terbutylazin	0,1	0,1	0,2	0,7	1,1	0,3	0,1

Tab. A-5. Gesamtfrachten [g] von PSM-Wirkstoffen im Ablauf von sieben Kläranlagen (33.-46. KW 2006)

	KA_B	KA_F	KA_J	KA_L	KA_O	KA_Reis	KA_Rh
	Gesamtfracht [g]						
	n=22	n=26	n=18	n=26	n=16	n=18	n=25
2,4 D							1,7
2,4 DP		6,4	4,2	2,4	40,1	2,6	
Amidosulfuron							
Atrazin		1,2		2,6	36,9	10,5	
Azoxystrobin		1,2	0,1	5,7			
Bentazon	6,8	22,8			137,7	0,1	0,3
Bromacil							
Desamino-Metamitron		8,7		44,3	131,1	0,8	4,7
Desethyl-Atrazin		2,7				19,3	
Diflufenican	8,3		0,1		20,6		0,0
Dimethoat							
Diuron	35,4	46,2	4,0	87,1	50,0	3,6	26,5
Epoxiconazole				16,3	4,7		
Ethofumesat				54,5	168,5		
Fenpropidin		5,9	0,1	10,6		0,7	
Fenpropimorph			0,1	0,2	0,4	0,3	0,2
Flufenacet	2,8	8,0			2,0		
Isoproturon	20,6	392,9	2,1	292,2	896,4	8,6	6,7
MCPA	15,5	61,8	1,1	57,3	53,4	26,3	8,2
MCPP	20,2	74,1	0,2	61,4	28,5	16,1	32,6
Metamitron				29,6	74,1		8,3
Metazachlor	25,9	138,3		10,1	15,0	2,4	0,4
Metribuzin			0,1	1,8			4,6
Propiconazol	8,4	1,2	0,5	24,5	8,8	1,0	
S-Metolachlor							
Spiroxamine	0,7		0,4	6,2	1,2	0,3	0,2
Tebuconazol	11,3	5,8	2,7	17,8	24,6		
Terbuthylazin	6,7			3,4			

Tab. A-6. Gesamtfrachten [g] von PSM-Wirkstoffen im Ablauf von sieben Kläranlagen (10.-23. KW 2007)

	KA_B	KA_F	KA_J	KA_L	KA_O	KA_Reis	KA_Rh
	Gesamtfracht [g]						
	n=26	n=26	n=26	n=26	n=26	n=26	n=26
2,4 D	4,7	26,0	8,9	7,3	43,6	1,3	1,5
2,4 DP	99,4	55,1	0,2	4,4	588,9	5,4	1,3
Amidosulfuron		16,0			32,0		
Atrazin	11,5	34,0		226,1	59,5	13,5	
Azoxystrobin	4,3	6,8	1,6	12,0	3,7		3,2
Bentazon	11,7	57,2	2,3		228,5	0,4	
Bromacil							
Desamino-Metamitron	10,3	165,3	28,4	613,9	2.302,3	21,1	
Desethyl-Atrazin		1,7		0,3		13,0	
Diflufenican					7,1		
Dimethoat	4,5			3,6	5,8		
Diuron	650,3	55,5	0,8	224,3	202,6	50,5	197,1
Epoxiconazole	30,5	27,7	1,4	13,8	75,2		
Ethofumesat	16,2	154,6	8,3	432,4	1.766,1	35,9	
Fenpropidin							
Fenpropimorph					1,2		
Flufenacet				0,3		0,2	4,1
Isoproturon	99,2	172,5	3,8	1.227,6	2.388,9	83,7	31,2
MCPA	47,0	114,8	2,6	836,9	813,9	6,2	6,6
MCPP	14,3	41,7		93,1	388,1	21,5	6,6
Metamitron	28,0	427,5	49,2	1.508,7	3.610,0	74,8	1,5
Metazachlor	3,8	9,2	0,4	1,1	12,2	37,7	3,2
Metribuzin	19,1	10,3	0,0	152,4	8,2		
Propiconazol	16,0	3,9	0,9	15,3	80,3	4,4	0,2
S-Metolachlor		2,6	0,3	6,0	42,8	27,6	9,9
Spiroxamine	10,2	10,6	0,4	2,6	60,6	8,7	
Tebuconazol	45,3	65,9	11,6	73,4	362,1	9,1	1,2
Terbutylazin	9,4	36,9	2,3	74,6	267,7	42,1	8,6

Tab. A-7. Einzelwirkstofffrachten [g] pro Spritzgerät im Ablauf von sieben Kläranlagen
(33.-46. KW 2006)

	KA_B	KA_F	KA_J	KA_L	KA_O	KA_Reis	KA_Rh
	Einzelwirkstofffracht [g/Spritzgerät]						
	n=22	n=26	n=18	n=26	n=16	n=18	n=25
2,4 D	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02
2,4 DP	0,00	0,06	0,46	0,04	0,08	0,01	0,00
Amidosulfuron	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Atrazin	0,00	0,01	0,00	0,04	0,08	0,04	0,00
Azoxystrobin	0,00	0,01	0,01	0,09	0,00	0,00	0,00
Bentazon	1,36	0,21	0,00	0,00	0,29	0,00	0,00
Bromacil	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Desamino- Metamitron	0,00	0,08	0,00	0,69	0,27	0,00	0,07
Desethyl-Atrazin	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,07	0,00
Diflufenican	1,65	0,00	0,01	0,00	0,04	0,00	0,00
Dimethoat	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Diuron	7,08	0,42	0,44	1,36	0,10	0,01	0,37
Epoxiconazole	0,00	0,00	0,00	0,26	0,01	0,00	0,00
Ethofumesat	0,00	0,00	0,00	0,85	0,35	0,00	0,00
Fenpropidin	0,00	0,05	0,02	0,17	0,00	0,00	0,00
Fenpropimorph	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
Flufenacet	0,55	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Isoproturon	4,13	3,54	0,23	4,57	1,86	0,03	0,09
MCPA	3,11	0,56	0,13	0,90	0,11	0,09	0,11
MCPP	4,05	0,67	0,02	0,96	0,06	0,06	0,45
Metamitron	0,00	0,00	0,00	0,46	0,15	0,00	0,11
Metazachlor	5,17	1,25	0,00	0,16	0,03	0,01	0,01
Metribuzin	0,00	0,00	0,01	0,03	0,00	0,00	0,06
Propiconazol	1,68	0,01	0,06	0,38	0,02	0,00	0,00
S-Metolachlor	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Spiroxamine	0,15	0,00	0,04	0,10	0,00	0,00	0,00
Tebuconazol	2,26	0,05	0,30	0,28	0,05	0,00	0,00
Terbuthylazin	1,35	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00

Tab. A-8. Einzelwirkstofffrachten [g/Spritzgerät] im Ablauf von sieben Kläranlagen (10.-23. KW 2007)

	KA_B	KA_F	KA_J	KA_L	KA_O	KA_Reis	KA_Rh
	Einzelwirkstofffracht [g/Spritzgerät]						
	n=26	n=26	n=26	n=26	n=26	n=26	n=26
2,4 D	0,6	0,2	1,0	0,1	0,1	0,0	0,0
2,4 DP	19,9	0,5	0,0	0,1	1,2	0,0	0,0
Amidosulfuron	0,0	0,1	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0
Atrazin	2,1	0,3	0,0	3,5	0,1	0,0	0,0
Azoxystrobin	0,7	0,1	0,2	0,2	0,0	0,0	0,0
Bentazon	2,3	0,5	0,3	0,0	0,5	0,0	0,0
Bromacil	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Desamino-Metamitron	2,1	1,5	3,2	9,6	4,8	0,1	0,0
Desethyl-Atrazin	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Diflufenican	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Dimethoat	0,9	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0
Diuron	127,8	0,5	0,1	3,5	0,4	0,2	2,7
Epoxiconazole	6,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,0	0,0
Ethofumesat	3,2	1,4	0,9	6,8	3,7	0,1	0,0
Fenpropidin	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Fenpropimorph	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Flufenacet	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1
Isoproturon	3,4	1,1	0,4	19,2	5,0	0,3	0,4
MCPA	4,6	1,0	0,3	13,1	1,7	0,0	0,1
MCPP	2,7	0,3	0,0	1,5	0,8	0,1	0,1
Metamitron	5,4	3,9	5,5	23,6	7,5	0,3	0,0
Metazachlor	0,6	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0
Metribuzin	3,8	0,1	0,0	2,4	0,0	0,0	0,0
Propiconazol	2,9	0,0	0,1	0,2	0,2	0,0	0,0
S-Metolachlor	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1
Spiroxamine	2,0	0,1	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0
Tebuconazol	5,6	0,5	1,3	1,1	0,8	0,0	0,0
Terbuthylazin	1,7	0,3	0,3	1,2	0,6	0,1	0,1

Tab. A-9. Frachtdominierende Wirkstoffe im Ablauf der KA_B (33.-46. KW 2006; n=22)

Gesamtfracht (mit Diuron): 162,6 g		Gesamtfracht (ohne Diuron): 127,2 g	
Wirkstoffe	Anteil an Gesamtfracht [%]	Wirkstoffe	Anteil an Gesamtfracht [%]
Diuron	21,8	Metazachlor	20,3
Metazachlor	15,9	Isoproturon	16,2
Isoproturon	12,7	MCP	15,9
MCP	12,4	MCPA	12,2
MCPA	9,6	Tebuconazol	8,9
Tebuconazol	6,9	Propiconazol	6,6
Propiconazol	5,2	Diflufenican	6,5
Diflufenican	5,1	Terbuthylazin	5,3
Bentazon	4,2	Bentazon	5,3
Terbuthylazin	4,1		
Summe	93,8 %	Summe	97,2 %

Tab. A-10. Frachtdominierende Wirkstoffe im Ablauf der KA_B (10.-23. KW 2007; n=26)

Gesamtfracht (mit Diuron): 1.135,7 g		Gesamtfracht (ohne Diuron): 485,4 g	
Wirkstoffe	Anteil an Gesamtfracht [%]	Wirkstoffe	Anteil an Gesamtfracht [%]
Diuron	57,3	2,4 DP	20,5
2,4 DP	8,7	Isoproturon	20,4
Isoproturon	8,7	MCPA	9,7
MCPA	4,1	Tebuconazol	9,3
Tebuconazol	4,0	Epoxiconazol	6,3
Epoxiconazol	2,7	Metamitron	5,8
Metamitron	2,5	Metribuzin	3,9
		Ethofumesat	3,3
		Propiconazol	3,3
		MCP	2,9
		Bentazon	2,4
		Atrazin	2,4
Summe	88,0 %	Summe	87,8 %

Tab. A-11. Frachtdominierende Wirkstoffe im Ablauf der KA_F (33.-46. KW 2006; n=26)

Gesamtfracht (mit Diuron): 777,1 g		Gesamtfracht (ohne Diuron): 731,0 g	
Wirkstoffe	Anteil an Gesamtfracht [%]	Wirkstoffe	Anteil an Gesamtfracht [%]
Isoproturon	50,6	Isoproturon	53,8
Metazachlor	17,8	Metazachlor	18,9
MCP	9,5	MCP	10,1
MCPA	7,9	MCPA	8,4
Diuron	5,9		
Summe	91,7 %	Summe	91,2 %

Tab. A-12. Frachtdominierende Wirkstoffe im Ablauf der KA_F (10.-23. KW 2007; n=26)

Gesamtfracht (mit Diuron): 1.495,7 g		Gesamtfracht (ohne Diuron): 1.427,3 g	
Wirkstoffe	Anteil an Gesamtfracht [%]	Wirkstoffe	Anteil an Gesamtfracht [%]
Metamitron	28,6	Metamitron	30,0
Isoproturon	11,5	Isoproturon	12,1
Desamino-Metamitron	11,0	Desamino-Metamitron	11,6
Ethofumesat	10,3	Ethofumesat	10,8
MCPA	7,7	MCPA	8,0
Tebuconazol	4,4	Tebuconazol	4,6
Bentazon	3,8	Bentazon	4,0
Diuron	3,7	MCP	2,9
2,4 DP	3,7	Terbuthylazin	2,6
Terbuthylazin	2,5	Atrazin	2,4
Atrazin	2,3		
Summe	89,5 %	Summe	90,8 %

Tab. A-13. Frachtdominierende Wirkstoffe im Ablauf der KA_J (33.-46. KW 2006; n=18)

Gesamtfracht (mit Diuron): 15,6 g		Gesamtfracht (ohne Diuron): 11,6 g	
Wirkstoffe	Anteil an Gesamtfracht [%]	Wirkstoffe	Anteil an Gesamtfracht [%]
2,4 DP	26,8	2,4 DP	35,9
Diuron	25,4	Tebuconazol	22,9
Tebuconazol	17,1	Isoproturon	17,9
Isoproturon	13,4	MCPA	9,8
MCPA	7,3	Propiconazol	4,7
Propiconazol	3,5	Spiroxamine	3,2
Spiroxamine	2,4		
Summe	95,9 %	Summe	94,4 %

Tab. A-14. Frachtdominierende Wirkstoffe im Ablauf der KA_J (10.-23. KW 2007; n=26)

Gesamtfracht (mit Diuron): 123,3 g		Gesamtfracht (ohne Diuron): 122,5 g	
Wirkstoffe	Anteil an Gesamtfracht [%]	Wirkstoffe	Anteil an Gesamtfracht [%]
Metamitron	39,9	Metamitron	40,2
Desamino-Metamitron	23,0	Desamino-Metamitron	23,1
Tebuconazol	9,4	Tebuconazol	9,5
2,4 D	7,2	2,4 D	7,3
Ethofumesat	6,7	Ethofumesat	6,8
Isoproturon	3,1	Isoproturon	3,1
MCPA	2,1		
Diuron	0,7		
Summe	92,1 %	Summe	90 %

Tab. A-15. Frachtdominierende Wirkstoffe im Ablauf der KA_L (33.-46. KW 2006; n=26)

Gesamtfracht (mit Diuron): 728,1 g		Gesamtfracht (ohne Diuron): 641,1 g	
Wirkstoffe	Anteil an Gesamtfracht [%]	Wirkstoffe	Anteil an Gesamtfracht [%]
Isoproturon	40,1	Isoproturon	45,6
Diuron	12,0	MCPD	9,6
MCPD	8,4	MCPA	8,9
MCPA	7,9	Ethofumesat	8,5
Ethofumesat	7,5	Desamino-Metamitron	6,9
Desamino-Metamitron	6,1	Propiconazol	3,8
Summe	82 %	Summe	83,3 %

Tab. A-16. Frachtdominierende Wirkstoffe im Ablauf der KA_L (10.-23. KW 2007; n=26)

Gesamtfracht (mit Diuron): 5.529,9 g		Gesamtfracht (ohne Diuron): 5.305,6 g	
Wirkstoffe	Anteil an Gesamtfracht [%]	Wirkstoffe	Anteil an Gesamtfracht [%]
Metamitron	27,3	Metamitron	28,4
Isoproturon	22,2	Isoproturon	23,1
MCPA	15,1	MCPA	15,8
Desamino-Metamitron	11,1	Desamino-Metamitron	11,6
Ethofumesat	7,8	Ethofumesat	8,2
Diuron	4,1	Atrazin	4,3
Atrazin	4,1		
Summe	91,7 %	Summe	91,4 %

Tab. A-17. Frachtdominierende Wirkstoffe im Ablauf der KA_O (33.-46. KW 2006; n=16)

Gesamtfracht (mit Diuron): 1694,0 g		Gesamtfracht (ohne Diuron): 1644,1 g	
Wirkstoffe	Anteil an Gesamtfracht [%]	Wirkstoffe	Anteil an Gesamtfracht [%]
Isoproturon	52,9	Isoproturon	54,5
Ethofumesat	9,9	Ethofumesat	10,2
Bentazon	8,1	Bentazon	8,4
Desamino-Metamitron	7,7	Desamino-Metamitron	8,0
Metamitron	4,4		
Diuron	2,9		
Summe	85,9 %	Summe	81,1 %

Tab. A-18. Frachtdominierende Wirkstoffe im Ablauf der KA_O (10.-23. KW 2007; n=26)

Gesamtfracht (mit Diuron): 13.351,8 g		Gesamtfracht (ohne Diuron): 13.148,7 g	
Wirkstoffe	Anteil an Gesamtfracht [%]	Wirkstoffe	Anteil an Gesamtfracht [%]
Metamitron	27,0	Metamitron	27,5
Isoproturon	17,9	Isoproturon	18,2
Desamino-Metamitron	17,2	Desamino-Metamitron	17,5
Ethofumesat	13,2	Ethofumesat	13,4
MCPA	6,1	MCPA	6,2
2,4 DP	4,4	2,4 DP	4,5
MCPP	2,9	MCPP	3,0
Diuron	1,5		
(Atrazin)	(0,4)	(Atrazin)	(0,5)
Summe	90,6 %	Summe	90,3 %

Tab. A-19. Frachtdominierende Wirkstoffe im Ablauf der KA_Reis (33.-46. KW 2006; n=18)

Gesamtfracht (mit Diuron): 92,6 g		Gesamtfracht (ohne Diuron): 89,0 g	
Wirkstoffe	Anteil an Gesamtfracht [%]	Wirkstoffe	Anteil an Gesamtfracht [%]
MCPA	28,4	MCPA	29,6
Desethyl-Atrazin	20,9	Desethyl-Atrazin	21,7
MCPP	17,3	MCPP	18,0
Atrazin	11,3	Atrazin	11,8
Isoproturon	9,3	Isoproturon	9,6
Diuron	3,9		
Summe	91,1 %	Summe	90,7 %

Tab. A-20. Frachtdominierende Wirkstoffe im Ablauf der KA_Reis (10.-23. KW 2007; n=26)

Gesamtfracht (mit Diuron): 456,9 g		Gesamtfracht (ohne Diuron): 406,4 g	
Wirkstoffe	Anteil an Gesamtfracht [%]	Wirkstoffe	Anteil an Gesamtfracht [%]
Isoproturon	18,3	Isoproturon	20,6
Metamitron	16,4	Metamitron	18,4
Diuron	11,0	Terbuthylazin	10,4
Terbuthylazin	9,2	Metazachlor	9,3
Metazachlor	8,3	Ethofumesat	8,8
Ethofumesat	7,9	S-Metolachlor	6,8
S-Metolachlor	6,0	MCPP	5,3
MCPP	4,7	Desamino-Metamitron	5,2
Desamino-Metamitron	4,6	Atrazin	3,3
Atrazin	3	Desethyl-Atrazin	3,2
Desethyl-Atrazin	2,8		
Summe	92,2 %	Summe	91,3 %

Tab. A-21. Frachtdominierende Wirkstoffe im Ablauf der KA_Rh (33.-46. KW 2006; $n=25$)

Gesamtfracht (mit Diuron): 94,3 g		Gesamtfracht (ohne Diuron): 67,9 g	
Wirkstoffe	Anteil an Gesamtfracht [%]	Wirkstoffe	Anteil an Gesamtfracht [%]
MCPP	34,6	MCPP	48,0
Diuron	28,1	Metamitron	12,2
Metamitron	8,8	MCPA	12,0
MCPA	8,6	Isoproturon	9,8
Isoproturon	7,1	Desamino-Metamitron	7,0
Desamino-Metamitron	5,0	Metribuzin	6,8
Metribuzin	4,9		
Summe	97,1 %	Summe	95,8 %

Tab. A-22. Frachtdominierende Wirkstoffe im Ablauf der KA_Rh (10.-23. KW 2007; $n=26$)

Gesamtfracht (mit Diuron): 276,1 g		Gesamtfracht (ohne Diuron): 79,0 g	
Wirkstoffe	Anteil an Gesamtfracht [%]	Wirkstoffe	Anteil an Gesamtfracht [%]
Diuron	71,4	Isoproturon	39,5
Isoproturon	11,3	Metolachlor	12,6
Metolachlor	3,6	Terbuthylazin	10,9
Terbuthylazin	3,1	MCPA	8,4
MCPA	2,4	MCPP	8,4
		Azoxystrobin	4,0
		Metazachlor	4,0
Summe	91,8 %	Summe	93 %

Ich bedanke mich ganz herzlich bei Herrn Professor Dr. Hans-Georg Frede für die Überlassung des Themas. Darüber hinaus sage ich Danke für seine Unterstützung während meiner Promotionszeit. Ganz besonders möchte ich sein Vertrauen in meine Motivation und insbesondere meine Leistungsfähigkeit erwähnen, als es um die Verlagerung meines Lebensmittelpunktes nach Hannover ging. Nach meiner Einschätzung gelingt es Prof. Frede, ein leistungsorientiertes, konstruktives Arbeitsklima zu schaffen. Ich habe meine Zeit am Institut als sehr bereichernd empfunden.

Bei Dr. Martin Bach bedanke ich mich für die vielen Anregungen und Gedankenanstöße, die mich oft einen Schritt weiter brachten. Er hat diese Arbeit begleitet und es gelang ihm durch seine analytische Denkweise oftmals, komplizierte Sachverhalte erfrischend auf den Punkt zu bringen. Herzlichen Dank für die offene Gesprächsatmosphäre zwischen uns.

Herrn Professor Dr. Bernd Honermeier gilt mein Dank für die freundliche Übernahme des Zweitgutachtens.

Für die kollegiale, freundschaftliche und konstruktive Zusammenarbeit danke ich allen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern am Institut für Landschaftsökologie und Ressourcenmanagement der Universität Gießen, ganz besonders Adrian Skitschak, Sebastian Wolfgarten und Nelly Weiss für ihre technische Unterstützung rund um Spülen, Beschriften und Verpacken der Probenahmeflaschen und Transport zu den Kläranlagen.

Für den starken Rückenwind, den ich in allen Lebenslagen spüre, sind neben meinen Eltern Ronja und Alexander Blarr verantwortlich. Bei Alexander bedanke ich mich auch ganz besonders sowohl für seine vielen fachlichen Hinweise als auch für seine Hilfe bei allen „Excel“-Fragen. Einen wichtigen indirekten Beitrag zum Gelingen dieser Arbeit haben Ruth Strittmatter und Renate Bukoll geleistet. Danke für Eure Gelassenheit, fürs Zuhören, Kind hüten und einfach fürs Da sein.

Die vorliegende Arbeit entstand im Rahmen des Forschungsauftrages 05HSO22 „Identifizierung und Verminderung der „hot spots“ von Pflanzenschutzmitteleinträgen in Oberflächengewässer“. Die Förderung des Vorhabens erfolgte aus Mitteln des BMELV über die Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE).