

BMELV – BLE – Projekt 05HS022

**Identifizierung und Vermeidung der
hot spots von Pflanzenschutzmitteln
in Oberflächengewässer – Erkennung und
Quantifizierung punktueller Einträge**

Abschlussbericht

März 2009

Bearbeitung:

Annika S. Blarr, Julia Eyring, Martin Bach, Hans-Georg Frede

Institut für Landschaftsökologie und Ressourcenmanagement

Justus-Liebig-Universität Gießen

Identifizierung und Vermeidung der hot spots von Pflanzenschutzmitteln in Oberflächengewässer – Erkennung und Quantifizierung punktueller Einträge

Inhaltsverzeichnis	I
Abbildungsverzeichnis	IV
Tabellenverzeichnis	IX
Abkürzungsverzeichnis	XII
0. Extended Summary	1
1. Ausgangspunkt und Zielsetzung des Projekts	7
2. Stand der Forschung	11
2.1 Freisetzungspotenzial von PSM-Wirkstoffen bei Arbeiten auf landwirtschaftlichen Hofflächen	11
2.1.1 Lagerung von PSM und Entsorgung restentleerter Verpackungseinheiten	12
2.1.2 Befüllen der Feldspritze	14
2.1.3 Entleeren der Feldspritze	18
2.1.4 Reinigen von Feldspritze und Traktor	19
2.1.5 Reparatur und Instandhaltungsarbeiten an der Feldspritze	25
2.1.6 Unkrautbeseitigung auf dem Hof	25
2.1.7 Zusammenfassung	26
2.2 Ursachen von Punkteinträgen außerhalb landwirtschaftlicher Höfe	28
2.2.1 Einträge durch Abschwemmung von PSM-Rückständen von befestigten Flächen	28
2.2.2 Einträge von PSM-Rückständen aus der Behandlung von Bahngleisanlagen	30
2.2.3 Einträge von PSM-Rückständen aus Baumaterialien	30
2.2.4 Auswaschung von PSM-Rückständen aus der Atmosphäre	31
2.2.5 Einträge aus Winzereien und Obstgroßmärkten	31
2.2.6 Einträge aus Produktionsanlagen und Formulierungsbetrieben	32
2.3 Bewertung von Minderungsstrategien	33
2.3.1 Information und Schulung der Anwender	33
2.3.2 Einrichtung von Waschplätzen für Feldspritzen („Biobeds“)	37
2.3.3 Anschaffung neuer Technik bzw. Nachrüstung	43
2.3.4 Ordnungsrechtliche Maßnahmen zur Einhaltung von Handlungsvorschriften	44
2.3.5 Modifikation beim Umgang mit Präparaten auf der Hoffläche	48
2.3.6 Abwasserbehandlung	48
2.3.7 Auswahl geeigneter Maßnahmen	49
2.4 Bisherige Untersuchungen von Kläranlagen in Deutschland auf PSM-Rückstände	51

3. Material und Methoden	61
3.1 Auswahl der Kläranlagen	61
3.2 Beprobungsdesign	66
3.2.1 Probenahme und Transport der Proben	66
3.2.2 Wirkungsspektrum	69
3.3 Analyse der Proben	73
3.4 Auswertung der Daten	73
3.4.1 Daten der Weinbau-Kläranlage	74
3.4.2 Daten der Ackerbau-Kläranlagen	74
3.4.3 Niederschlagsverteilung und Wirkstoff-Frachten	75
4. Pflanzenschutzmittel-Frachten im Ablauf der Weinbau-Kläranlage	76
4.1 Gesamt- und Einzelwirkstoff-Frachten in den drei Auswertungszeiträumen	76
4.1.1 Gesamtfrachten in den Applikationszeiträumen 2006 und 2007	76
4.1.2 Einzelwirkstoff-Frachten in den Applikationszeiträumen 2006 und 2007	76
4.1.3 PSM-Frachten im Zeitraum 01.11.2006 bis 14.05.2007	80
4.1.4 Atrazin- und Simazin-Frachten im Jahr 2007	82
4.2 PSM-Frachten	83
4.2.1 Frachten bezogen auf die Zahl der angeschlossenen Weinbaubetriebe	83
4.2.2 Frachten bezogen auf die Rebfläche im Einzugsgebiet	85
4.3 Niederschlagsverteilung und Wirkstoff-Frachten	86
4.4 Applikationszeiträume und Wirkstoff-Frachten	87
4.5 Fazit der Untersuchung der Weinbau-Kläranlage	92
5. Pflanzenschutzmittel-Frachten im Ablauf von sieben Ackerbau-Kläranlagen	96
5.1 Nachweishäufigkeiten und maximale Konzentrationen im Kläranlagenablauf	96
5.1.1 Fundhäufigkeiten	96
5.1.2 Konzentrationsmaxima der Wirkstoffe	100
5.2 PSM-Frachten	104
5.2.1 Gesamtfrachten im Kläranlagenablauf	104
5.2.2 Frachten bezogen auf die Anzahl der Spritzgeräte	105
5.2.3 Frachten bezogen auf die landwirtschaftliche Nutzfläche	112
5.3 Niederschlagsverteilung und Wirkstoff-Frachten	114
5.4 Applikationszeiträume und Wirkstoff-Frachten	115
5.4.1 Wirkstoffe Getreideanbau	115
5.4.2 Wirkstoffe Rapsanbau	117
5.4.3 Wirkstoffe Zuckerrübenanbau	118
5.4.4 Wirkstoffe Maisanbau	119
5.5 Fazit der Untersuchung der Ackerbau-Kläranlagen	120

6. Abschätzung der potenziellen Gewässerbelastung durch die gemessenen PSM-Punkteinträge	125
6.1 Methodik der Schätzung von Wirkstoffkonzentrationen im Gewässer	125
6.2 Gewässerkonzentrationen und Vergleich mit WRRL-Qualitätsnormen	129
7. Einflußfaktoren der Höhe von punktuellen PSM-Einträgen	134
8. Zusammenfassung	141
9. Literaturverzeichnis	144
10. Weitere Quellen	154
11. Anhang - Abbildungen	155
11. Anhang - Tabellen	177

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1.	Beispiel einer schwenkbaren Kanisterspüleinrichtung an modernen Applikationsgeräten	13
Abb. 2.	Befüllsysteme moderner Applikationsgeräte	15
Abb. 3.	Traktor mit herkömmlicher Anbau-Feldspritze	15
Abb. 4.	Einfüllvorrichtung einer herkömmliche Feldspritze	15
Abb. 5.	Technische Restmengen von Feldspritzen nach Gerätetypen	18
Abb. 6.	Verteilung von untersuchungen zur PSM-Fracht aus Kläranlagen im Bundesgebiet	52
Abb. 7.	PSM-Gesamtfracht pro Betrieb [g] im Einzugsgebiet von Kläranlagen in Ackerbaugebieten während der Untersuchungsperiode	58
Abb. 8.	Lage der beprobten Kläranlagen im Bundesgebiet	63
Abb. 9.	Transportverpackung der Proben	68
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	76
Abb. 11.	Gesamtfracht der einzelnen Wirkstoffe im Ablauf der KA_N während der Hauptapplikationsperioden (20.-43. KW) in den Jahren 2006 und 2007	77
Abb. 12.	Wöchentliche PSM-Frachten (Summe 33 Wirkstoffe) im Ablauf der KA_N im Zeitraum November 2006 bis Mai 2007	80
Abb. 13.	Wöchentliche Frachten der Wirkstoffe Tebuconazol und Boscalid im Ablauf der KA_N von November 2006 bis Mai 2007	82
Abb. 14.	Wöchentliche Frachten des Wirkstoffes Simazin im Ablauf der KA_N im Jahr 2007 (1.-43. KW)	83
Abb. 15.	Frachten pro Weinbau-Betrieb für die einzelnen Wirkstoffe während der Hauptapplikationsperioden (20.-43. KW) 2006 und 2007	84
Abb. 16.	Wöchentliche Frachten von Botryziden im Ablauf der KA_N während der Applikationsperiode 2006 (20.-43. KW)	88
Abb. 17.	Wöchentliche Frachten von Peronospora-Fungiziden im Ablauf der KA_N während der Applikationsperiode 2006 (20.-43. KW)	89
Abb. 18.	Wöchentliche Frachten eines Universal-Fungizids im Ablauf der KA_N während der Applikationsperiode 2006 (20.-43. KW)	90
Abb. 19.	Wöchentliche Frachten von Botryziden im Ablauf der KA_N während der Applikationsperiode 2007 (20.-43. KW)	91
Abb. 20.	Wöchentliche Frachten von Peronospora-Fungiziden im Ablauf der KA_N während der Applikationsperiode 2007 (20.-43. KW)	92
Abb. 21.	Wirkstoff-Gesamtfrachten (ohne Diuron) pro Spritzgerät in den Einzugsgebieten der sieben Ackerbau-Kläranlagen im ersten Untersuchungszeitraum Herbst 2006 (33. – 46. KW) und Frühjahr 2007 (10. – 23. KW)	106

Abb. 22.	Frachten pro Spritzgerät der hauptsächlich gefundenen Wirkstoffe in den Einzugsgebieten der drei Ackerbau-Kläranlagen KA_B, KA_L und KA_O; Gegenüberstellung der Anbauperioden Herbst 2006/Frühjahr 2007 im Vergleich zu Herbst 2007/Frühjahr 2008	108
Abb. 23.	Frachten pro Spritzgerät der hauptsächlich gefundenen Wirkstoffe in den Einzugsgebieten von fünf Ackerbau-Kläranlagen im Herbst 2006 (33. – 46. KW)	110
Abb. 24.	Frachten pro Spritzgerät der hauptsächlich gefundenen Wirkstoffe in den Einzugsgebieten von fünf Ackerbau-Kläranlagen im Frühjahr 2007 (10. – 23. KW)	110
Abb. 25.	Frachten pro Spritzgerät der hauptsächlich gefundenen Wirkstoffe in den Einzugsgebieten der drei Ackerbau-Kläranlagen KA_B, KA_L und KA_O im Herbst 2007 (33. – 48. KW)	111
Abb. 26.	Frachten pro Spritzgerät der hauptsächlich gefundenen Wirkstoffe in den Einzugsgebieten der drei Ackerbau-Kläranlagen KA_B, KA_L und KA_O im Frühjahr 2007 (10. – 23. KW)	111
Abb. 27.	Einzugsgebiete der drei Flüsse, für die der Konzentrationsverlauf für einzelne Wirkstoffe auf Basis der Messergebnisse der jeweils untersuchten Kläranlage auf das gesamte Einzugsgebiet hochgerechnet worden ist	127
Abb. 28.	Berechneter Konzentrationsverlauf der Wirkstoffe Isoproturon, MCPA und MCPP aus punktuellen Einträgen im Main unterhalb der Einleitung der KA_O für den Zeitraum März bis Mai 2007, hochgerechnet für das gesamte Einzugsgebiet auf Basis der Messergebnisse zur Wirkstoff-Fracht der KA_O	132
Abb. 29.	Berechneter Konzentrationsverlauf der Wirkstoffe Isoproturon, MCPA und MCPP aus punktuellen Einträgen in der Rur unterhalb der Einleitung der KA_L für den Zeitraum März bis Mai 2007, hochgerechnet für das gesamte Einzugsgebiet auf Basis der Messergebnisse zur Wirkstoff-Fracht der KA_L	133
Abb. 30.	Berechneter Konzentrationsverlauf der Wirkstoffe Isoproturon, MCPA und MCPP aus punktuellen Einträgen in der Parthe unterhalb der Einleitung der KA_B für den Zeitraum März bis Mai 2007, hochgerechnet für das gesamte Einzugsgebiet auf Basis der Messergebnisse zur Wirkstoff-Fracht der KA_B	133
Abb. 31.	Zeitlicher Zusammenhang von Anwendungsempfehlung bestimmter Präparate und Detektion der entsprechenden Wirkstoffe im Kläranlagenablauf der Weinbau-Kläranlage KA_N (Zeitraum 20. - 43. KW 2006)	135
Abb. 32.	Gegenüberstellung der PSM-Gesamtfrachten (Summe 27 Wirkstoffe, ohne Diuron) im Ablauf der sieben Ackerbau-Kläranlagen, bezogen auf die Spritzgeräte vs. bezogen auf die potenzielle Behandlungsflächen (Ackerfläche der Kläranlagen-angeschlossenen Betriebe), Untersuchungszeitraum Herbst 2006 und Frühjahr 2007	137

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	155
Abb. A-2. Wochenfrachten von Boscalid in den Hauptapplikationszeiträumen (20.-43.KW) im Ablauf der KA_N in den Jahren 2006 und 2007	155
Abb. A-3. Wochenfrachten von Cyprodinil in den Hauptapplikationszeiträumen (20.-43.KW) im Ablauf der KA_N in den Jahren 2006 und 2007	156
Abb. A-4. Wochenfrachten von Dimethomorph in den Hauptapplikationszeiträumen (20.-43.KW) im Ablauf der KA_N in den Jahren 2006 und 2007	156
Abb. A-5. Wochenfrachten von Fenhexamid in den Hauptapplikationszeiträumen (20.-43.KW) im Ablauf der KA_N in den Jahren 2006 und 2007	157
Abb. A-6. Wochenfrachten von Fenpropimorph in den Hauptapplikationszeiträumen (20.-43.KW) im Ablauf der KA_N in den Jahren 2006 und 2007	157
Abb. A-7. Wochenfrachten von Fludioxonil in den Hauptapplikationszeiträumen (20.-43.KW) im Ablauf der KA_N in den Jahren 2006 und 2007	158
Abb. A-8. Wochenfrachten von Folpet in den Hauptapplikationszeiträumen (20.-43.KW) im Ablauf der KA_N in den Jahren 2006 und 2007	158
Abb. A-9. Wochenfrachten von Iprovalicarb in den Hauptapplikationszeiträumen (20.-43.KW) im Ablauf der KA_N in den Jahren 2006 und 2007	159
Abb. A-10. Wochenfrachten von Pyrimethanil in den Hauptapplikationszeiträumen (20.-43.KW) im Ablauf der KA_N in den Jahren 2006 und 2007	159
Abb. A-11. Wochenfrachten von Tebuconazol in den Hauptapplikationszeiträumen (20.-43.KW) im Ablauf der KA_N in den Jahren 2006 und 2007	160
Abb. A-12. Fundzeiträume von 2,4 DP im Ablauf von sieben Kläranlagen (Betrachtungszeitraum 33.–46. KW 2006)	160
Abb. A-13. Fundzeiträume von 2,4 DP im Ablauf von sieben Kläranlagen (Betrachtungszeitraum 10.–23. KW 2007)	161
Abb. A-14. Fundzeiträume von Bentazon im Ablauf von sieben Kläranlagen (Betrachtungszeitraum 33.–46. KW 2006)	161
Abb. A-15. Fundzeiträume von Bentazon im Ablauf von sieben Kläranlagen (Betrachtungszeitraum 10.–23. KW 2007)	162
Abb. A-16. Fundzeiträume von Ethofumesat im Ablauf von sieben Kläranlagen (Betrachtungszeitraum 33.–46. KW 2006)	162
Abb. A-17. Fundzeiträume von Ethofumesat im Ablauf von sieben Kläranlagen (Betrachtungszeitraum 10.–23. KW 2007)	163
Abb. A-18. Fundzeiträume von Isoproturon im Ablauf von sieben Kläranlagen (Betrachtungszeitraum 33.–46. KW 2006)	163
Abb. A-19. Fundzeiträume von Isoproturon im Ablauf von sieben Kläranlagen (Betrachtungszeitraum 10.–23. KW 2007)	164
Abb. A-20. Fundzeiträume von MCPA im Ablauf von sieben Kläranlagen (Betrachtungszeitraum 33.–46. KW 2006)	164

Abb. A-21. Fundzeiträume von MCPA im Ablauf von sieben Kläranlagen (Betrachtungszeitraum 10.–23. KW 2007)	165
Abb. A-22. Fundzeiträume von MCPP im Ablauf von sieben Kläranlagen (Betrachtungszeitraum 33.–46. KW 2006)	165
Abb. A-23. Fundzeiträume von MCPP im Ablauf von sieben Kläranlagen (Betrachtungszeitraum 10.–23. KW 2007)	166
Abb. A-24. Fundzeiträume von Metamitron im Ablauf von sieben Kläranlagen (Betrachtungszeitraum 33.–46. KW 2006)	166
Abb. A-25. Fundzeiträume von Metamitron im Ablauf von sieben Kläranlagen (Betrachtungszeitraum 10.–23. KW 2007)	167
Abb. A-26. Fundzeiträume von Metazachlor im Ablauf von sieben Kläranlagen (Betrachtungszeitraum 33.–46. KW 2006)	167
Abb. A-27. Fundzeiträume von Metazachlor im Ablauf von sieben Kläranlagen (Betrachtungszeitraum 10.–23. KW 2007)	168
Abb. A-28. Fundzeiträume von Tebuconazol im Ablauf von sieben Kläranlagen (Betrachtungszeitraum 33.–46. KW 2006)	168
Abb. A-29. Fundzeiträume von Tebuconazol im Ablauf von sieben Kläranlagen (Betrachtungszeitraum 10.–23. KW 2007)	169
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), Beprobungszeitraum 33.-46. KW 2006	170
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), Beprobungszeitraum 10.-23. KW 2007	170
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), Beprobungszeitraum 33.-46. KW 2006	171
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), Beprobungszeitraum 10.-23. KW 2007	171
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), Beprobungszeitraum 33.-46. KW 2006	172
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), Beprobungszeitraum 10.-23. KW 2007	172
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), Beprobungszeitraum 33.-46. KW 2006	173
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), Beprobungszeitraum 10.-23. KW 2007	173

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), Beprobungszeitraum 33.-46. KW 2006	174
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), Beprobungszeitraum 10.-23. KW 2007	174
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), Beprobungszeitraum 33.-46. KW 2006	175
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), Beprobungszeitraum 10.-23. KW 2007	175
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), Beprobungszeitraum 33.-46. KW 2006	176
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), Beprobungszeitraum 10.-23. KW 2007	176

Tabellenverzeichnis

Tab. 1. Freisetzung von PSM-Präparaten beim Befüllen von Applikationsgeräten	16
Tab. 2. Gängige Formulierungstypen von PSM zum Einsatz in Feldspritzen	17
Tab. 3. Empfohlene Termine für Innenreinigung der Feldspritze	20
Tab. 4. Eigenschaften von sechs PSM-Wirkstoffen auf der Oberfläche von Applikationsgeräten	24
Tab. 5. Freisetzungspotenzial von PSM-Wirkstoffen im Hofbereich	27
Tab. 6. Halbwertszeiten von PSM-Wirkstoffen in „Biomix“-Versuchen	39
Tab. 7. Zusammenfassende Bewertung von Minderungsstrategien (in Anlehnung an Reichenberger et al., 2006; ergänzt)	50
Tab. 8. Untersuchungen von Kläranlagen-Abläufen in Ackerbaugebieten in Deutschland	55
Tab. 9. Untersuchungen von Kläranlagen-Abläufen in Weinbaugebieten in Deutschland	56
Tab. 10. Ranking der rechnerischen Wirkstoff-Frachten pro Betrieb aus den Kläranlagen-Untersuchungen der Tab. 8 und 9	59
Tab. 11. Beprobungszeiträume der Kläranlagen-Untersuchung in den Jahren 2006 und 2007	61
Tab. 12. Kenngrößen der ausgewählten Kläranlagen	65
Tab. 13. Probenahme an den Kläranlagen	68
Tab. 14. Spektrum der analysierten Wirkstoffe in den Proben der Ackerbau-Kläranlagen	70
Tab. 15. Spektrum der analysierten Wirkstoffe in den Proben der Weinbau-Kläranlage	72
Tab. 16. Wirkstoffe, deren Summe der Einzelfrachten 80 % der Gesamtfracht in der Applikationsperiode 2006 (20.–43. KW) betrug	78
Tab. 17. Wirkstoffe, deren Summe der Einzelfrachten 80 % der Gesamtfracht in der Applikationsperiode 2007 (20.–43. KW) betrug	79
Tab. 18. Vergleich der Wirkstoff-Frachten in KA_N in unterschiedlichen Zeiträumen	81
Tab. 19. Gesamtfrachten und Frachten pro Weinbau-Betrieb im Ablauf der KA_N (334 angeschlossene Betriebe; 32 Wirkstoffe, ohne Fenpropimorph)	84
Tab. 20. Frachten pro Weinbaubetrieb im Durchschnitt der beiden Applikationszeiträume (jew. 20.–43. KW) 2006 und 2007	85
Tab. 21. Gesamtfrachten (Summe 32 Wirkstoffe) bezogen auf die Rebfläche im Einzugsgebiet der KA_N in den einzelnen Betrachtungszeiträumen	86
Tab. 22. Einzelwirkstoff-Frachten bezogen auf die Rebfläche der Weinbaubetriebe im Einzugsgebiet der KA_N, Mittel der Applikationszeiten (jew. 20.–43. KW) 2006 und 2007	86
Tab. 23. Bestimmtheitsmaße R^2 der Regressionen zwischen den Wirkstoff-Frachten und der Niederschlagsmenge im Einzugsgebiet der KA_N (für alle Beprobungstermine mit Fracht > 0)	87
Tab. 24. Nachweishäufigkeit (Anzahl der Proben > BG) von PSM-Wirkstoffen im Ablauf der Ackerbau-Kläranlagen im Herbst 2006 (33.–46. KW 2006)	97

Tab. 25. Reihenfolge der Häufigkeiten der Nachweise (insgesamt und <BG) von Wirkstoffen in den Ackerbau-Kläranlagen im Herbst 2006 (33.-46.KW)	98
Tab. 26. Reihenfolge der Häufigkeiten der Nachweise (insgesamt und >BG) von Wirkstoffen in drei Ackerbau-Kläranlagen im zweiten Untersuchungszeitraum Herbst 2007 (33.-46. KW) und Frühjahr 2008 (KA_B: 8.-23. KW; KA_L und KA_B: 10.-23. KW)	99
Tab. 27. Maximale Konzentrationen der PSM-Wirkstoffe in Einzelproben im Ablauf der sieben Ackerbau-Kläranlagen im ersten Untersuchungszeitraum	101
Tab. 28. Maximale Konzentrationen der PSM-Wirkstoffe in Einzelproben im Ablauf der drei Ackerbau-Kläranlagen im zweiten Untersuchungszeitraum	103
Tab. 29. Gesamtfrachten im Ablauf der Ackerbau-Kläranlagen im ersten und zweiten Untersuchungszeitraum	104
Tab. 30. Anzahl der Betriebe, durchschnittliche Betriebsgröße, Anzahl der Spritzgeräte in den Einzugsgebieten der Ackerbau-Kläranlagen sowie PSM-Gesamtfrachten rechnerisch pro Spritzgerät im ersten und zweiten Untersuchungszeitraum	105
Tab. 31. Reihenfolge der Wirkstoff-Frachten pro Spritzgerät (hauptsächlich gefundene Wirkstoffe) im Mittel der sieben Ackerbau-Kläranlagen im ersten Untersuchungszeitraum	107
Tab. 32. Übersicht über die Flächenanteile einzelner Kulturen an der Betriebsfläche der Betriebe in den Einzugsgebieten der Ackerbau-Kläranlagen	112
Tab. 33. Wirkstoff-Frachten in der ersten und zweiten Untersuchungsperiode bezogen auf die landwirtschaftliche Nutzfläche sowie auf die potenziellen Behandlungseinzelner Kulturarten in den Einzugsgebieten der Ackerbau-Kläranlagen	113
Tab. 34. Korrelationskoeffizienten r^2 der Regressionen zwischen den Wirkstoff-Frachten und der Niederschlagsmenge im Einzugsgebiet der Ackerbau-Kläranlagen für zwei verschiedene Berechnungsansätze	114
Tab. 35. Spritzbrühe-Volumina für einzelne Wirkstoffe, deren Wirkstoff-Menge der mittleren Fracht pro Spritzgerät (im Mittel der sieben Kläranlagen in Ackerbau-Regionen, Untersuchungszeitraum 2006/2007) äquivalent sind	123
Tab. 36. Übersicht zu den Einzugsgebieten der drei Flüsse, für die der Konzentrationsverlauf für einzelne Wirkstoffe auf Basis der Messergebnisse der jeweils untersuchten Kläranlage abgeschätzt worden ist	128
Tab. 37. Qualitätsanforderungen für PSM-Wirkstoffe in Oberflächengewässern nach EU Wasserrahmenrichtlinie (WRRL), die im Rahmen der vorliegenden Untersuchung analysiert worden sind	129
Tab. 38. Geschätzte Jahresmittel- und Maximal-Konzentrationen aus Punktquellen im Jahr 2007 in drei Flussgebieten, hochgerechnet aus den Einträgen der jeweils untersuchten Kläranlage (Untersuchungsperioden Frühjahr 2007/Herbst 2007), und Vergleich mit den Qualitätsnormen der WRRL	130

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)	177
Tab. A-2.	Maximalkonzentrationen [$\mu\text{g/l}$] von PSM-Wirkstoffen in Einzelproben im Ablauf von sieben Kläranlagen (10.–23. KW 2007)	178
Tab. A-3.	Mittelwerte der Konzentrationen [$\mu\text{g/l}$] von PSM-Wirkstoffen im Ablauf von sieben Kläranlagen (33.–46. KW 2006)	179
Tab. A-4.	Mittelwerte der Konzentrationen ($\mu\text{g/l}$) von PSM-Wirkstoffen im Ablauf von sieben Kläranlagen (10.–23. KW 2007)	180
Tab. A-5.	Gesamtfrachten [g] von PSM-Wirkstoffen im Ablauf von sieben Kläranlagen (33.–46. KW 2006)	181
Tab. A-6.	Gesamtfrachten [g] von PSM-Wirkstoffen im Ablauf von sieben Kläranlagen (10.–23. KW 2007)	182
Tab. A-7.	Gesamtfrachten [g] von PSM-Wirkstoffen im Ablauf von drei Ackerbau-Kläranlagen, Herbst 2007 (33. – 48. KW)	183
Tab. A-8.	Gesamtfrachten [g] von PSM-Wirkstoffen im Ablauf von drei Ackerbau-Kläranlagen, Frühjahr 2008	184
Tab. A-9.	Einzelwirkstoff-Frachten [g] pro Spritzgerät im Ablauf von sieben Ackerbau-Kläranlagen, Herbst 2006 (33.- 46. KW 2006)	185
Tab. A-10.	Einzelwirkstoff-Frachten [g/Spritzgerät] im Ablauf von sieben Ackerbau-Kläranlagen, Frühjahr 2007 (10.–23. KW 2007)	186
Tab. A-11.	Einzelwirkstoff-Frachten [g] pro Spritzgerät im Ablauf von drei Ackerbau-Kläranlagen, Herbst 2007 (33. - 48. KW)	187
Tab. A-12.	Einzelwirkstoff-Frachten [g/Spritzgerät] im Ablauf von drei Ackerbau-Kläranlagen, Frühjahr 2008	188
Tab. A-13.	Frachtdominierende Wirkstoffe im Ablauf der KA_B (33.–46. KW 2006)	189
Tab. A-14.	Frachtdominierende Wirkstoffe im Ablauf der KA_B (10.–23. KW 2007)	189
Tab. A-15.	Frachtdominierende Wirkstoffe im Ablauf der KA_F (33.–46. KW 2006)	190
Tab. A-16.	Frachtdominierende Wirkstoffe im Ablauf der KA_F (10.–23. KW 2007)	190
Tab. A-17.	Frachtdominierende Wirkstoffe im Ablauf der KA_J (33.–46. KW 2006)	191
Tab. A-18.	Frachtdominierende Wirkstoffe im Ablauf der KA_J (10.–23. KW 2007)	191
Tab. A-19.	Frachtdominierende Wirkstoffe im Ablauf der KA_L (33.–46. KW 2006)	192
Tab. A-20.	Frachtdominierende Wirkstoffe im Ablauf der KA_L (10.–23. KW 2007)	192
Tab. A-21.	Frachtdominierende Wirkstoffe im Ablauf der KA_O (33.–46. KW 2006)	193
Tab. A-22.	Frachtdominierende Wirkstoffe im Ablauf der KA_O (10.–23. KW 2007)	193
Tab. A-23.	Frachtdominierende Wirkstoffe im Ablauf der KA_Reis (33.–46. KW 2006)	194
Tab. A-24.	Frachtdominierende Wirkstoffe im Ablauf der KA_Reis (10.–23. KW 2007)	194
Tab. A-25.	Frachtdominierende Wirkstoffe im Ablauf der KA_Rh (33.–46. KW 2006)	195
Tab. A-26.	Frachtdominierende Wirkstoffe im Ablauf der KA_Rh (10.–23. KW 2007)	195

Abkürzungsverzeichnis

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
GC	Gaschromatographie
gfP	gute fachliche Praxis
GL	Grünland
HPLC	High Performance Liquid Chromatography, Hochleistungs-Flüssigkeitschromatographie
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
NAF	Nachauflauf
NEPTUN	Netzwerk zur Ermittlung des Pflanzenschutzmitteleinsatzes in unterschiedlichen Naturräumen Deutschlands
NFU	National Farmers' Union
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
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)

0. Extended Summary

Chemical plant protection and high productivity farming are intrinsically tied together nowadays. Pesticides provide essential help against diseases and pests as well as weed control and therefore contribute substantially to securing global food supply.

Pesticides can reach surface waters via different sources and via different pathways:

Non-point sources

- spraydrift
- surface run-off and erosion (from treated fields)
- tile drainage
- run-off (wash-off) from paved roads and other hard surfaces (outside farmyards)

Point sources

- sewage treatment plants (STP)
- combined sewer overflow
- direct input from farmyards
- input from pesticide manufacturing and formulation plants

Since the nineties pesticide inputs into surface waters from point sources have been regarded as a serious problem in Germany as well as in other EU member states. Handling of pesticides and sprayers on farmyards, e.g. preparation of spray mixture, cleaning and maintenance of equipment and disposal of spray mixture residues can cause water pollution. Rainfall can easily wash out pesticide residues on paved surfaces, and polluted waste water can reach the sewage system and can finally enter the surface water network through sewage plant outlets.

Aims of the project

The main objectives of the project *Identification and prevention of pesticide hot spots in surface waters – detection and quantification of point sources* were to:

- develop a consistent research approach for the quantification of pesticide surface water inputs from point sources in Germany
- identify the main factors influencing point-source pollution
- describe the risk potential of single actions corresponding to the handling of pesticides on farmyards
- derive, based on the findings of the project, mitigation measures against point-source inputs

Sources of pesticide losses from farmyards

Several individual operations involved in the handling of pesticides and sprayers on farmyards can cause pesticide losses and lead to surface water pollution:

- disposal of packing material
- sprayer filling
- disposal of technical residual quantity
- simple cleaning of sprayers after use
- inside cleaning of the barrel
- outside cleaning of the sprayer
- outside cleaning of the tractor
- repairs and maintenance of spraying equipment
- chemical weed control on farmyards

The evaluation of different studies on emission potentials of single steps in pesticide and sprayer handling on farmyards showed that – beside accidental spills - overflow of spray mixture during filling, outside-cleaning of sprayers and dumping of the undiluted residual quantity cause the highest losses. Up to 100 g of active substances can reach the sewage system with one single operation.

Research approach

Sampling of STPs in areas where farmyard runoff is directly connected to the sewer system is an established method for quantification of point-source pesticide inputs. In the present

study eight municipal STPs in Germany (seven in arable farming regions, one in a viticulture region) were sampled with a consistent sampling scheme, during the cropping seasons 2006/2007 and 2007/2008. The selected STP's represent different regions in Germany with different cropping systems, farming structures, and field sprayer equipments. Furthermore STPs of different sizes were chosen.

Sampling was carried out during the following periods:

- 7 arable farming STPs, 14.08. – 13.11.2006 and 05.03. – 04.06.2007 (main application period of the cropping season 2006/07)
- 3 arable farming STPs, 16.08. – 3.12.2007 and 03.03. – 09.06.2008 (cropping period 2007/08)
- 1 viticulture STP, 15.05.2006 - 28.10.2007 (two growing periods).

The samples from the arable farming STPs were analyzed for 28 substances (including two metabolites) during the first sampling period, and for 37 substances during the second period. The analyzed substances are mainly the most commonly used herbicides and fungicides in Germany. The viticulture STP analysis covered 32 substances used as fungicides and insecticides in viticulture. The limit of detection was 0.05 µg/l.

Samples were taken continuously in the effluent of the STP and were analyzed as 3-day / 4-day composite samples. The sample analysis of arable farming STPs was done by the Institute of Environmental Research (InfU) at Dortmund University, the viticulture samples were analyzed by the Dienstleistungszentrum Ländlicher Raum Rheinland-Pfalz (DLR Neustadt/Weinstr.).

Based on the STPs' daily discharge daily pesticide loads were calculated. In total a dataset of approximately 17600 single pesticide concentrations and loads was established.

Results of the viticulture sewage treatment plant

The total load of all analyzed substances of the viticulture STP was about 11.5 kg during the main application period in 2006 and about 5.5 kg in 2007. Linked to the estimated number of sprayers, the average load per sprayer was about 29 g in 2006 (main application period) and

16 g per sprayer in 2007. This is about 4.6 g (2006) and 2.6 g (2007) per hectare vineyard area. Substances with the highest loads were fenhexamide, pyrimethanil, boscalide, tebuconazole, cyprodinil und fludioxinil. The highest loads correspond to the combat of the fungi *Botrytis cinerea*, *Plasmopara viticola* and *Oidium*. Therefore the different results between the two years can be explained with the different infection pressure and the different treatment frequencies.

Results of the arable farming sewage treatment plants

The most remarkable result for the arable farming STPs is the extremely high variability between the single STPs. Absolute pesticide loads vary between 140 g and 35000 g per study period, the main emission period was during the cropping season in spring. Calculated pesticide loads per sprayer were about 40 g in average (seven STPs) during the first sampling period (25 compounds, two metabolites). Detailed results show however a high variability from about 2 g up to 120 g per sprayer (the two STPs with minimum and maximum loads per sprayer during one sampling period). The pesticide loss per treated area was between 0.02 g and 1.8 g per hectare.

Much higher loads per sprayer were detected during the sampling of the three arable farming STPs in Autumn 2007 and spring 2008. Maximum load was 445 g per sprayer, a value never reported in the literature so far. Extremely high temporal und regional variability is evidently characteristic for pesticide losses from farmyards.

These eleven compounds contributed approximately 80 % of the total load (with seasonal variability): metamitron (incl. desamino-metamitron), isoproturon, MCPA, 2,4-DP (a.k.a. dichlorprop), ethofumesate, tebuconazole, MCPP (a.k.a. mecoprop), metazachlor, epoxiconazole, terbuthylazine, and bentazone. This order of compounds reflects, as a first approximation, the sales volume of the respective active ingredient in Germany. The compound diuron, usually not applied in agriculture, was also detected very often.

The magnitude of the pesticide load can be approximately related to single activities on farmyards. Preparing a tank mix for an intended application of 1 kg active substance per hectare leads to an amount of 200 liter spray mixture per hectare, meaning 5 g substance per liter. The average pesticide emission of sprayers is about 40 g, corresponding to the spillage of

about 8 liter spray mixture during the sampling period. There are several activities which could cause equivalent pesticide loads:

- Disposal of about half of the undiluted remaining quantity
- Inside cleaning of the barrel once or twice with dumping the rinsing water into the sewer
- Outside cleaning of sprayers several times on farmyards
- Carelessness or accidental spillage during filling (spillage of about 100 gram compound, dependent on concentration).

Evaluation of mitigation measures

To avoid or reduce point-source inputs of pesticides into surface waters, a range of mitigation measures is available. In particular these are:

- User information and training
- Establishment of washdown yards for application equipment (“biobeds”)
- Purchasing new equipment, respectively upgrading existing spraying equipment
- Modification of pesticide handling on farmyards
- Special wastewater treatment in STPs

It is not easy to evaluate which of these measures could be the most successful. Integrated approaches, including several measures, would be the most successful strategy in many cases. Mitigation measures for a certain region should be selected after a detailed analysis of local conditions (amount of point-source emissions, facilities of farms, existing infrastructure for consulting). Cost-benefit aspects and feasibility of single measures should be included in considerations about mitigation strategies. The success of mitigation measures decisively depends on the collaboration of stakeholders (farmers/users, public service, industry, water supply, economy, environmental associations, general public).

Conclusions

The following conclusions can be drawn from the results of the hot spots project:

1. Point sources have been identified as important source of pesticide inputs in surface waters, with regional differences. The actual inputs are presumably higher than those detected in this project: The compound glyphosate, resp. its metabolite AMPA, was not analyzed (for economical reasons). However, glyphosate is one of the pesticides with the highest sales volumes in Germany and considerable losses from point sources as well as from treated areas are most likely. The STP sampling covered only the discharge of dry weather conditions due to the fact that during heavy rain events excess water reaches the surface waters networks directly via storm overflows.
2. Obviously mitigation measures already implemented were not sufficient to reduce point-source pesticide inputs into surface waters to the necessary extent. High variations between the different STPs show that there is apparently an important potential for mitigation of point-source pesticide emissions.
3. Handling of pesticides and sprayers on farmyards should be addressed by specific mitigation measures, including every individual operation like storage and handling of compounds as well as preparation of spray mixture and in- and outside cleaning of equipment.
4. Mitigation strategies should be specially developed and designed for risk situation. The present study shows that identification of “hot spots” is relatively difficult. Neither the number of sprayers within an STP catchment could be identified as an explaining variable for the high variance in pesticide loads, nor could structural differences in agriculture - but these variables could nevertheless be important in individual cases.

1. Ausgangspunkt und Zielsetzung des Projekts

Pflanzenschutz und Hohertrags-Landwirtschaft sind heutzutage untrennbar verbunden. Pflanzenschutzmittel (PSM) stellen dabei ein unverzichtbares Hilfsmittel bei der Abwehr von Krankheitserregern und Schädlingen sowie bei der Kontrolle von Unkräutern dar und tragen so entscheidend dazu bei, die Ernährung der Weltbevölkerung zu sichern.

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 von PSM-Wirkstoffen der IVA-Mitgliedsfirmen betrug im Jahr 2007 rd. 29.650 t (IVA, 2007).

Grundsätzlich ist davon auszugehen, dass keine völlig „verlustfreie“ Anwendung von PSM auf landwirtschaftlichen Kulturlächen möglich ist. Somit besteht im Prinzip immer eine gewisse Gefährdung, dass es zu einer Verlagerung von PSM-Rückständen in andere Umweltkompartimente wie unter anderem Oberflächengewässer und Grundwasser kommt.

Im Zusammenhang mit der Umsetzung der EG-Wasserrahmenrichtlinie (WRRL)¹ haben Einträge von PSM in Gewässer eine neue Aktualität bekommen. Den Vorgaben der WRRL zufolge ist bis zum Jahr 2015 einheitlich ein „guter ökologischer und chemischer Zustand“ der Oberflächengewässer erreicht werden. Es ist aber zu befürchten, dass die Belastung von Oberflächenwasser mit PSM in einigen Regionen des Bundesgebietes sehr wahrscheinlich nicht die EU-weit geltenden Anforderungen erfüllt. Um die betroffenen Regionen sowie den Umfang der notwendigen Maßnahmen zur Verminderung von PSM-Einträgen aufzeigen zu können, sind detaillierte Aussagen zum tatsächlichen Ausmaß der Belastungen und vor allem zu den Ursachen nötig.

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

¹ 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).

Diffuse Quellen

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

Punktquellen

- Kläranlagen
- Regentlastungen 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).

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 diese Untersuchungen mit unterschiedlichen Zielsetzungen, Untersuchungsdesigns und in unterschiedlichen geographischen Regionen 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 wurden in den vergangenen 15 Jahren rund ein Dutzend Untersuchungen 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 standen in dem hier durchgeführten Projekt folgende **Ziele** im Mittelpunkt:

- Die Höhe von PSM-Einträgen in Oberflächengewässern aus Punktquellen (Hofabläufen) im Bundesgebiet mit einem bundesweit einheitlichen Untersuchungsansatz zu quantifizieren;
- wesentliche Einflussfaktoren zu erkennen, von denen diese punktuellen Einträge abhängen;
- das Gefährdungspotenzial der einzelnen Handhabungsschritte im Umgang mit PSM-Präparaten im Hofbereich darzustellen; und

- auf diesen Erkenntnissen aufbauend Ansatzpunkte für Maßnahmen zur Verminderung punktueller Einträge herauszuarbeiten.

Dazu wurden folgende Arbeiten 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.

Das Projekt wurde im Rahmen des *Reduktionsprogramms chemischer Pflanzenschutz* des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV) durchgeführt und aus Mitteln der Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE) finanziert.

2. Stand der Forschung

Im Rahmen des Projekts wurde zunächst die einschlägige Literatur zum Thema Punkteinträge zusammengetragen und ausgewertet. 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.

In Kapitel 2.1 wird dargestellt, bei welchen Arbeitsschritten im Hofbereich PSM-Wirkstoffe freigesetzt werden können und in welcher Größenordnung dies geschehen kann. Kapitel 2.2 beschäftigt sich anschließend mit anderen Punktquellen, deren Ursachen außerhalb des landwirtschaftlichen Betriebes liegen und die im Einzelfall von Bedeutung sein können. In Kap. 2.3 werden die Erfahrungen mit Minderungsstrategien ausgewertet, die in der Literatur beschrieben worden sind. Eine detaillierte Analyse der bisher in Deutschland durchgeführten Untersuchungen zum Ausmaß von Punkteinträgen an Kläranlagen wird schließlich in Kapitel 2.4 vorgestellt.

2.1 Freisetzungspotenzial von PSM-Wirkstoffen bei Arbeiten auf landwirtschaftlichen Hofflächen

Bei einer Vielzahl von Handhabungsschritten im Umgang mit SM-Präparaten und –Ausbrüngen im Bereich der Hofflächen von Landwirtschaftsbetrieben kann es zu einer unbeabsichtigten Freisetzung von PSM in die Umwelt kommen. Die tatsächliche Höhe von Wirkstoffmengen, die dabei emittiert werden können, hängt mehr oder weniger stark von der Sorgfalt der Arbeiterledigung des individuellen Anwenders ab. Die einzelnen Arbeitsschritte werden nachfolgend zunächst charakterisiert und die Höhe des Freisetzungspotenzial abgeschätzt; gegebenenfalls wird in diesem Zusammenhang auch auf die rechtlichen Rahmenbedingungen in Deutschland eingegangen. Folgende Arbeitsabläufe stehen bei der Literaturauswertung 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

2.1.1 Lagerung von PSM und Entsorgung restentleerter Verpackungseinheiten

Da alle PSM nach den Bestimmungen des Wasserhaushaltsgesetzes (WHG)² als „stark wassergefährdende Stoffe“ gelten, sind bei der Lagerung dieser Substanzen neben den Unfallverhütungsvorschriften der Berufsgenossenschaften auch wasserrechtliche Vorschriften zu beachten.³ Das heißt, dass die PSM-Präparate 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

² 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.

³ 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.

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. 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).



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 Hofkastern 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 einer 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 Befüllanschlus-

ses 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 Untersuchungen 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.

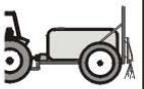
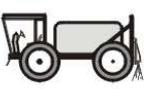
Tab. 2. Gängige Formulierungstypen von PSM zum Einsatz in Feldspritzen nach Henser (2006)

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 also im Wesentlichen von der technischen Ausstattung der Feldspritze sowie von der Sorgfalt des Anwenders ab. Das Risiko des Verschüttens 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, i.e. die Spritzbrühereste in Armatur, Schlauchleitungen, Pumpe, Filter und Fass, die sich nach wenigen Minuten am tiefsten Punkt des Gerätes sammeln. 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						
	Anbau- geräte	Aufbau- geräte	Anhänge- geräte	Selbst- fahrer	Bandspritz- geräte	darunter: m. Luftunter- stützung
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 - 2x 250	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 Feldspritzentypen 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.⁴ 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 immer-

⁴ 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.

hin 3 % der Befragten an, nach dem Leerspritzen die verbliebene 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 immer dann, wenn dieser Arbeitsschritt auf der befestigten Hoffläche 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 einer befestigten Flächen mit Anschluß an einen Vorfluter können unter 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 spritzbrüheführenden 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 Austragsmengen 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 sich zuvor folgende Wirkstoffe im Behälter befunden haben:
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, ggf. unter Zugabe eines Spezialreinigers (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; 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 arbeitswirtschaftlichen Gründen 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 auf dem Hof durchgeführt hat (Kleffmann, 2002; 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. Die Autoren 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 Wirkstoff.

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-Pressemeldung Dechet, 2003). 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-Pressemeldung 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 dadurch 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 auch unter dem Aspekt 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 Applikationsge-

räten 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 Flusilazol (Tab. 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 Untersuchungen 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 Kanalanschluss der Abstellfläche zu einer säteren sukzessiven Abwaschung und Verlagerung in Oberflächengewässer kommen.

Bei der Applikation von PSM können über Abdrift und Sprühnebel auch Bauteile des Traktors (bzw. der Antriebseinheit von selbstfahrenden Applikationsgeräten) mit PSM-Wirkstoffresten kontaminiert werden. 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, ist aber grundsätzlich ein Gefährdungspotenzial gegeben.

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, konzentriert sich das Freisetzungspotenzial von PSM-Wirkstoffen auf dem Hof auf 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 (Tab. 5). 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 bei verschiedenen Arbeitsschritten im Hofbereich

Arbeitsschritt	Freisetzungspotenzial ^a	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 ^b 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 g 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 d. Reinigungswassers auf dem Feld)	2 – 10 mg Wirkstoff nach Verdünnung in der technischen Restmenge des Spülwassers	Holst et al. (2002)
Tankinnenreinigung	<ul style="list-style-type: none"> - 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 	<p>Balsari et al. (2002a)</p> <p>Holst et al. (2002)</p> <p>Ganzelmeier (1998)</p> <p>Resch (1997)</p> <p>Hoof (1994)</p>
Außenreinigung von Applikationsgeräten	11,5 g Gesamt-Wirkstofffracht pro Reinigung < 1 g/m ² Geräteoberfläche (IPU und Chlorthalonil an Auslegergalgen, Zuführungssystem und Fass)	Ramwell und Johnson, 2002
Außenreinigung Traktoren	< 10 mg/m ² Geräteoberfläche	Ramwell und Johnson, 2002

a) Freisetzungspotenzial bezieht sich auf Spritzbrühe mit 0,1 – 0,5 % Wirkstoffkonzentration

b) Annahme: 500 g Wirkstoff pro Liter Präparat

2.2 Ursachen für Punkteinträge außerhalb landwirtschaftlicher Höfe

Neben den Hofabläufen aus Landwirtschaftsbetrieben sind 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-Wirkstoffen 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 Wirkstoffe

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 zwischen 10 % und 73 % der gesamten ausgebrachten Menge mit dem Niederschlagswasser abgewaschen und verlagert werden; Chevre (2003) beziffert diese Zahl für die Schweiz allerdings nur 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 Austragsmenge 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-Wirkstoffen 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-Wirkstoffen aus Baumaterialien

Gerecke et al. (2001) weisen auf die Gefahr der Auswaschung von PSM 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/m². 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/m² (Terbutryn) und 60 mg/m² (Carbendazim) festgestellt. Im Laborversuch wurde die Wirkstoffkonzentrationen im Dachablaufwasser bei verschiedenen 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-Wirkstoffen 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 µg/m² 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 µg/l und 20 – 321 µg/l. Bei einer geschätzten Ernte- und Sortierzeit von 20 Wochen im Jahr und wöchentlichem Wechseln des Transportwassers (im Mittel 5 m³) 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 Erfolgswertung steht noch aus.

Ziel des TOPPS-Projekts (**T**rain the **O**perators to **P**revent Pollution from **P**oint Sources) 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 Netzwerk 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-Sachkundeverordnung⁵ 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

⁵ 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 Maillet-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 worden, die unter den Aspekten Zuverlässigkeit und Investitionskosten für den einzelnen Landwirt interessant sein können, nämlich (a) Anlage von so genannten *Biobeds* und (b) 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 Gesamtabbauleistung von Biobeds liegt nach De Wilde et al. (2007) im Mittel zwischen 95 und 99 %. Fogg et al. (2004a) stellen 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 MCPA) überprüft und die Adsorptions- und Abbauraten bestimmt. Es wurde festgestellt, dass während der Wintermonate 13 % des aufgebrachten MCPA 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 Beispiel sind das sog. Biobac-System des französischen INRA (Institute 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. Phytipur-System werden an Waschplätzen während der Applikationsperiode alle anfallenden Abwässer in einem Sammel tank 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 Phytipur-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 12761⁶ 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. 1257/1999⁷ steht ein konzeptioneller und rechtlicher Rahmen zur Verfügung, Agrarinvestitionen zu fördern. Auf Grundlage dieser Verordnung besteht

⁶ EN 12761 Sprayer and liquid fertilizer distributors – Environmental protection

⁷ 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 Arbeiterledigung 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 Pflanzschutz-erledigung könnte gleichfalls durch finanzielle Förderprogramme beschleunigt werden.

Eine regelmäßige Funktionskontrolle der Spritz- und Sprühgeräte, wie sie in der Bundesrepublik bereits durchgeführt wird⁸, 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

⁸ 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 auch in Deutschland die Anwender die Handlungsvorschriften der guten fachlichen Praxis nicht immer einhalten, 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 PflSchG⁹ 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.¹⁰ 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

⁹ 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.

¹⁰ 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.¹¹ 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

¹¹ 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. Als Anmerkung sei erwähnt, dass in Deutschland keine Verpflichtung besteht, den obligatorischen Sachkundenachweis nach einer gewissen Frist zu erneuern bzw. nachzuweisen, dass ein PSM-Anwender sich in diesem Bereich weiterbildet und stets über den diesbezüglichen aktuellen Sachstand informiert ist. Bei immerhin rund 50% der Teilnehmer an der repräsentativen IVA-Studie aus dem Jahre 2002 lag der Sachkundenachweis 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 (s. 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 H_2O_2/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 Spritzentechnik bzw. Nachrüstung	technische Voraussetzung für Durchführung der Reinigungsarbeiten auf dem Feld	Finanzieller Aufwand (Höhe?)
überbetriebliche Nutzung von Spritzgeräten und/oder betriebsübergreifende Erledigung des Pflanzenschutzes	mäßig bis hoch	Voraussetzung: Verwendung moderner Spritzgeräte; ev. Akzeptanzprobleme bei Landwirten (Befürchtung: PS-Behandlung wird nicht termingerecht durchgeführt)
Erledigung des Pflanzenschutzes durch Lohnunternehmer	hoch bis 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-Wirkstoffe

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) – Ausbringung auf Landwirtschaftsflächen – Infiltration.
4. Hoffläche – Direkteinleitung in nächstgelegenen Vorfluter.

Die jeweils regional vorherrschende Entwässerungssituation hängt von den naturräumlichen Gegebenheiten sowie von der Lage des Betriebe 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 Niedersach-

sen und Schleswig-Holstein sind keinerlei Ergebnisse zur Bedeutung von PSM-Punktquellen vorhanden.

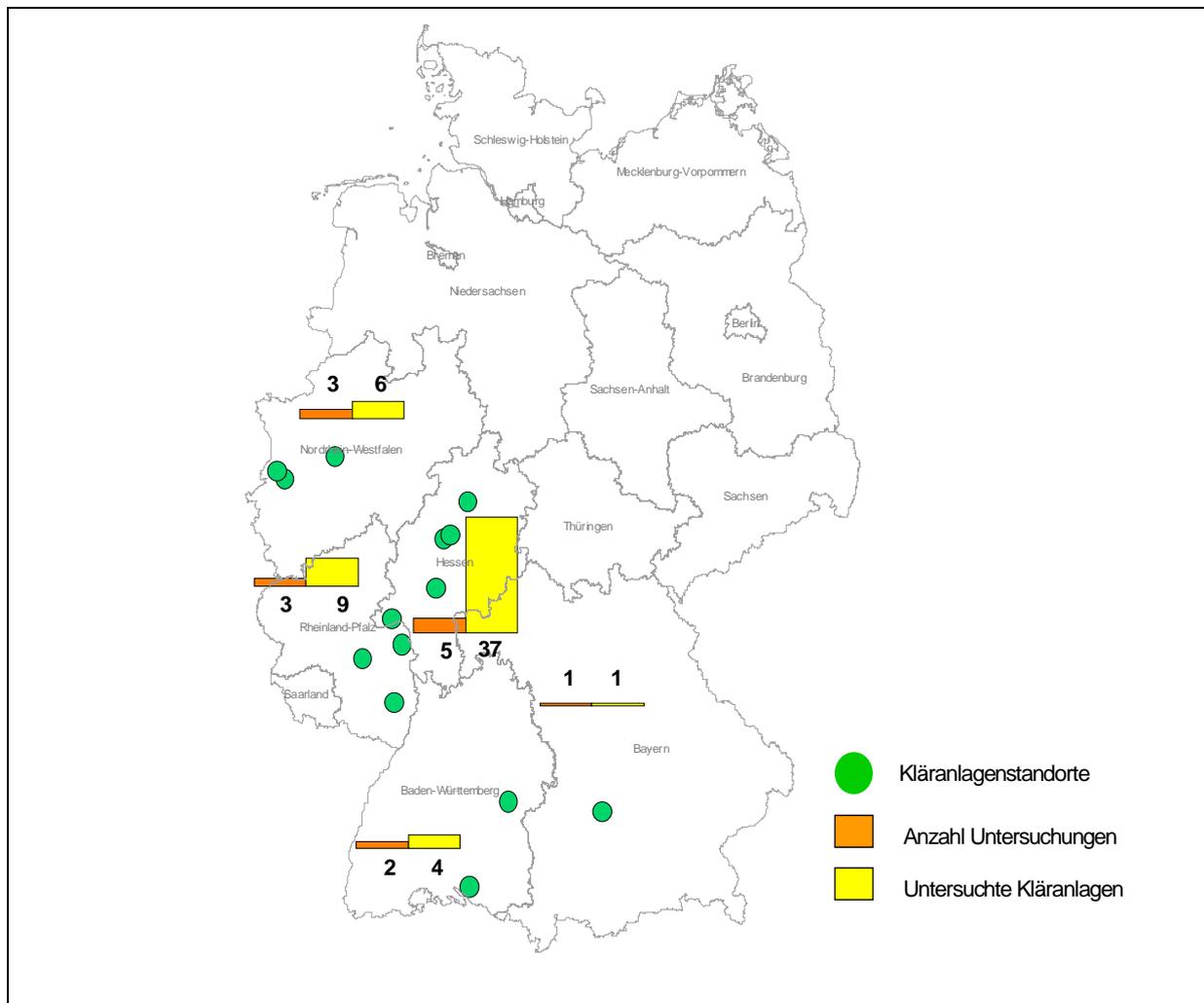


Abb. 6. Verteilung von publizierten Untersuchungen zur PSM-Fracht aus Kläranlagen im Bundesgebiet (Quellen s. Tab. 8 und 9)

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.

Eine 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 eine 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 Fragestellung des jeweiligen 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. Oechlin 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-Gesamtfacht wird die Wirkstofffracht (summiert über den gesamten Beprobungszeitraum) pro Landwirtschaftsbetrieb im Einzugsgebiet der Kläranlage als wesentliche Aussagegröße interpretiert.

Tab. 8. Untersuchungen von Kläranlagen-Abläufen in **Ackerbaug**eieten 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	36	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 u. 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
Ittel und Sälzer (2004)	Rheinhessen, Hahnheim	1	05/03–10/03	14d Mischproben	13	43	98	182	15,3
Ittel und Sälzer (2006)	Rheinhessen	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 **Weinbaug**eieten 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 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 zu 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.

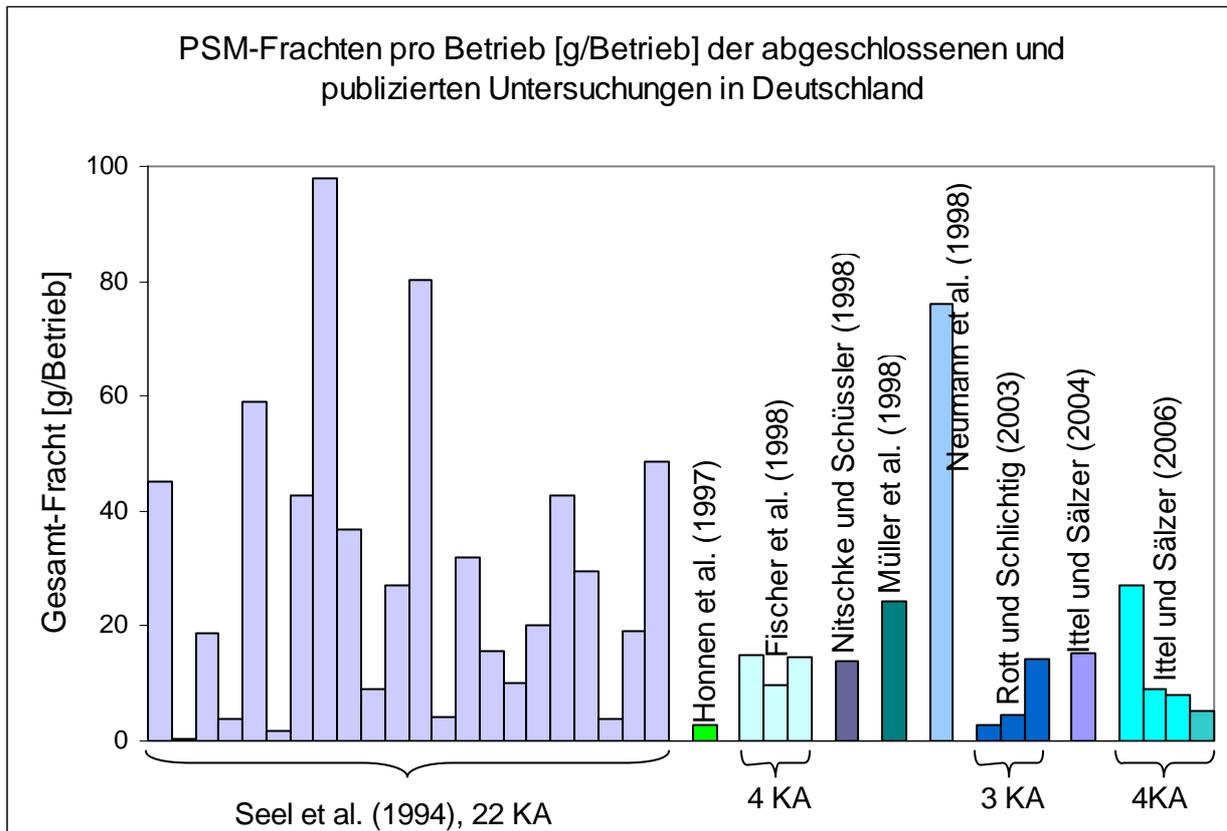


Abb. 7. PSM-Gesamtfracht pro Betrieb [g] im Einzugsgebiet von Kläranlagen in Ackerbau- und Weinbaugebieten während der jeweiligen Untersuchungsperiode

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 können. Als wichtigste 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; s. Einführung zu diesem Kapitel)
- Beprobungsdesign (Dauer, Häufigkeit, Technik der Probenahme; Anzahl Wirkstoffe).

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 im Ablauf der in Tab. 8 und Tab. 9 untersuchten Kläranlagen gefunden wurden. Die Reihenfolge spiegelt in erster Näherung die Absatzmengen in Deutschland wider.

Tab. 10. Ranking der rechnerischen Wirkstoff-Frachten pro Betrieb aus den Kläranlagen-Untersuchungen der Tab. 8 und 9 (jew. ohne Wirkstoff Diuron)

Wirkstoff	Ackerbau	Wirkstoff	Weinbau
	Rechnerische Wirkstofffracht pro Betrieb [g/Messperiode]		Rechnerische Wirkstofffracht pro Betrieb [g/Messperiode]
Metamitron	ca. 9,6	Tebuconazol	ca. 6,3
Isoproturon	ca. 7,3	Dimethomorph	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 Mittel 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 Dimethomorph mit 4,9 g pro Betrieb. Aus der Gruppe der meistverkauften Wirkstoffen fehlt in Tab. 10 das Glyphosat (bzw. dessen Metabolit AMPA), dessen analytische Bestimmung aufwendig und vergleichsweise kostenintensiv ist und auf dessen Analyse daher im Regelfall verzichtet wird. Weiterhin ist in Tab. 10 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 bis 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.

3.1 Auswahl der Kläranlagen

Die Auswahl der Kläranlagen richtete sich nach folgenden Kriterien:

- regionale Verteilung im Bundesgebiet
- Kapazität der Anlage (5000 – 30 000 Einwohnergleichwerte)
- Anschluss an ein Mischkanalisationssystem
- 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 durchzuführen, eine unverzichtbare Voraussetzung dar.

Zunächst wurden alle publizierten PSM-Untersuchungen von Kläranlagen im Bundesgebiet gesichtet. Dabei ist auffällig, dass solche Studien in der Vergangenheit lediglich in den Ländern Baden-Württemberg, Bayern, Hessen und Nordrhein-Westfalen durchgeführt wurden (s. a. Kap. 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)
- Hessische 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 konnten 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 die 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 zunächst Kontakt zu den Aufsichtsbehörden der Kläranlagen aufgenommen. Als maßgebliches Kriterium für die Auswahl stellte sich hier das Vorhandensein einer Mischkanalisation im Einzugsbereich der Anlagen heraus. Nach telefonischer Anfrage und persönlichem Gespräch vor Ort wurden schließlich als weitere Kläranlagen KA_B und KA_J in die Untersuchung einbezogen. Abb. 8 zeigt die Lage der Kläranlagen im Bundesgebiet.

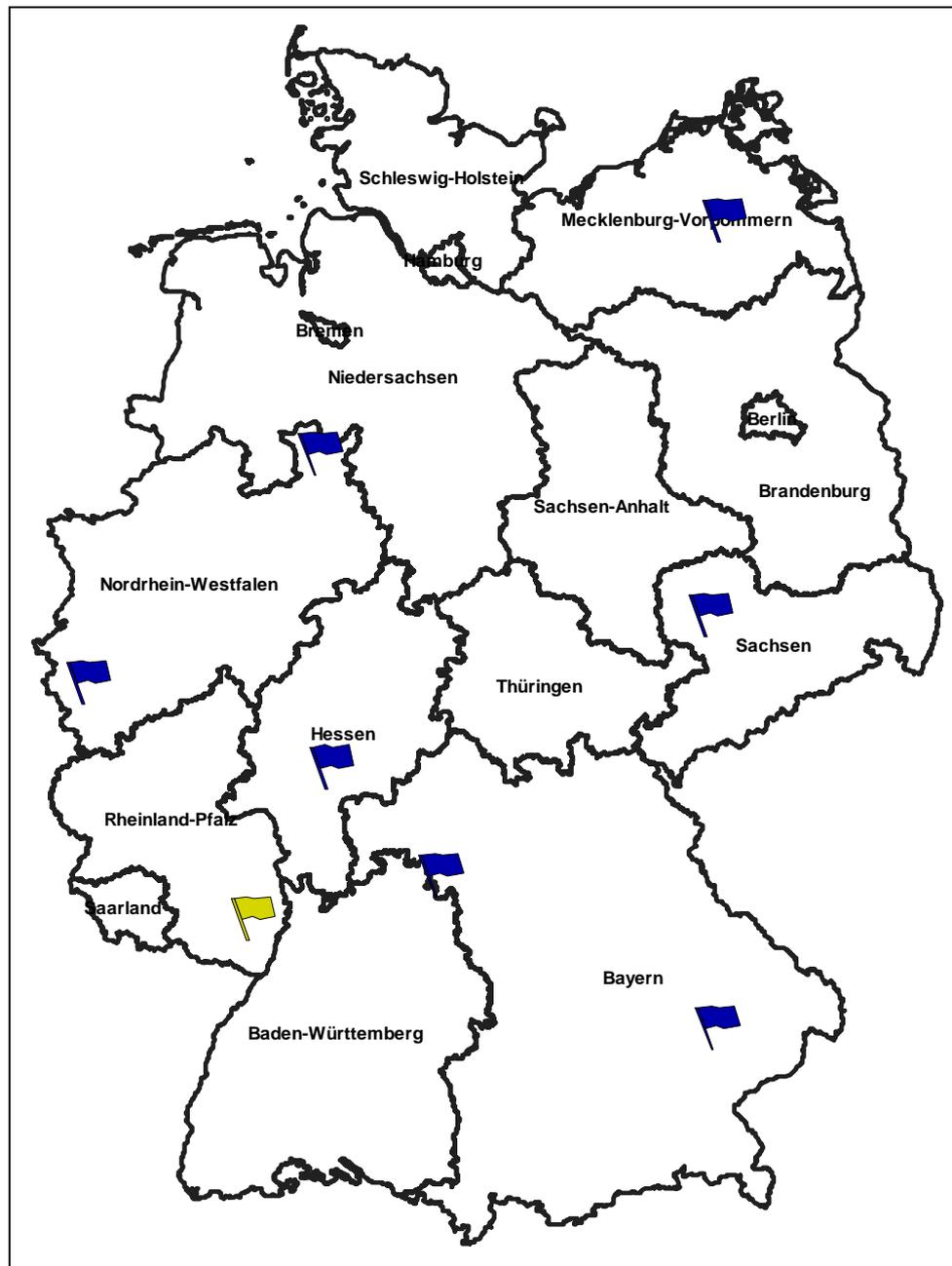


Abb. 8. Lage der beprobten Kläranlagen im Bundesgebiet (blau markiert: „Ackerbau-Kläranlagen“, gelb markiert: „Weinbau-Kläranlage“)

Datenerhebung

Tab. 12 gibt einen Überblick über die wichtigsten Eckdaten der ausgewählten acht Kläranlagen; 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 Gemeindeebene¹² 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 2006.¹³ 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.

¹² 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).

¹³ 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

Klär-anlagen-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	(geschätzt: ca. 330)	6,2 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 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

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 automatischem 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 des 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 [Drei- oder Viertages-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. 13). Die Geräte waren so programmiert, dass in zweistündlichem Rhythmus 125 ml Ablaufwasser entnommen wurden. Auf diese Weise betrug das tägliche Probenvolumen 1,5 l. An drei Kläranlagen konnte der fest installierte Probenehmer der Anlage mitbenutzt werden. An der KA_J (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 1 L-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 (s. Abb. 9) 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. 13. Übersicht zur Technik der Probenahme an den Kläranlagen

Kläranlage	Probenahme	Frequenz
KA_B	automatischer Probenehmer fest installiert in einem Edelstahlgehäuse mit PU-Schaumisolierung Probenehmer der Fa. Gimat mbH Umweltmesstechnik, Ausführung FSV 3/12 SG-VATS	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 Wirkstoffspektrum

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.

Auswahlverfahren der Ackerbau-Wirkstoffe

Bei der Auswahl wurde so vorgegangen, dass die zugelassenen Wirkstoffe im Ackerbau zunächst nach dem Anteil der behandelten Ackerfläche bundesweit sortiert wurden (nach BBA, 2001, sowie auf Basis der NEPTUN-Erhebung (BBA 2003, 2003); das Ergebnis war eine Liste mit insgesamt 107 Einzelwirkstoffen, die anschließend nach folgenden Kriterien gewichtet wurden:

- 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)
- Wirkstoffspektren vorangegangener Untersuchungen zu Punktquellen in Deutschland (siehe Ausführungen unter Punkt 2.4), insbesondere die Untersuchungen an der Stevertalsperre (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.

Die daraus entstandene vorläufige Liste wurde mit dem projektinternen Fachbeirat aus Vertretern unter anderem der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA), des Umweltbundesamtes (UBA), des Bundesamtes für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit (BVL), des IVA und des Bauernverbandes (DBV) abgestimmt. Nicht zugelassene Stoffe wurden nicht berücksichtigt; Ausnahmen bilden Atrazin und der Metabolit Desethyl-Atrazin sowie

Bromacil. Als Ergebnis der Abstimmung wurden schließlich 26 Substanzen und 2 Metabolite ausgewählt, die im ersten Abschnitt der Untersuchung analysiert wurden (Herbst 2006 und Frühjahr 2007, s. Tab. 14). Nach Vorliegen der ersten Ergebnisse wurde von Teilnehmern des Projektbeirats angeregt, die Liste um mehrere Wirkstoffe zu ergänzen, die in jüngerer Zeit an Bedeutung gewonnen haben. Nach dieser Erweiterung umfasste die Wirkstoff-Liste schließlich in den weiteren Untersuchungsabschnitten (Herbst 2007 und Frühjahr 2008, Periode B in Tab. 14) 35 Substanzen (sowie 2 Metabolite).

Tab. 14. Spektrum der analysierten Wirkstoffe in den Proben der Ackerbau-Kläranlagen

Lfd. Nr.	Analyseperiode		Wirkstoff	Gruppe ^b	Hauptanwendung ^c	Wirkstoff-Aufwand pro Fläche ^d	Absatzmenge 2004 ^e
	A	B					
1	X	X	2,4-D	H	Getreide: NAF Grünland (Mai–Aug.)	750 g/ha	25–100 t
2	X	X	2,4-DP	H	Getreide: NAF	1,5 kg/ha	250–1000 t
3	X	X	Amidosulfuron	H	Getreide: NAF	25 g/ha	2,5–10 t
4	X	X	<i>Atrazin</i>	H	<i>(nicht zugelassen seit 1990)</i>	--	--
5	X	X	<i>Desethyl-Atrazin</i>		--	--	--
6	X	X	Azoxystrobin	H	Getreide: NAF	250 g/ha	100– 250 t
7	X	X	Bentazon	H	Getreide: NAF Mais: 2.–7. Laubblatt, Gemüsebau	2,4 kg/ha	250–1000 t
8	X	X	<i>Bromacil</i>	H	<i>(nicht zugelassen seit 1990)</i>	--	--
9		X	Clomazone				
10	X	X	Diflufenican	H	Getreide: VAH, NAF, NAF)	250 g/ha	
11	X	X	Dimethoat	I	Zuckerrüben, Zierpflanzen, Spargel, Gemüse	240 g/ha	250–1000 t
12	X	X	Diuron	H	Nichtkulturland, tlw. Obstbau: ganzjährig	3–6 kg/ha	25–100 t
13		X	Clamazone				
14	X	X	Epoxiconazol	F	Getreide, Rüben	125 g/ha	250–1000 t
15	X	X	Ethofumesat	H	Rüben: NAF	1 kg/ha	100– 250 t
16	X	X	Fenpropidin	F	Getreide, Zuckerrüben	580 g/ha	250–1000 t
17	X	X	Fenpropimorph	F	Getreide	750 g/ha	250-1000 t
18	X	X	Flufenacet	H	Mais, Wintergetreide: VA, NAF Kartoffeln: VA Spargel: 7–10 Tage n. Pflanzen	150 g/ha	100– 250 t
19		X	Flurtamone				
20		X	Fluoroxypyr				
21		X	loxynil				
22	X	X	Isoproturon	H	Getreide: VAH, NAH, NAF	1,5 kg/ha	> 1000 t
23	X	X	MCPA	H	Getreide: NAF Grünland: Mai – Aug.	750 g/ha	250–1000 t

Lfd. Nr.	Analyseperiode		Wirkstoff	Gruppe ^b	Hauptanwendung ^c	Wirkstoff-Aufwand pro Fläche ^d	Absatzmenge 2004 ^e
	A	B					
24	X	X	MCPD	H	Getreide: NAF	1,2 kg/ha	100– 250 t
25		X	Mesosulfuron				
26	X	X	Metamitron	H	Rüben: VA, NAF Erdbeeren: VA	1,4 kg/ha	250–1000 t
27	X	X	<i>Desamino-Metamitron</i>		--	--	--
28	X	X	Metazachlor		Winterraps: NAH Sommerraps: VAF, NAF	750 g/ha	250–1000 t
29	X	X	Metribuzin	H	Kartoffeln: VA Spargel: April-Mai	350 g/ha	100– 250 t
30	X	X	Propiconazol	F	Getreide	125 g/ha	100– 250 t
31		X	Propoxycarbazone				
32		X	Prothiocanazole				
33		X	Quinmerac				
34	X	X	S-Metolachlor	H	Mais: VA und NAF	1,2 kg/ha	250–1000 t
35	X	X	Spiroxamine	F	Getreide	750 g/ha	250–1000 t
36	X	X	Tebuconazol	F, W	Getreide, Raps (Herbst und Frühjahr)(377 g/ha	250–1000 t
37	X	X	Terbuthylazin	H	Mais: VA und NAF	750 g/ha	250–1000 t

^a) Untersuchungsperioden (s. Tab. 12): **A**: Gesamte Untersuchungszeiträume;

B: nur Herbst 2007 und Frühjahr 2008 (3 Kieranlagen)

^b) H: Herbizid; F: Fungizid; I: Insektizid; W: Wachstumsregler

^c) VAH, NAH: Vor-, Nachauflauf Herbst; , VAF, NAF: Vor-, Nachauflauf Frühjahr

^d) Typische Aufwandmenge des Wirkstoff in häufig eingesetztem Einzelwirkstoff- oder Kombi-Präparat

^e) Absatzmengen-Klasse im Jahr 2004 (BVL, 2005).

Auswahlverfahren der Weinbau-Wirkstoffe

Die Auswahl des zu analysierenden Wirkstoffspektrums für die Weinbau-Kläranlage erfolgte in enger Abstimmung mit dem Dienstleistungszentrum Ländlicher Raum Rheinpfalz (DLR), das auch die Probenahme und Analytik durchführte. Bei dieser Liste handelt es sich um 27 Fungizid- und fünf 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. In der Tab. 15 wird auf die Angabe der Größe „Wirkstoffaufwand pro Fläche“ verzichtet: die Applikationsmengen im Weinbau variieren saisonal und orientiert sich an dem sog. Basisaufwand, der im Verlauf der Vegetationsperiode an das Entwicklungsstadium der Reben und die damit verbundene Vergrößerung der Zielflä-

che anzupassen ist (DLR Rheinpfalz, 2007). Angaben zur Absatzmenge der untersuchten Wirkstoffe für ein Bezugsjahr liegen nicht vor.

Tab. 15. Spektrum der analysierten Wirkstoff in den Proben der Weinbau-Kläranlage

Lfd. Nr.	Gruppe ^a	Wirkstoff	Hauptanwendung	Präparate ^b
1	F	Azoxystrobin	Weinbau, Gemüse, Ackerbau	<i>Quadris, Amistar, Ortiva</i>
2	F	Boscalid	Weinbau, Ackerbau	<i>Cantus, Collis</i>
3	F	Cyprodinil	Weinbau, Obst	<i>Chorus, Solitär (Beize), Switch</i>
4	F	Dichlofluanid	Weinbau	<i>Euparen (verboten)</i>
5	I	Dimethoat	Obst, Garten, Ackerbau	<i>Bi 58, Perfekthion, Rogor</i>
6	F	Dimethomorph	Weinbau, Garten, Ackerbau	<i>Acrobat Plus WG, Forum, Forum Star</i>
7	F	Epoxiconazol	Ackerbau	<i>Juwel, Opera, Opus, Opus Top</i>
8	F	Famoxadone	Weinbau, Garten, Ackerbau	<i>Equation Pro, Tanos</i>
9	F	Fenarimol	Weinbau	<i>Vento</i>
10	F	Fenhexamid	Weinbau, Obst, Garten	<i>Teldor</i>
11	F	Fenpropimorph	Ackerbau	<i>Juwel Top, Opus Top, Fortress Top, Corbel</i>
12	F	Fludioxonil	Weinbau, Obst, Acker	<i>Arena C (Beize), Celest (Beize), Landor (Beize), Solitär (Beize), Switch</i>
13	F	Fluquinconazol	Weinbau, Obst, Ackerbau	<i>Castellan, Jockey (Beize), Vision, Galamo (Beize)</i>
14	F	Folpet	Weinbau, Gartenbau	<i>Folpan 80, Folpan 500, Ridomil GC</i>
15	F	Iprodion	Weinbau, Gartenbau, Ackerbau	<i>Rovral, Verisan</i>
16	F	Iprovalicarb	Weinbau	<i>Melody</i>
17	F	Kresoxim-methyl	Weinbau, Ackerbau	<i>Collis, Juwel, Juwel Top</i>
18	F	Metalaxyl-m	Weinbau, Garten, Ackerbau	<i>Fonganil, Ridomil GC, Ridomil GMZ</i>
19	I	Methidation	Insektizid Weinbau, Ackerbau	<i>Ultracid (verboten)</i>
20	F	Myclobutanil	Weinbau, Obst, Garten	<i>Sythane 20EW</i>
21	I	Parathion-ethyl	Weinbau	<i>E 605 (verboten)</i>
22	I	Parathion-methyl	Weinbau	<i>ME 605 (verboten)</i>
23	F	Penconazol	Weinbau	<i>Topas</i>
24	F	Prochloraz	Ackerbau	<i>Abavit UF, Jockey, Rubin (Beize), Galamo (Beize), Cirkon, Mirage</i>
25	F	Propiconazol	Ackerbau	<i>Agent, Glado, Taspas, Cirkon, Stratego</i>
26	I	Pyrimethanil	Weinbau, Obst, Ackerbau	<i>Rubin (Beize), Scala, Vision</i>
27	F	Quinoxifen	Weinbau, Obst	<i>Fortress, Fortress Top, Vento</i>
28	F	Spiroxamine	Weinbau, Ackerbau	<i>Impulse, Pronto, Prosper</i>

Lfd. Nr.	Gruppe ^a	Wirkstoff	Hauptanwendung	Präparate ^b
29	F	Tebuconazol	Weinbau, Obst, Garten, Ackerbau	<i>Arena C</i> (Beize), <i>Gladio</i> , <i>Landor</i> (Beize), <i>Solitär</i> (Beize), <i>Folicur</i> , <i>Folicur EM</i> , <i>Pronto</i>
30	F	Tolyfluanid	Weinbau, Obst, Garten	<i>Euparen</i> , <i>Monceren</i> (Beize)
31	F	Triadimenol	Weinbau, Ackerbau	<i>Baytan</i> (Beize), <i>Manta</i> (Beize)
32	F	Trifloxystrobin	Weinbau, Obst, Garten, Ackerbau	<i>Flint</i> , <i>Stratego</i>
33	F	Vinclozolin	Weinbau	<i>Ronilan FL</i> (verboten)

^a) F: Fungizid; I: Insektizid

^b) Präparate laut BVL, 2007a (Stand Januar 2007).

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-Flüssigchromatographie (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 Dienstleistungszentrum Ländlicher Raum Rheinpfalz (DLR, Neustadt/Weinstr.) 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 erfolgt unterteilt nach den beiden Applikationszeiträume 2006 und 2007 sowie dem dazwischen liegenden Zeitabschnitt:

- 20. bis 43. Kalenderwoche (KW) 2006 (Hauptapplikationspanne 2006)
- November 2006 bis 14. Mai 2007 (Zeit ohne Pflanzenschutzmaßnahmen)
- 20. bis 43. Kalenderwoche (KW) 2007 (Hauptapplikationspanne 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 vertiefte Analyse der Ergebnisse werden anschließend nur noch die dominierenden fünf Wirkstoffe weiter ausgewertet, deren Frachtsummen zusammen mehr als 80 % der Gesamtfracht im Beprobungszeitraum betragen. Außerdem wurde der Wirkstoffes Fenpropimorph nicht weiter berücksichtigt, da für diese Substanz keine Anwendungen im Weinbau bekannt sind. Abschließend werden die Pflanzenschutzempfehlungen des regionalen Pflanzenschutzdienstes in den Jahren 2007 und 2008 ausgewertet, um die Applikationstermine der einzelnen Präparate einzugrenzen und mit den Fundzeiträumen im Ablauf der Kläranlage vergleichen zu können.

3.4.2 Daten der Ackerbau-Kläranlagen

Die Analysedaten der Ackerbau-Kläranlagen wurden in Form der Konzentrationsmesswerte der Einzelproben vom Institut für Umweltforschung (InfU) der Uni Dortmund 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 „Null“ 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, Frühjahr 2007 und Frühjahr 2008 getrennt dargestellt (s. Kapitel 5.1 und 5.2). Für jede Klär-

anlage werden zunächst die Gesamtfracht aller Wirkstoffe und zusätzlich dazu die Frachtsumme unter Ausschluß der Fracht des Wirkstoffs Diuron ermittelt. Für die Darstellung und Interpretation der Kläranlagenfrachten werden daher die Ergebnisse für Diuron *nicht* einbezogen, da davon auszugehen ist, dass die Diuron-Frachten zum größten Teil aus *nicht*-landwirtschaftlichen Quellen stammen.

Anschließend werden die Nachweishäufigkeiten für die einzelnen Substanzen dargestellt sowie die maximalen Konzentration, die in den Proben gefunden wurden. Die weitere Auswertung der Daten umfasst die Berechnung der Kenngrößen „PSM-Frachten pro Feldspritze“ 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 insbesondere 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, Wirkstoff-Fracht als abhängige Variable). Es wurden nur Wertepaare mit einer Fracht > 0 in die Regressionsberechnung einbezogen.

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.

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. 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 14.05.2007.

4.1 Gesamt- und Einzelwirkstoff-Frachten in den drei Auswertungszeiträumen

4.1.1 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 Wirkstoff-Frachten im Zeitverlauf wieder.

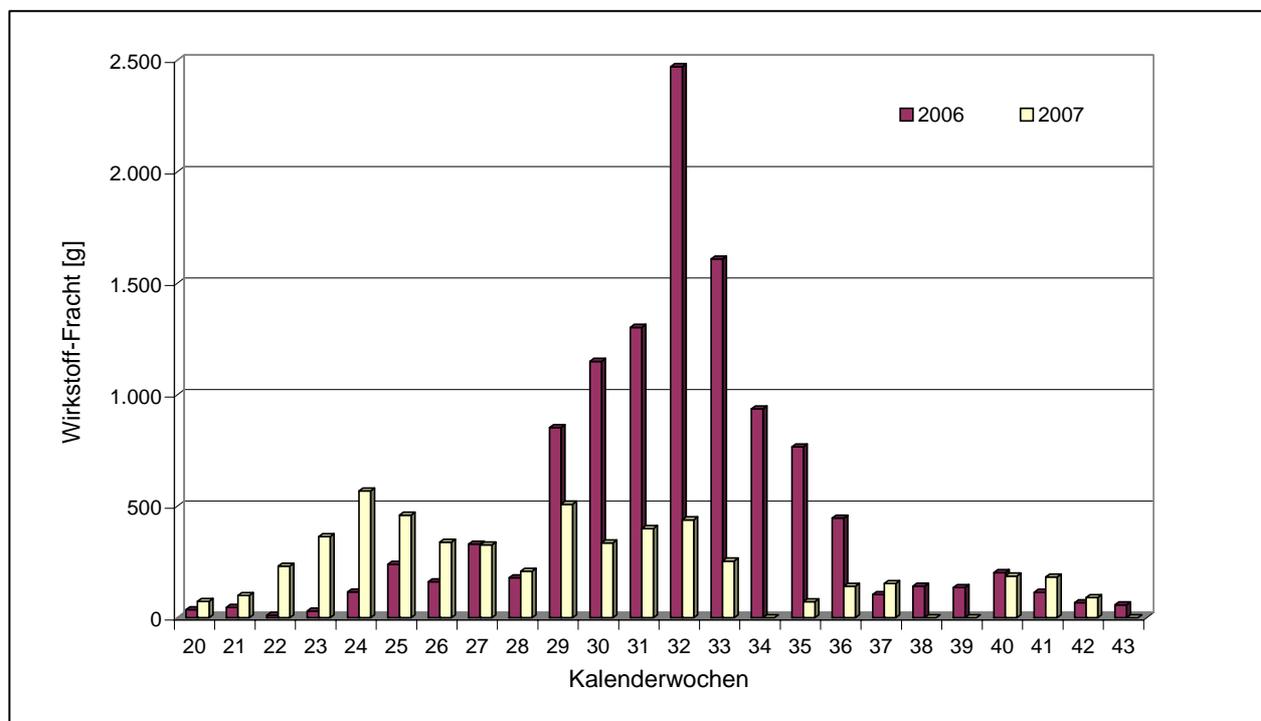


Abb. 10. Wöchentliche Pflanzenschutzmittel-Frachten (Summe 33 Wirkstoffe) im Ablauf der KA_N während der Hauptapplikationsperioden (20. – 43. KW) in den Jahren 2006 und 2007 (für KW 34, 38 und 39 in 2007 keine Daten infolge Probenverlust)

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 Verteilungsmuster im Jahr 2007 unterscheidet sich dagegen erheblich von dem des 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 4.4 werden die Wirkstoff-Frachten an der KA_N in beiden Applikationszeiträumen vor dem Hintergrund der Empfehlungen des zuständigen Pflanzenschutzdienstes detailliert dargestellt.

4.1.2 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.

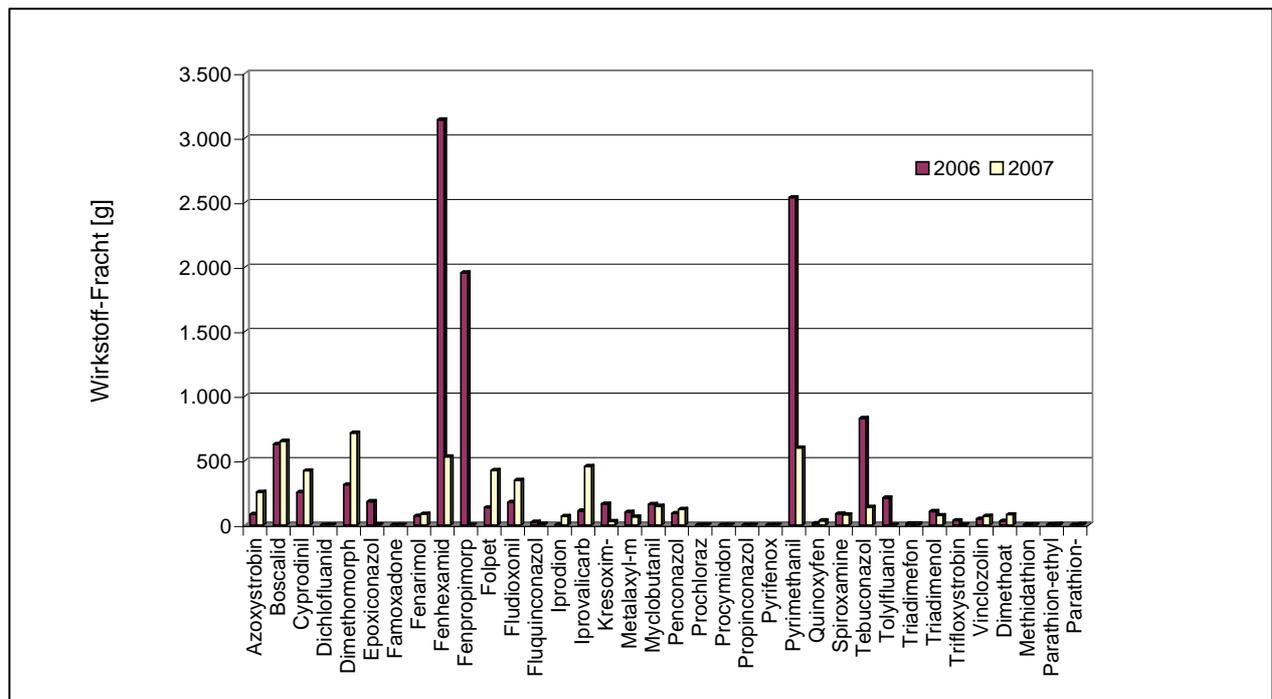


Abb. 11. Gesamt-Fracht der einzelnen Wirkstoffe im Ablauf der KA_N während der Hauptapplikationsperioden (20. – 43. KW) in den Jahren 2006 und 2007

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 Dimethomorph (714 g) auf. Fenpropimorph wurde im Jahr 2006 mit drittgrößten 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. 16 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.

Tab. 16. Wirkstoffe, deren Summe der Einzelfrachten 80 % der Gesamtfracht im Ablauf der KA_N während der Applikationsperiode 2006 (20. – 43. KW) betrug

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

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

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

Fenhexamid, Pyrimethanil und Boscalid sind Bestandteile von Spezialbotryziden 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 drittwichtigste Wirkstoff in der KA_N (bezogen auf gesamte, im Kläranlagenablauf detektierte Einzelwirkstoff-Fracht), wurde dagegen im Zeitraum Mai bis Oktober 2006 überhaupt nicht gefunden.

Tab. 17 gibt einen entsprechenden Überblick über die Wirkstoffe, die während der Hauptapplikationsperiode im Jahr 2007 rund 80 % der Gesamtwirkstoff-Fracht 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.

Tab. 17. Wirkstoffe, deren Summe der Einzelfrachten 80 % der Gesamtfracht im Ablauf der KA_N während der Applikationsperiode 2007 (20. – 43. KW) betrug

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

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

In den Tab. 16 und 17 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).

4.1.3 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, die sich aus den Einzelfrachten der Wirkstoffe Azoxystrobin (10 g), Boscalid (178 g), Cyprodinil (123 g), Fenhexamid (24 g), Fludioxonil (71 g), Fluquinconazol (21 g), Myclobutanil (3 g), Penconazol (26 g), Pyrimethanil (3 g), Tebuconazol (183 g), Triadimenol (36 g), Trifloxystrobin (38 g) und Parathion-ethyl (1 g) zusammensetzt.

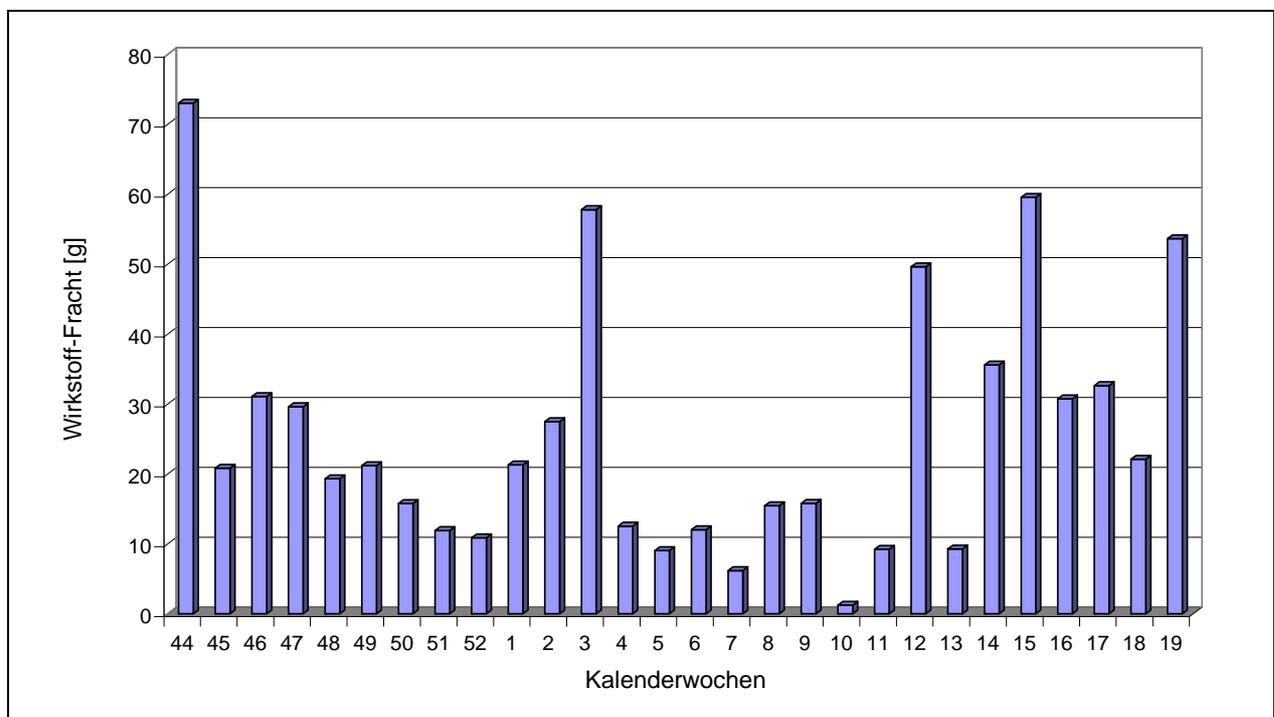


Abb. 12. Wöchentliche Pflanzenschutzmittel-Frachten (Summe 33 Wirkstoffe) im Ablauf der KA_N im Zeitraum November 2006 bis Mai 2007

In Tab. 18 werden die Frachten dieser Wirkstoffe aus den Monaten November bis April mit denen der Hauptapplikationszeiträume im Jahr 2006 und 2007 verglichen.

Tab. 18. Vergleich der Wirkstoff-Frachten an der KA_N in unterschiedlichen Zeiträumen

Wirkstoff	Fracht [g] Applikationsperiode Mai - Okt. 2006	Fracht [g] Nov. 2006 - Mai 2007	Fracht [g] Applikationsperiode 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 bis 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 mit der sukzessiven Einwinterung der Geräte und den damit verbundenen Reinigungsvorgängen erklären.

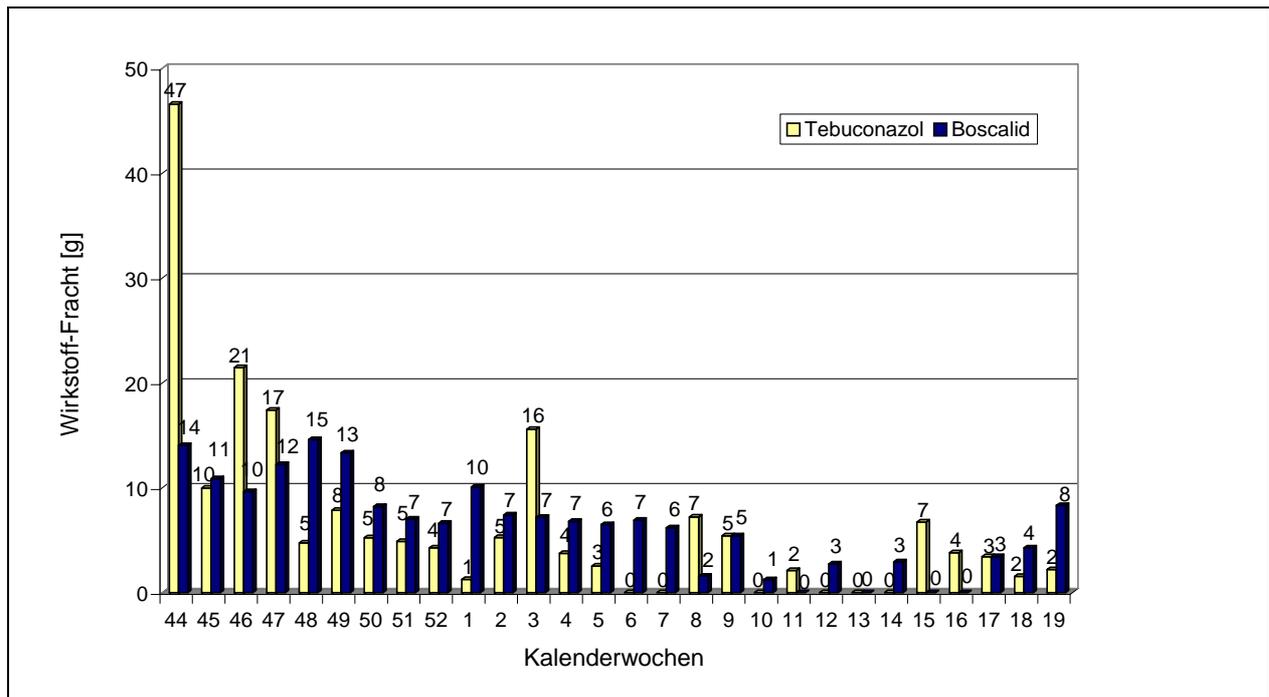


Abb. 13. Wöchentliche Frachten der Wirkstoffe Tebuconazol und Boscalid im Ablauf der KA_N von November 2006 bis Mai 2007

4.1.4 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. 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).

Die hauptsächlichen Anwendungsbereiche von Atrazin und Simazin als Mais-Herbizide legen die Vermutung nahe, dass die Einträge in die Kläranlage auf Freisetzungen dieser Substanzen in (einem oder mehreren) der rd. 20 Ackerbau-Betriebe zurückzuführen sind, die - neben den Weinbaubetrieben - ebenfalls an die KA_N angeschlossen sind.

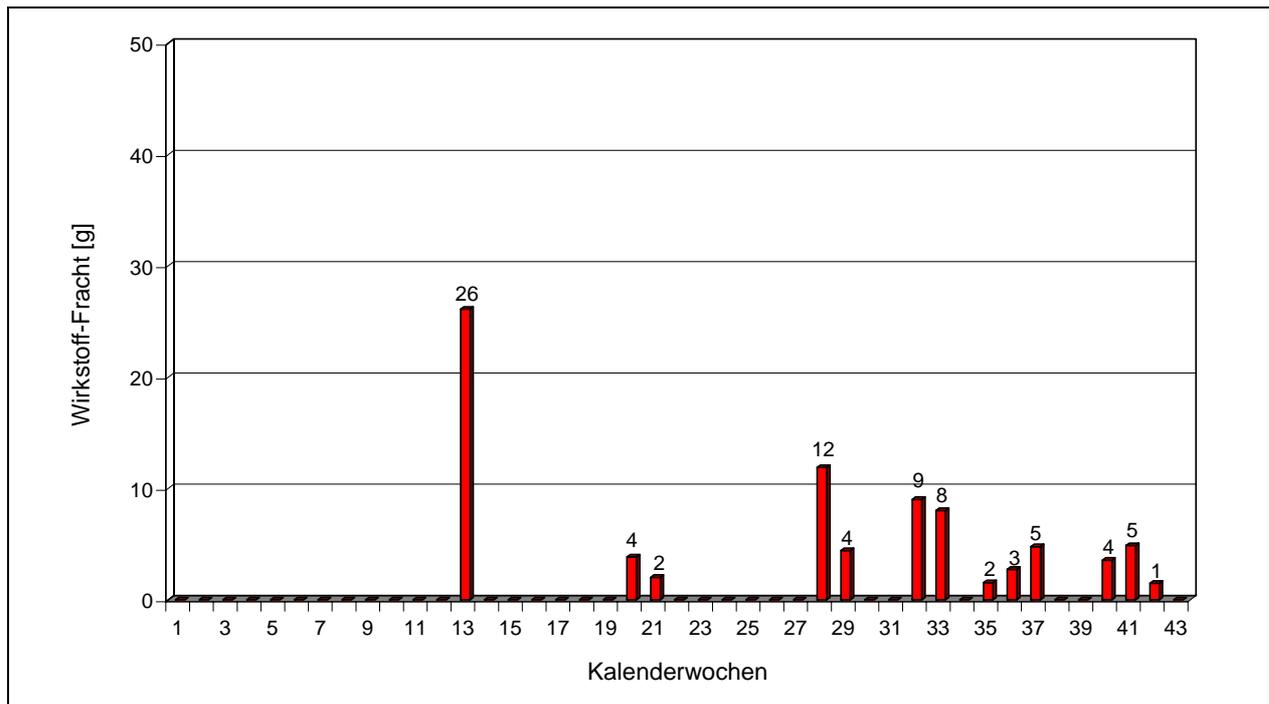


Abb. 14. Wöchentliche Frachten des Wirkstoffs Simazin im Ablauf der KA_N im Jahr 2007 (1.-43. KW) (für KW 34, 38 und 39 in 2007 keine Daten infolge Probenverlust)

4.2 PSM-Frachten

4.2.1 Frachten bezogen auf die Anzahl der angeschlossenen Weinbaubetriebe

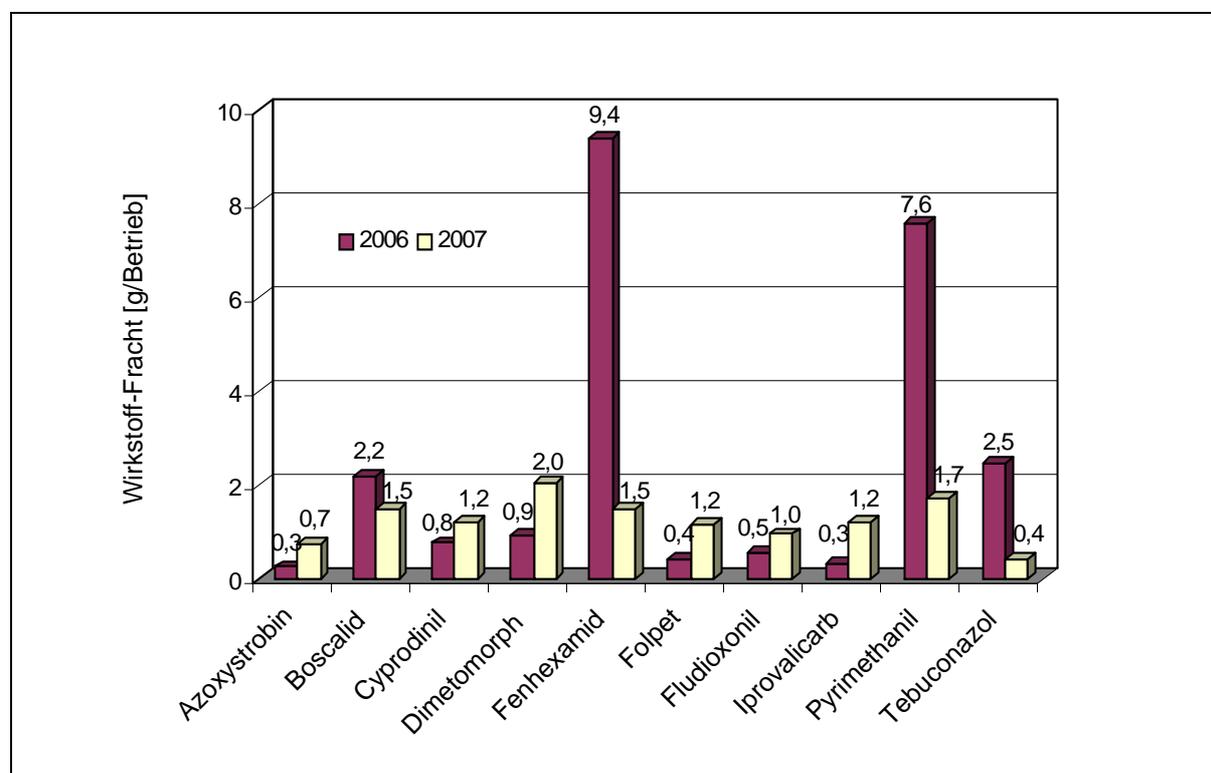
Das Einzugsgebiet der Kläranlage KA_N ist geprägt vom Weinbau; von den rd. 34 km² landwirtschaftliche Nutzfläche insgesamt sind rd. 21 km² Rebflächen. Im Rahmen der vorliegenden Untersuchung war es nicht möglich, die Anzahl der Applikationsgeräte im Einzugsgebiet der Kläranlage zu ermitteln (s. Kap. 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 können daher 1:1 auch im Hinblick auf die Zahl der Spritzgeräte interpretiert werden (z.B. „Fracht in Gramm pro Betrieb“ entspricht der „Fracht in Gramm pro Spritzgerät“).

Für die Berechnung der Größe „Fracht pro Betrieb“ in Tab. 19 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. 19. Gesamtfrachten und Frachten pro Weinbau-Betrieb im Ablauf der KA_N (334 angeschlossene Betriebe; 32 Wirkstoffe, ohne Fenpropimorph)

Untersuchungsabschnitt	Gesamtfracht [g]	Fracht pro Weinbau-Betrieb [g/Betrieb]
Applikationsperiode 2006 (20. – 43. KW)	9552	28,6
Nov. 2006 bis April 2007	715	2,1
Applikationsperiode 2007 (20. – 43. KW)	5436	16,3

Für den Applikationszeitraum 2006 (20. – 43. KW) wurde eine durchschnittliche PSM-Fracht von 28,6 g pro Betrieb berechnet. Der Wert für den Vergleichszeitraum 2007 lag mit 16,3 g pro 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 pro 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 wichtigsten Wirkstoffe während der Hauptapplikationsperioden (20. – 43. KW) 2006 und 2007

Die mittleren Frachten einzelner Wirkstoffe pro Betrieb bezogen auf die Applikationsperiode stellt Tab. 20 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 wurde im Ablauf der KA_N in hohen Mengen vor allem zwischen der 30. Und der 35. KW detektiert (siehe auch Abb. 16 sowie Ausführungen unter Punkt 4.4). Das Fundmuster deckt sich relativ gut mit den Anwendungsempfehlungen des örtlichen PS-Warndienstes für die Fenhexamid-haltigen Präparat „Teldor“ und „Scala“, mit dem Hauptbestandteil Pyrimethanil. Deshalb ist zu vermuten, dass die Ursache für die relativ hohen Funde in Arbeitsschritten liegt, die direkt mit der PSM-Applikation in Verbindung stehen (Befüllen, Reinigen von Spritzgeräten).

Tab. 20. Frachten pro Weinbau-Betrieb für die wichtigsten Wirkstoffe im Durchschnitt der beiden Applikationszeiträume (jew. 20. – 43. KW) 2006 und 2007

Wirkstoff	Fracht pro Weinbau-Betrieb Mittel 2006 und 2007 (jew. 20. – 43. KW) [g/Betrieb]	Wirkstoff	Fracht pro Weinbau-Betrieb Mittel 2006 und 2007 (jew. 20. – 43. KW) [g/Betrieb]
Azoxystrobin	0,5	Folpet	0,8
Boscalid	1,9	Fludioxonil	0,8
Cyprodinil	1,0	Iprovalicarb	0,8
Dimethomorph	1,5	Pyrimethanil	4,7
Fenhexamid	5,5	Tebuconazol	1,5

4.2.2 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 (Tab. 21) und bei rund 0,4 g/ha außerhalb der Vegetationsperiode (Betrachtungszeitraum November 2006 bis Mai 2007). Tab. 22 zeigt die entsprechenden Werte für Einzelwirkstoffe.

Tab. 21. Gesamtfrachten (Summe 32 Wirkstoffe, ohne Fenpropimorph) bezogen auf die Rebfläche im Einzugsgebiet der KA_N in den einzelnen Betrachtungszeiträumen

Untersuchungsabschnitt	Gesamtfracht (ohne Fenpropimorph) g]	Fracht bezogen auf die Rebfläche im Einzugsgebiet [g/ha Rebfläche]
Applikationsperiode 2006 (20. – 43. KW)	9.552	4,63
Nov. 2006 bis April 2007	715	0,35
Applikationsperiode 2007 (20. – 43. KW)	5.436	2,63

Die berechneten Einzelfrachten bezogen auf die Rebfläche liegen zwischen 0,08 g/ha (Azoxystrobin) rund 0,9 g/ha (Fenhexamid); Datengrundlage bei dieser Berechnung waren die Einzelfrachten in den Vergleichszeiträumen 2006 und 2007.

Tab. 22. Einzelwirkstoff-Frachten bezogen auf die Rebfläche der Weinbaubetriebe im Einzugsgebiet der KA_N, Mittel der Applikationszeiten (jew. 20. – 43. KW) 2006 und 2007

Wirkstoff	Fracht bezogen auf die Rebfläche im Einzugsgebiet [g/ha Rebfläche]	Wirkstoff	Fracht bezogen auf die Rebfläche im Einzugsgebiet [g/ha Rebfläche]
Azoxystrobin	0,08	Folpet	0,14
Boscalid	0,33	Fludioxonil	0,13
Cyprodinil	0,16	Iprovalicarb	0,14
Dimethomorph	0,25	Pyrimethanil	0,76
Fenhexamid	0,89	Tebuconazol	0,23

4.3 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 (s. Tab. 23). 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 aus-

gewerteten Wertepaaren. Die entsprechenden graphischen Darstellungen der Regressionsanalysen für ausgewählte Wirkstoffe sind im Anhang zu finden. Insgesamt gesehen ist auf Basis dieser Auswertung kein systematischer Zusammenhang zwischen dem Niederschlagsgeschehen und der PSM-Fracht im Kläranlagenablauf zu erkennen.

Tab. 23. 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

Wirkstoff	Bestimmtheitsmaß Mai - Okt. 2006	Bestimmtheitsmaß Nov. 2006 - Mai 2007	Bestimmtheitsmaß Mai - Okt. 2007
Azoxystrobin	0,01	--	0,07
Boscalid	0,17	0,00	0,00
Cyprodinil	0,01	0,14	0,10
Dimethomorph	0,00	--	0,30
Fenhexamid	0,66	--	0,03
Fenpropimorph	0,13	--	--
Fludioxonil	0,06	--	0,10
Folpet	0,93	--	0,10
Iprovalicarb	0,29	--	0,48
Pyrimethanil	0,17	--	0,17
Tebuconazol	0,19	0,00	0,19

4.4 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 dreier Pilzkrankheiten eingesetzt werden. Es handelt sich dabei um die Erreger des Edel- oder Grauschimmel *Botrytis (Botrytis cinerea)*, Echten Mehltau (*Oidium*) 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*, *Peronospora* bzw. *Oidium* 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 Botryzid-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.

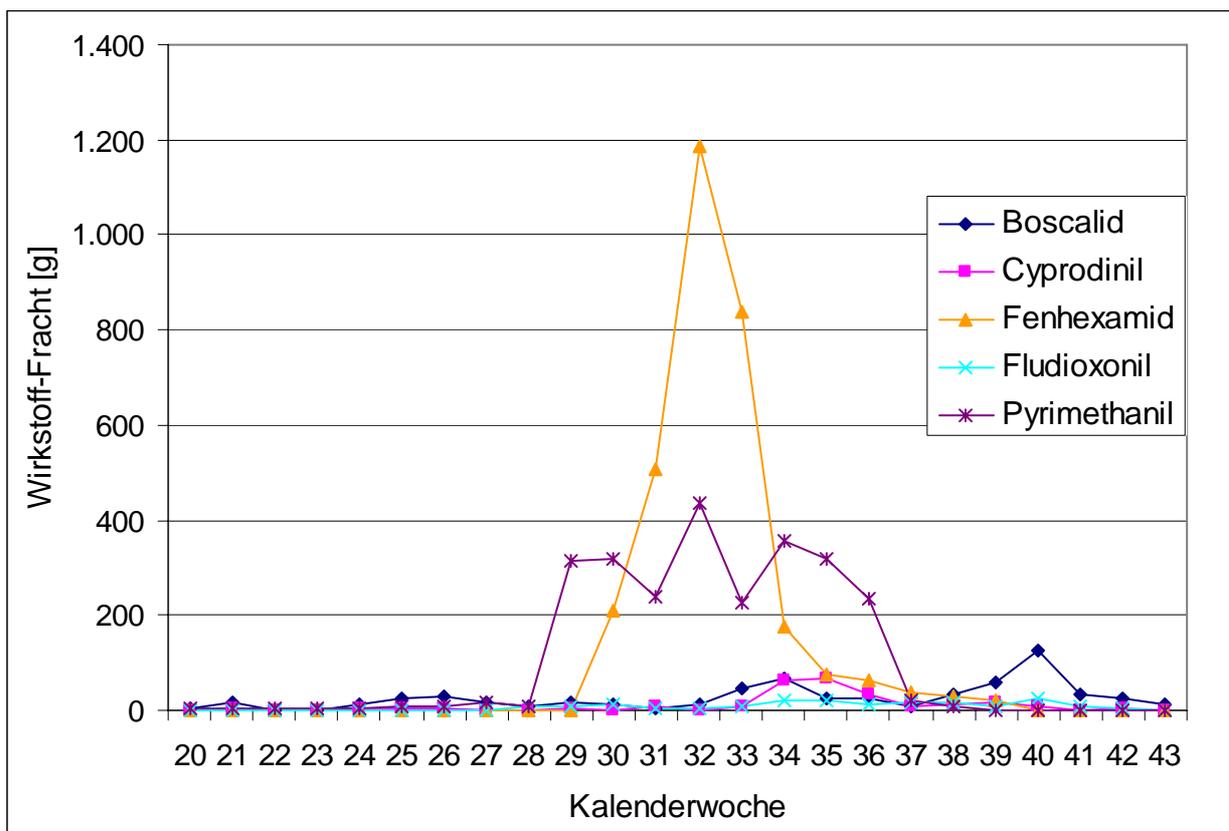


Abb. 16. Wöchentliche Frachten von Botryziden im Ablauf der KA_N während der Applikationsperiode 2006 (20. – 43. KW)

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, Dimethomorph, 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).

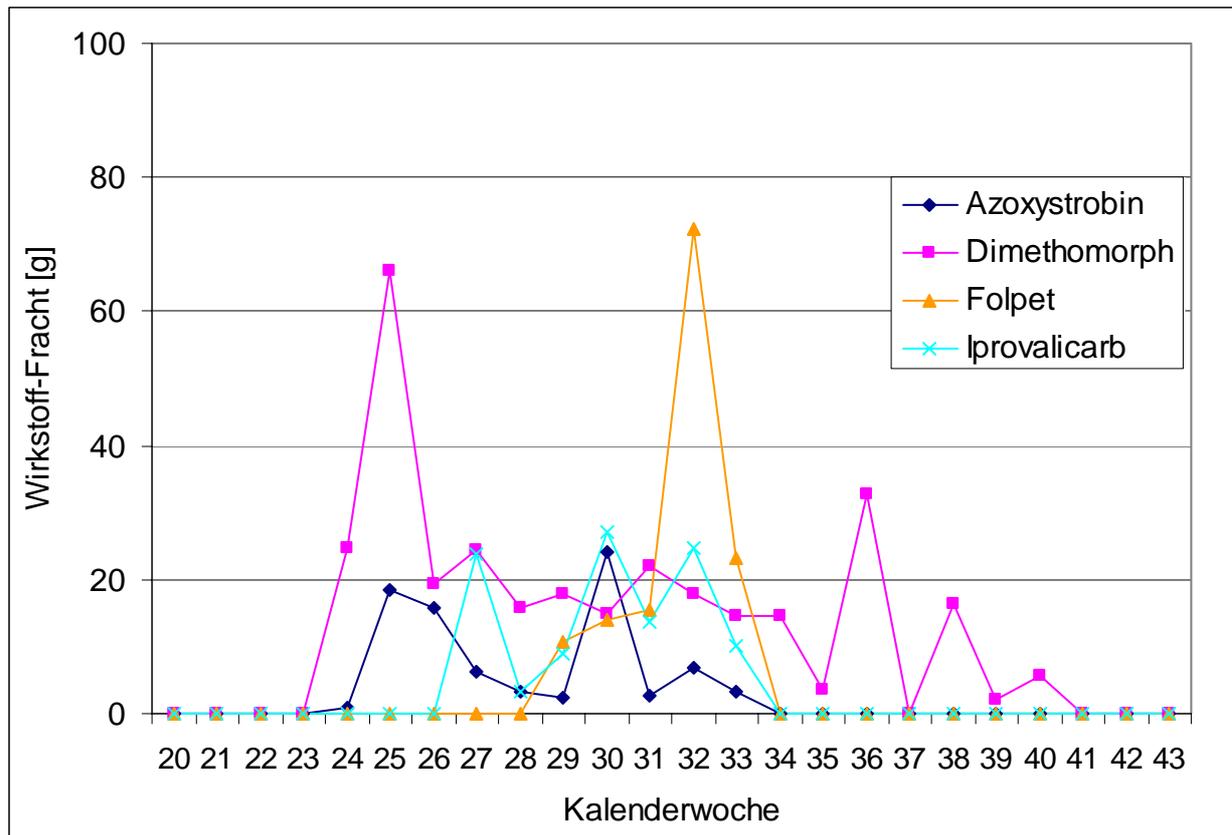


Abb. 17. Wöchentliche Frachten von Peronospora-Fungiziden im Ablauf der KA_N während der Applikationsperiode 2006 (20. – 43. KW)

Tebuconazol ist Bestandteil des Universalfungizids *Folicur EM* gegen Oidium, Botrytis und Peronospora (BVL, 2007a)¹⁴. 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 Landwirte sich ungefähr zeitgleich im Ablauf der KA_N widerspiegelt, kann die generelle

¹⁴ Die Anwendung von Folicur EM ist aufgrund des Gehalts an Tolyfluamid seit dem 21.02.2007 im Freiland verboten (BVL, 2007 b).

Abnahme der Funde (Abb. 22 und 23.) ab der 37. KW mit beginnender Lese bzw. der entsprechenden Wartezeit davor damit begründet werden.

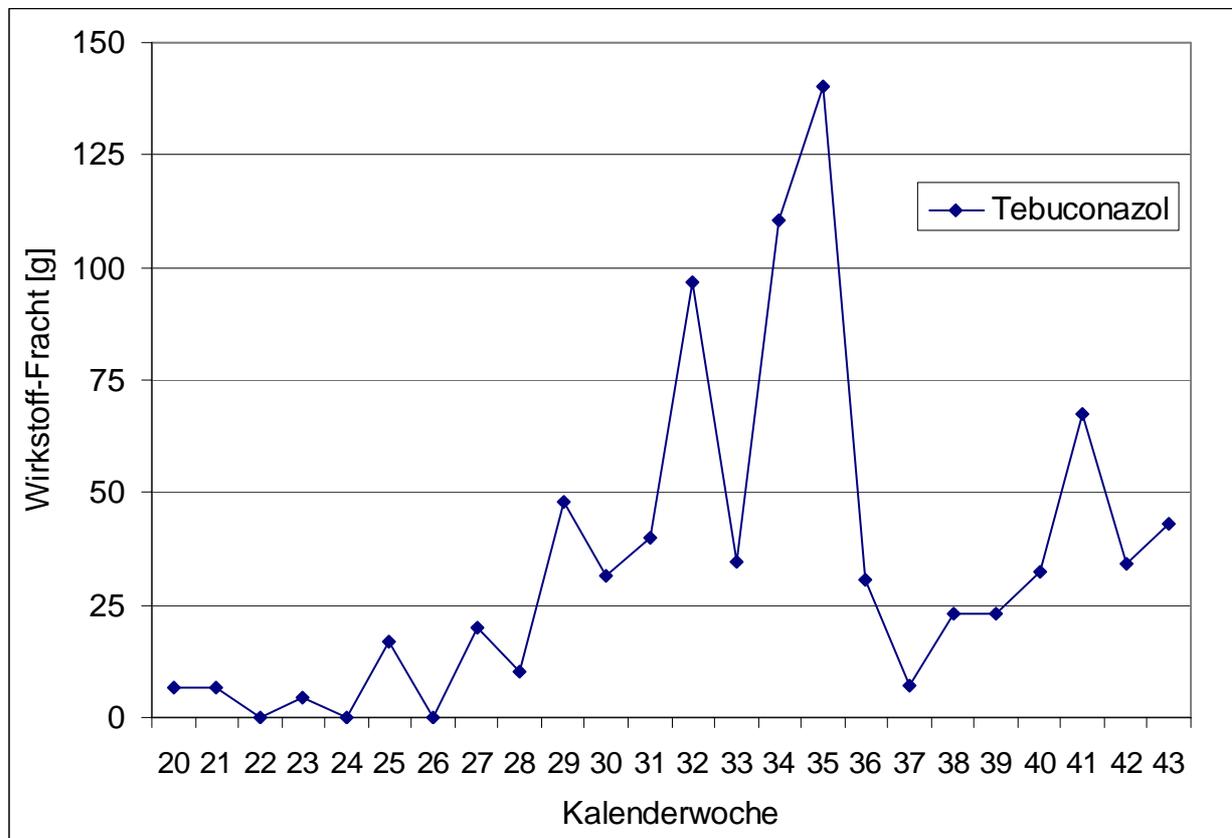


Abb. 18. Wöchentliche Frachten eines Universal-Fungizids im Ablauf der KA_N während der Applikationsperiode 2006 (20. – 43. KW)

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 Hofentwässerung 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.

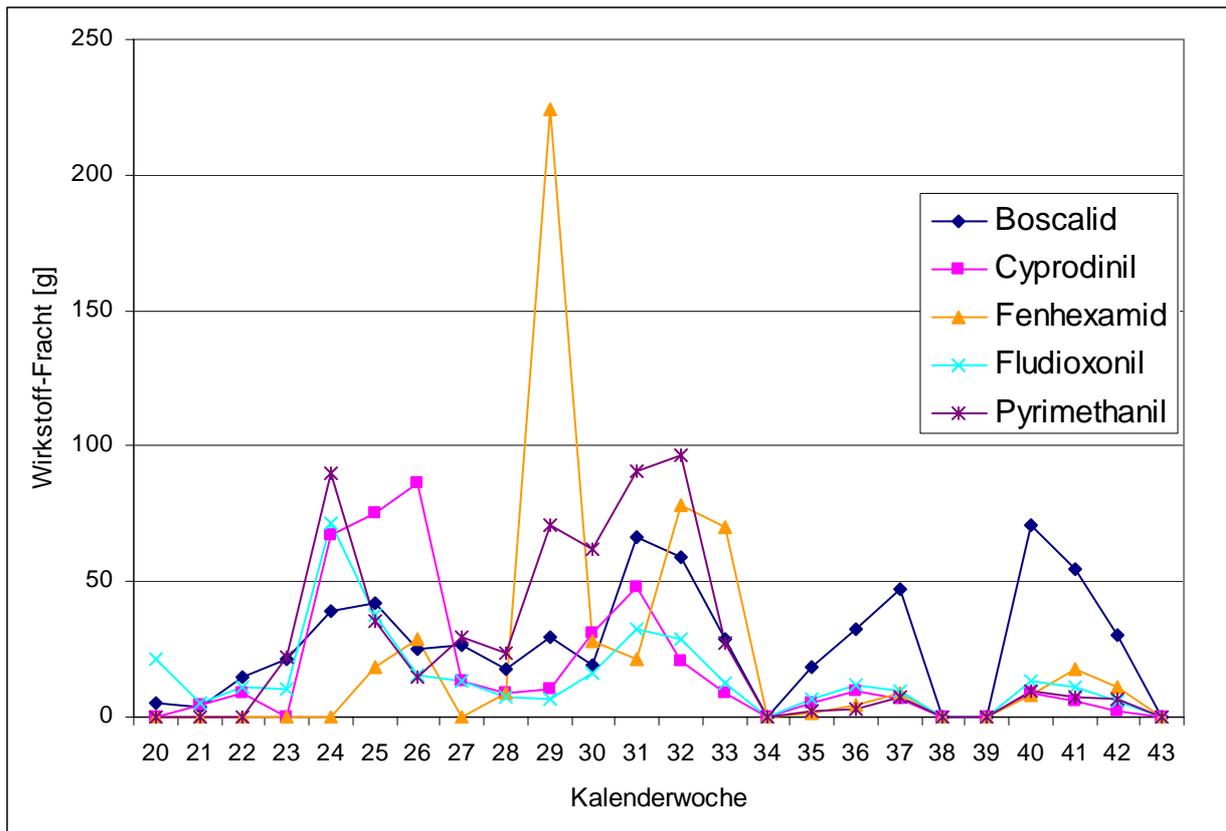


Abb. 19. Wöchentliche Frachten von Botryziden im Ablauf der KA_N während der Applikationsperiode 2007 (20. – 43. KW) (für KW 34, 38 und 39 in 2007 keine Daten infolge Probenverlust)

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 Dimethomorph) 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 Dimethomorph im Ablauf der KA_N waren ab dem 23.07. (30. KW) zu verzeichnen.

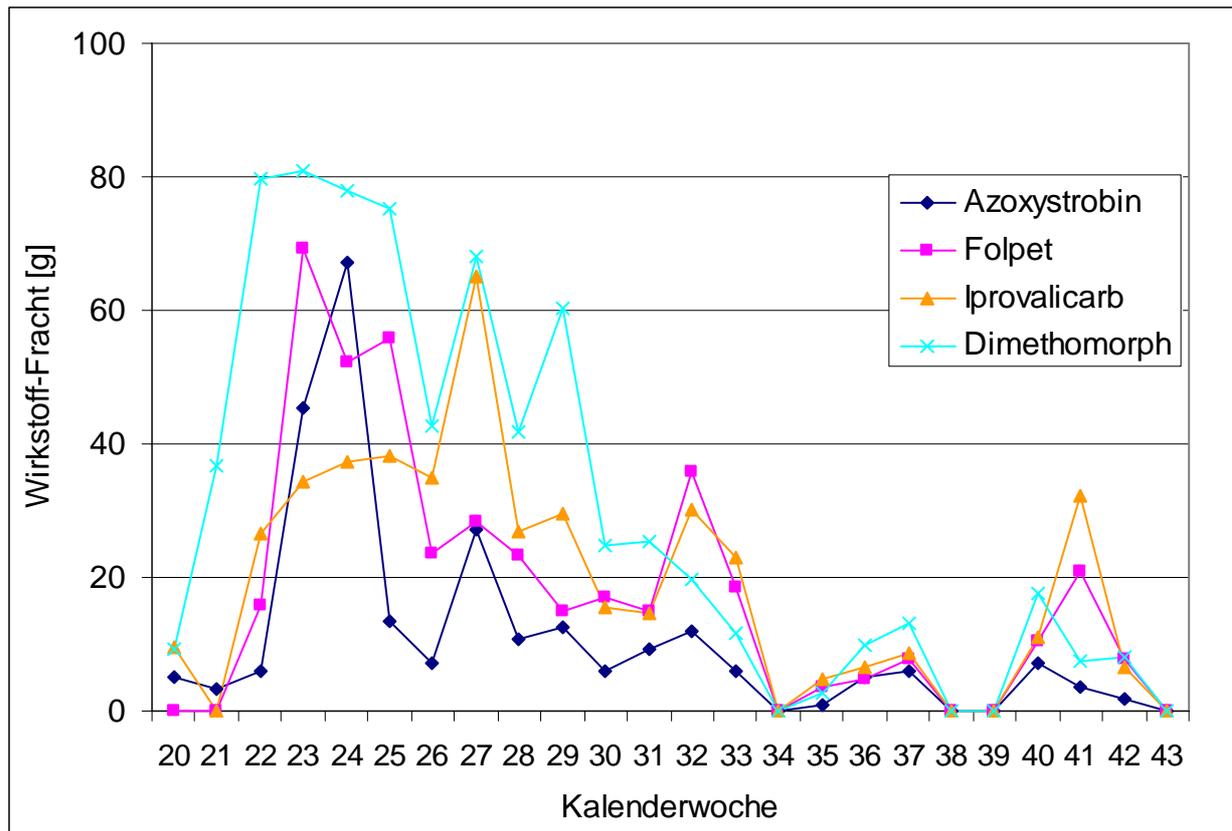


Abb. 20. Wöchentliche Frachten von Peronospora-Fungiziden im Ablauf der KA_N während der Applikationsperiode 2007 (20. – 43. KW) (für KW 34, 38 und 39 in 2007 keine Daten infolge Probenverlust)

4.5 Fazit der Untersuchung der 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 zeigt 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 Spezialbotryziden 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 Einzelwirkstoff-Fracht im Jahr 2007 von 714 g betraf Dimethomorph (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 Spritzgerätereinigung nach Saisonabschluss – weiterhin auch die Befrachtung 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 ist auf Basis der vorliegenden Daten nicht zu erkennen. 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) betonen die Bedeutung der Abwaschung von PSM von befestigten Wirtschaftswegen für die PSM-Kontamination von Oberflächengewässern, ohne diese Hypothese allerdings quantitativ zu belegen. Gabriel und Seel (2002) stellten im Rheingau hohe PSM-Konzentrationen in Regenrückhaltebecken fest.

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 Rheinpfalz 2006 und 2007) und den wöchentlichen Frachten der Bestandteile von Spezialbotryziden 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).

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/Betrieb. Im Jahr 2007, einem Jahr mit durchschnittlichem Witterungsverlauf und Befallsdruck, wurde dagegen nur eine Fracht von ca. 16 g/Betrieb gemessen. Außerhalb der Vegetationsperiode (Nov. 2006 bis Mai 2007) war die Fracht wesentlich geringer und betrug nur rd. 2 g/Betrieb. Die Frachten der beiden Einzelwirkstoffe (Fenhexamid und Pyrimethanil), auf die der größte Anteil an der Gesamtfracht entfällt, liegen im Durchschnitt der beiden Hauptapplikationsperioden in einer Größenordnung von ca. 5 g/Betrieb.

Abschließend wird noch kurz auf die Funde der Substanzen Atrazin und Simazin eingegangen. Wenn man unterstellt, dass diese Wirkstoffe in der KA_N (Jahr 2007) aus den angeschlossenen Weinbaubetrieben stammen, dann betragen die Frachten 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

In den folgenden Kapiteln werden zunächst die Nachweishäufigkeiten und die Maximal-Konzentrationen in den jeweiligen Betrachtungszeiträumen dargestellt. Dem schließen sich die Ergebnisse zu den Gesamtfrachten sowie zu den Kenngrößen „Frachten pro Spritzgerät“ sowie „Frachten pro ha Applikationsfläche“ an. Weiterhin wird auf den Zusammenhang zwischen Niederschlagsverteilung im Einzugsgebiet und Frachthöhe eingegangen. Den Abschluss bildet ein Abgleich von Fund- und Applikationszeiträumen frachtdominierender Wirkstoffe.

5.1 Nachweishäufigkeiten und maximale Konzentrationen im Kläranlagenablauf

Im Rahmen der vorliegenden Untersuchung wurden die 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; drei der Kläranlagen (KA_B, KA_L und KA_O) sind im Herbst 2007 und Frühjahr 2008 erneut untersucht worden. Mit Ausnahme der Beprobung der KA_B in Herbst 2007 und Frühjahr 2008 wurden jeweils Drei- bzw. Viertagesmischproben analysiert. Aufgrund von Verzögerungen und technischen Problemen bei der Installation der Probenahmeeinrichtungen sowie infolge von Verlusten beim Probentransport variiert der Stichprobenumfang für die einzelnen Kläranlagen im Herbst 2006 zwischen 16 und 26.

5.1.1 Fundhäufigkeiten

Einen Überblick über die Häufigkeiten, mit denen die einzelnen Wirkstoffe in der ersten Untersuchungsperiode Herbst 2006 und in Frühjahr 2007 mit einer Konzentration oberhalb der Bestimmungsgrenze von 0,05 µg/l in den Proben der einzelnen Kläranlagen gefunden wurden, gibt Tab. 24 (da sich die absoluten Nachweishäufigkeit der drei Kläranlagen in der zweiten Untersuchungsperiode davon nicht wesentlich unterscheiden, wird auf eine entsprechende Darstellung hier verzichtet). Die Kläranlagen mit den größten Nachweishäufigkeiten >BG sind die KA_O und KA_ mit jeweils über 40 % Nachweisen im Frühjahr 2007 und mehr als 30 % Nachweisen im Herbst 2006. In diesen beiden Kläranlagen wurden die Substanzen Diuron, Isoproturon, MCPA, MCPP, Metamitron (sowie Abbauprodukt Desamino-Metamitron)

und Tebuconazol im Frühjahr 2007 sowie – mit Einschränkungen - auch im Herbst 2006 in allen oder nahezu allen Proben detektiert. Kläranlage KA_J zeigt mit weniger als 10 % der Proben <BG die geringsten Nachweishäufigkeiten und ist die einzige Kläranlage, bei der die Nachweishäufigkeit >BG im Herbst 2006 höher war als im Frühjahr 2007.

Tab. 24. Nachweishäufigkeit (Anzahl der Proben >BG) von PSM-Wirkstoffen im Ablauf der sieben Ackerbau-Kläranlagen, erster Untersuchungszeitraum Herbst 2006 (H.06; 33. – 46. KW) und Frühjahr 2007 (Fj.07; 10. – 23. KW). **Grau** unterlegt: Nachweishäufigkeit $\geq 50\%$.

Wirkstoff	KA_B		KA_F		KA_J		KA_L		KA_O		KA_Reis		KA_Rh	
	H.06	Fj.07	H.06	Fj.07	H.06	Fj.07	H.06	Fj.07	H.06	Fj.07	H.06	Fj.07	H.06	Fj.07
	n=22	n=26	n=26	n=26	n=18	n=26	n=26	n=26	n=16	n=26	n=18	n=26	n=25	n=26
2,4-D	0	2	0	2	0	11	0	9	0	9	0	0	2	0
2,4-DP	0	3	1	8	5	0	2	6	13	23	1	2	0	0
Amidosulfuron	0	0	0	3	0	0	0	0	0	8	0	0	0	0
Atrazin	0	2	1	4	0	0	1	18	6	8	8	9	0	0
Desethyl-Atrazin	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	17	9	0	0
Azoxystrobin	0	0	1	1	0	4	2	11	0	1	0	0	0	0
Bentazon	2	3	7	9	0	5	0	0	15	20	0	0	0	0
Bromacil	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Diflufenican	5	0	0	0	0	0	0	0	10	2	0	0	0	0
Dimethoat	0	2	0	0	0	0	0	3	0	2	0	0	0	0
Diuron	7	21	14	14	5	5	26	24	9	26	1	17	24	23
Epoxiconazole	0	7	0	11	0	5	10	12	0	13	0	0	0	0
Ethofumesat	0	5	0	13	0	9	26	26	16	26	0	12	0	0
Fenpropidin	0	0	2	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0
Fenpropimorph	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Flufenacet	2	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3
Isoproturon	8	7	14	19	8	3	26	26	16	26	1	24	6	12
MCPA	4	9	11	14	2	11	25	26	9	23	3	7	5	5
MCPP	9	4	17	13	0	0	23	24	9	23	3	8	21	2
Metamitron	0	5	0	13	0	12	10	21	10	26	0	12	4	0
Desamino-Metamitron	0	3	4	13	0	9	18	20	16	26	0	10	3	0
Metazachlor	4	0	13	0	0	0	4	0	3	1	2	4	0	0
Metribuzin	0	5	0	4	1	0	4	22	0	3	0	0	3	0
Propiconazol	0	2	0	0	0	2	19	19	1	17	0	0	0	0
S-Metolachlor	0	0	0	1	0	0	0	1	0	4	0	7	0	5
Spiroxamine	0	2	0	4	2	1	4	0	1	9	0	5	0	0
Tebuconazol	5	10	2	13	11	22	19	24	11	24	0	1	0	0
Terbutylazin	2	1	0	7	0	3	2	10	0	8	0	8	0	3
Summe	48	93	90	167	34	102	224	302	145	328	36	135	68	53
Anteil an Gesamtzahl Analysen	7,8%	12,8%	12,4%	22,9%	6,7%	14,0%	30,8%	41,5%	32,4%	45,1%	7,1%	18,5%	9,7%	7,3%

Tab. 25 listet die Rangfolge der Wirkstoffnachweise in der Summe über alle Kläranlagen und im ersten Untersuchungszeitraum (Herbst 2006 und Frühjahr 2007). Insgesamt wurden rund 1800 Wirkstoff-Befunde, entsprechend 19,3 % aller Analysen, oberhalb der Bestimmungsgrenze festgestellt, von denen rund 35 % auf den Herbst 2006 und 65 % auf das Frühjahr 2007 entfallen. Hinter Diuron ist Isoproturon der am häufigsten gefundene (landwirtschaftliche) Wirkstoff, der in insgesamt 82,6 % aller Proben und davon in 58,6 % mit einer Konzentration >BG nachgewiesen worden ist. Für weitere fünf Wirkstoffe (MCP, MCPA, Tebuconazol, Ethofumesat, Metamitron) und den Metabolit Desamino-Metamitron liegen die Nachweishäufigkeiten (>BG) über einem Drittel (33,3 %) der Proben.

Tab. 25. Reihenfolge der Häufigkeiten der Nachweise (insgesamt und >BG) von Wirkstoffen sieben Ackerbau-Kläranlagen im ersten Untersuchungszeitraum Herbst 2006 (33. – 46. KW) und Frühjahr 2007 (10. – 23. KW)

Rang ^a	Wirkstoff	Anzahl Nachweise insgesamt	Anzahl Nachweise >BG	Anteil „Nachweise >BG“
1	Diuron	267	212	63,7%
2	Isoproturon	275	195	58,6%
3	MCP	218	153	45,9%
4	MCPA	190	151	45,3%
5	Tebuconazol	196	140	42,0%
6	Ethofumesat	133	132	39,6%
7	Desamino-Metamitron	139	120	36,0%
8	Metamitron	156	113	33,9%
9	2,4-DP	102	63	18,9%
10	Bentazon	98	60	18,0%
11	Propiconazol	163	58	17,4%
12	Epoxiconazol	107	57	17,1%
13	Atrazin	116	56	16,8%
14	Terbuthylazin	122	44	13,2%
15	Metribuzin	49	42	12,6%
16	2,4-D	67	34	10,2%
17	Metazachlor	141	31	9,3%
18	Desethyl-Atrazin	44	27	8,1%
19	Spiroxamine	65	26	7,8%
19	Azoxystrobin	81	20	6,0%
21	S-Metolachlor	60	18	5,4%
21	Diflufenican	32	17	5,1%
23	Amidosulfuron	12	11	3,3%
24	Flufenacet	24	7	2,1%
25	Dimethoat	18	7	2,1%
26	Fenpropidin	24	3	0,9%
27	Fenpropimorph	7	0	0,0%
28	Bromacil	0	0	0,0%
	Summe (28 Wirkstoffe)	2906	1797	19,3%

^{a)} Rangfolge gemäß dem Anteil der „Nachweise >BG“

Die acht Wirkstoffe 2,4-DP, Bentazon, Propiconazol, Epoxiconazol, Atrazin, Terbutylazin, Metribuzin, 2,4-D nehmen eine Mittelstellung ein und wurden zwischen 20 % und 10 % der Proben oberhalb BG detektiert. Besonders hinzuweisen ist auf den Umstand, dass sich darunter auch der Wirkstoff Atrazin befindet, der immerhin in jeder sechsten Probe mit einer Konzentration >BG zu finden war. Sehr selten bzw. überhaupt nicht oberhalb BG wurden nur die drei Substanzen Fenpropidin, Fenpropimorph und Bromacil gefunden.

Tab. 26. Reihenfolge der Häufigkeiten der Nachweise (insgesamt und >BG) von Wirkstoffen in drei Ackerbau-Kläranlagen im zweiten Untersuchungszeitraum Herbst 2007 (33.–46. KW) und Frühjahr 2008 (KA_B: 8.–23. KW; KA_L und KA_B: 10.–23. KW)

Rang ^a	Wirkstoff	Anzahl Nachweise insgesamt	Anzahl Nachweise >BG	Anteil „Nachweise >BG“
1	Isoproturon	143	133	85%
2	Ethofumesat	128	113	72%
3	Diuron	144	110	71%
4	MCPA	128	108	69%
5	<i>Desamino-Metamitron</i>	111	103	66%
6	MCP	119	79	51%
7	2,4-DP	80	60	38%
8	Bentazon	109	59	38%
9	Tebuconazol	94	56	36%
10	Propiconazol	119	52	33%
11	Metamitron	64	49	31%
12	Fluoroxypyr	59	41	26%
13	Terbutylazin	77	29	19%
14	<i>Atrazin</i>	66	25	16%
15	Quinmerac	36	24	15%
16	2,4-D	59	23	15%
	Epoxiconazol	46	23	15%
17	Metribuzin	40	20	13%
18	Diflufenican	43	18	12%
19	Flurtamone	17	12	8%
	Spiroxamine	61	12	8%
20	Azoxystrobin	31	11	7%
21	Amidosulfuron	7	7	4%
22	Metazachlor	60	6	4%
23	<i>Bromacil</i>	5	5	3%
	Flufenacet	9	5	3%
24	loxynil	35	4	3%
25	Fenpropimorph	12	3	2%
26	Fenpropidin	31	2	1%
	S-Metolachlor	3	2	1%
27	Dimethoat	8	1	1%
28	<i>Desethyl-Atrazin</i>	0	0	0%
	Clomazone	0	0	0%
	Mesosulfuron	0	0	0%
	Propoxycarbazone	0	0	0%
	Prothiocanazole	0	0	0%
	Summe (36 Wirkstoffe)	1944	1195	21%

^{a)} Rangfolge gemäß dem Anteil der „Nachweise >BG“

Tab. 26 zeigt die Rangfolge der Wirkstoffnachweise in den drei Kläranlagen, deren Beprobung im zweiten Untersuchungszeitraum (Herbst 2007 und Frühjahr 2008) fortgesetzt wurde. Bezogen auf die Gesamtzahl der Analysen hat sich der Anteil der Nachweise >BG mit 21 % nicht wesentlich erhöht, auch die Verteilung auf Herbst und Frühjahr entspricht ungefähr der Situation in der ersten Untersuchungsperiode. Das Bild ist jedoch dadurch verschoben, dass von den in der zweiten Periode 2008 zusätzlich analysierten Wirkstoffe (s. Kap. 3.2.2) die Mehrzahl gar nicht bzw. nur selten nachgewiesen wurden, wodurch sich die Grundgesamtheit vergrößert, auf die der Anteil der Nachweise >BG bezogen wird. Von den zusätzlichen Substanzen sind nur Fluorxoypur (26 % Nachweise >BG) und Quinmrac (15 % >BG) häufiger nachgewiesen worden.

Tatsächlich hat sich für viele Wirkstoffe die rechnerische Zahl der Nachweise >BG im Mittel der drei Kläranlagen in der zweiten Periode deutlich erhöht, was insbesondere in der „Spitzengruppe“ der Nachweishäufigkeiten (Top 10 der Rangfolge) hervortritt. Mit deutlichem Abstand sind hier die Wirkstoffe Isoproturon, Ethofumesat, MCPA, MCPP und Desamino-Metamitron zu nennen, die mit Nachweishäufigkeiten >BG in 85 % bis 51 % der Analysen auftreten. Bei einem Vergleich der Werte aus Tab. 26 mit Tab. 25 ist jedoch zu beachten, dass in der zweiten Untersuchungsperiode nur noch gezielt diejenigen drei Kläranlagen beprobt worden sind, die sich durch hohe Frachten ausgezeichnet haben.

5.1.2 Konzentrationsmaxima der Wirkstofffunde

Im ersten Untersuchungszeitraum (Herbst 2006 und Frühjahr 2007) betrug die höchste gemessene Konzentration eines Wirkstoffes in einer Einzelprobe 37 µg/l (Metamitron in Probe 18/2¹⁵ der KA_O, s. Tab. 27), eine vergleichbare Größenordnung ist auch zwei Wochen später im Ablauf der KA_L detektiert worden (24,9 µg/l in Probe 20/2). Beide Konzentrationspeaks sind jeweils begleitet von hohen Konzentrationen für Desamino-Metamitron (KA_O: 20,2 µg/l und KA_L: 6,8 µg/l). Maximal-Konzentrationen über 10 µg/l wurden weiterhin für MCPA (27,3 µg in Probe 21/1 der KA_L) und zweimal für Isoproturon (KA_L mit 19,7 µg/l in Probe 12/2 sowie KA_L mit 12 µg/l) ermittelt.

¹⁵ Die Probenbezeichnung setzt sich aus der Kalenderwoche der Probenahme sowie der Ziffer 1 (für Montagsprobe) oder 2 (für Donnerstagsprobe) zusammen.

Tab. 27. Maximale Konzentrationen der PSM-Wirkstoffe in Einzelproben im Ablauf der sieben Ackerbau-Kläranlagen im ersten Untersuchungszeitraum Herbst 2006 (**H.06**; 33. – 46. KW) und Frühjahr 2007 (**Fj.07**; 10. – 23. KW). **Grau unterlegt:** Konzentrations-Maximum >3 µg/L.

Wirkstoff	KA_B		KA_F		KA_J		KA_L		KA_O		KA_Reis		KA_Rh	
	H.06	Fj.07	H.06	Fj.07	H.06	Fj.07	H.06	Fj.07	H.06	Fj.07	H.06	Fj.07	H.06	Fj.07
	Konzentrations-Maximum [µg/L]													
2,4-D		0,05		0,99		0,99		0,15		0,34				0,07
2,4-DP		1,59	0,11	1,11	1,08		0,12	0,10	0,23	3,16	0,14	0,26		
Amidosulfuron				0,25						0,36				
Atrazin		0,22	0,05	0,72			0,06	8,70	0,48	0,45	0,15	0,09		
Desethyl-Atrazin			0,12	0,07							0,19	0,09		
Azoxystrobin			0,08	0,07		0,14	0,06	0,11		0,06				
Bentazon	0,12	0,12	0,08	1,22		0,20			0,86	1,74				
Bromacil														
Diflufenican	0,14								0,10	0,09				
Dimethoat		0,07						0,14		0,06				
Diuron	0,64	6,96	0,20	0,31	0,50	0,09	0,60	1,85	0,61	0,86	0,09	0,52	0,32	2,39
Epoxiconazole		0,29		0,17		0,07	0,17	0,19		0,69				
Ethofumesat		0,25		0,81		0,75	0,35	4,79	3,13	8,54		0,55		
Fenpropidin			0,06				0,15							
Fenpropimorph														
Flufenacet	0,07		0,18											0,06
Isoproturon	0,12	2,25	9,32	1,50	0,14	0,45	7,16	19,70	7,34	12,66	0,54	1,23	0,12	0,50
MCPA	0,41	0,77	0,68	0,64	0,44	0,14	0,73	27,26	0,90	7,98	1,01	0,09	0,17	0,26
MCPP	0,11	0,07	0,60	0,18			1,09	1,08	0,20	3,51	0,66	0,51	0,37	0,13
Metamitron		0,49		2,71		5,08	1,29	24,87	0,63	37,00		2,21	0,31	
Desamino-Metamitron		0,12	0,07	1,08		2,72	0,85	8,50	0,91	20,20		0,32	0,23	
Metazachlor	0,37		2,61				0,36		0,22	0,06	0,05	0,88		
Metribuzin		0,17		0,16	0,07		0,08	2,05		0,16			0,30	
Propiconazol		0,14				0,06	0,19	0,12	0,05	0,55				
S-Metolachlor				0,07				0,44		0,76		0,57		0,19
Spiroxamine		0,17		0,14	0,06	0,06	0,08		0,05	0,25		0,13		
Tebuconazol	0,11	0,31	0,07	0,64	0,10	0,95	0,10	1,05	0,10	1,87		0,32		
Terbuthylazin	0,10	0,06		0,21		0,26	0,07	3,21		3,86		0,58		0,16

Für die meisten Wirkstoffe und Kläranlagen sind, mit wenigen Ausnahmen, die Spitzenkonzentrationen im Frühjahr 2007 höher bis sehr viel höher als im Herbst 2006. Analog zu den Nachweishäufigkeiten zeichnen ich auch bei den Maximalkonzentrationen die beiden Kläranlagen KA_L und KA_O durch die höchsten gefundenen Konzentrationen aus.

Die zwölf Substanzen 2,4-D, Amidosulfuron, Desethyl-Atrazin, Azoxystrobin, Diflufenican, Dimethoat, Epoxiconazole, Fenpropidin, Flufenacet, Propiconazol, S-Metolachlor und Spiroxamine traten im ersten Untersuchungsabschnitt in keiner Probe mit einer Konzentration über 1 µg/l in Erscheinung; außerdem wurden Bromacil und Fenpropimorph überhaupt nicht detektiert.

Überraschend hoch ist das Maximum der Atrazin-Konzentration im Frühjahr 2007, das mit 8,7 µg/l in der Probe 12/2 der KA_L gefunden wurde. Es 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, Desethyl-Atrazin wurde während der gesamten Beprobungskampagne niemals detektiert.

Tab. 28 gibt die Konzentrationsmaxima in den drei Kläranlagen des zweiten Untersuchungsabschnitts getrennt für Herbst 2007 und Frühjahr 2008 wieder. Es ist auffällig, dass die Größenordnung der maximalen Konzentrationen für einige Wirkstoffe um mindestens eine Größenordnung (Faktor 10) über den Werte der Vorperiode liegt. Insbesondere ragt der Spitzenwert von fast 600 µg/L (sic!; der Wert wurde in einer Nachanalyse bestätigt) in der Probe 39/2 der KA_O heraus, die zweithöchste Konzentration von 2,4-DP in der KA_O erreichte immerhin noch 86 µg/L. In den KA_L und KA_O wurden für mehrere Herbizid-Wirkstoffe im Ablauf der Kläranlagen Konzentrationen in einer Größenordnung bestimmt, die bislang aus anderen Untersuchungen noch niemals berichtet worden ist. Insgesamt gesehen sind auch im zweiten Untersuchungsabschnitt die maximalen Konzentrationen im Frühjahr (2008) meistens wesentlich höher als im Herbst (2007); nur für die KA_O zeigt sich bei einer Reihe von Wirkstoffen (u.a. 2,4-D, 2,4-DP, Ioxynyl, Isoproturon und MCPA) infolge der zum Teil exorbitanten Austräge im Herbst 2007 eine umgekehrte Verteilung.

Die Mittelwerte der Konzentrationen sowie die detaillierten Frachtergebnisse für die einzelnen Wirkstoffe in den Kläranlagen sind tabellarisch im Anhang wiedergegeben (Tab. A-3 bis Tab. A-8).

Tab. 28. Maximale Konzentrationen der PSM-Wirkstoffe in Einzelproben im Ablauf der drei Ackerbau-Kläranlagen im zweiten Untersuchungszeitraum Herbst 2007 (**H.07**: 33. – 48. KW) und Frühjahr 2008 (**Fj.08**: KA_B: 8.–33. KW, KA_L und KA_O: 10.–23. KW), **Grau** unterlegt: Konzentrations-Maximum >3 µg/L

Wirkstoff	KA_B		KA_L		KA_O	
	H.07	Fj.08	H.07	Fj.08	H.07	Fj.08
Konzentrations-Maximum [µg/l]						
2,4-D		0,07	0,64	0,13	3,42	0,13
2,4-DP		2,57	0,33	1,85	593,62	3,70
Amidosulfuron		0,24				0,76
Atrazin		0,17	0,04	1,09	0,17	1,42
Desethyl-Atrazin						
Azoxystrobin				0,41	0,09	0,05
Bentazon	0,02	0,54	0,84	1,25	0,28	2,86
Bromacil				0,16		
Clomazone						
Diflufenican	0,03		0,05	0,02	0,20	
Dimethoat	0,35		0,02		0,01	
Diuron	0,19	0,32	0,57	2,09	0,13	2,42
Epoxiconazole		0,14	0,04	0,95	0,06	0,22
Ethofumesat		0,34	0,57	8,79	1,46	2,45
Fenpropidin			0,05	0,05	0,01	0,08
Fenpropimorph				0,09		0,01
Flufenacet			0,22		0,09	
Fluoroxypyr		0,47	0,07	1,35	0,51	0,83
Flurtamone	0,63				1,38	
Ioxynil					7,80	
Isoproturon	0,50	1,76	8,04	42,58	31,11	6,62
MCPA	0,15	0,61	0,72	8,87	14,52	8,06
MCPP	0,03	0,25	0,67	3,89	2,95	2,40
Mesosulfuron						
Metamitron		6,50	0,09	33,27	1,14	10,07
Desamino-Metamitron		4,87	1,25	17,00	1,53	14,58
Metazachlor	0,13		0,17	0,03	0,68	0,04
Metribuzin			0,04	10,34	0,12	3,07
Propiconazol	0,04	0,05	0,26	0,19	0,12	0,24
Propoxycarbazone						
Prothiocanazole						
Quinmerac	0,01		0,27	1,31	0,03	0,96
S-Metolachlor					0,12	
Spiroxamine			0,09	0,57	0,02	0,35
Tebuconazol	0,66	0,39	0,09	2,05	0,20	0,15
Terbuthylazin		0,40	0,07	1,02	0,23	0,74

5.2 PSM-Frachten

5.2.1 Gesamtfrachten im Kläranlagenablauf

Die absoluten Frachten im Ablauf der sieben Kläranlagen in der ersten Untersuchungsperiode überspannen zwei Größenordnungen, zwischen der Kläranlage KA_J mit der geringsten Fracht von 147 g und der KA_O mit 14.793 g liegt der Faktor einhundert (Summe von 28 Wirkstoffen, ohne Diuron, Tab. 29). Das Verhältnis der Frachten Herbst 2006 zu Frühjahr 2007 reicht von annähernd 1 : 1 (KA_Rh) bis zu ungefähr 1 : 10 (KA_J, KA_L und KA_O), im Durchschnitt der sieben Kläranlagen verteilt sich die Fracht auf 21 % im Herbst und 79 % im Frühjahr in Anbaujahr 2006/07.

Die drei Kläranlagen KA_B, KA_L und KA_O waren für die weitere Beprobung im zweiten Untersuchungsabschnitt ausgesucht worden, da sie die höchsten Frachten pro Spritzgerät (s. Kap. 5.2.2) aufweisen. Es ist auffällig, dass für alle drei Kläranlagen im Anbaujahr 2007/08 erheblich höhere Frachten festgestellt wurden im Vergleich zur Vorperiode. Die größte relative Zunahme tritt bei der KA_B auf, deren Fracht auf mehr als das Dreieinhalbfache stieg. In der KA_O wurde ein singuläres Phänomen beobachtet: Im Herbst 2007 traten in einzelnen Proben exorbitant hohe Konzentrationen von 2,4-DP in Erscheinung, so dass sich die Fracht dieses Wirkstoffs im Herbst auf rd. 17.700 g summierte. Damit entfiel schließlich mehr als der Hälfte der gesamten PSM-Fracht in der zweiten Abschnitt auf diese eine Substanz.

Tab. 29. Gesamtfrachten im Ablauf der Ackerbau-Kläranlagen im ersten und zweiten Untersuchungszeitraum

	KA_B	KA_F	KA_J	KA_L	KA_O	KA_Reis	KA_Rh
2006/07 Gesamtfracht 27 Wirkstoffe (ohne Diuron) [g]							
Herbst 2006	127	731	12	641	1.644	89	68
Frühjahr 2007	485	1.427	123	5.306	13.149	407	79
Summe 2006/07	612	2.158	135	5.947	14.793	496	147
2007/08 Gesamtfracht 36 Wirkstoffe (ohne Diuron) [g]							
Herbst 2007	402			1.543	23.951 ^b		
Frühjahr 2008	1.824			6.501	11.109		
Summe 007/08	2.226			8.044	35.060		
<i>darunter ‚neue‘ Wirkst.^a</i>	8,5 %			1,4 %	2,1 %		

a) 9 Wirkstoffe, die erst in der Untersuchungsperiode 2007/08 analysiert worden sind

b) davon: 17.700 g 2,4-DP und 3.550 g Isoproturon

5.2.2 Frachten bezogen auf die Anzahl der Spritzgeräte

Für Fragen wie beispielsweise nach dem Beitrag der Punktquellen bei der PSM-Belastung von Oberflächengewässern oder für die Identifikation von möglichen Einflussfaktoren ist die absolute PSM-Fracht im Kläranlagenablauf keine geeignete Indikatorgröße. Für einen Vergleich von Kläranlagen bzw. als maßgebliche Schätzgröße für die Höhe der Wirkstoff-Verluste von landwirtschaftlichen Betriebsstätten als ursächlicher Quelle von punktuellen PSM-Gewässereinträgen sind die Frachten zu normieren. Nachfolgend werden die Kläranlagenfrachten daher auf die Anzahl der Feldspritzen im Einzugsgebiet der Kläranlagen bezogen. Im oberen Teil der Tab. 30 sind dafür zunächst die Angaben zur Anzahl der Betriebe, durchschnittlicher Betriebsgröße und Anzahl der Applikationsgeräte in den Einzugsgebieten der untersuchten Kläranlagen zusammengestellt.

Tab. 30. Anzahl der Betriebe, durchschnittliche Betriebsgröße, Anzahl der Spritzgeräte in den Einzugsgebieten der Ackerbau-Kläranlagen sowie PSM-Gesamtfrachten (ohne Diuron) rechnerisch pro Spritzgerät im ersten und zweiten Untersuchungszeitraum

	KA_B	KA_F	KA_J	KA_L	KA_O	KA_Reis	KA_Rh
Anzahl der Betriebe	8	191	7	97	637	315	161
Mittlere Betriebsgröße	164 ha	54 ha	1133 ha	48 ha	30 ha	45 ha	68 ha
Anzahl Spritzgeräte^a	5	111	9	64	482	284	72
Spritzen pro Betrieb	0,63	0,58	1,29	0,66	0,76	0,90	0,45
Spritzen pro 1000 ha AF^b	4,3	12,4	1,4	17,0	26,0	21,8	8,1
	PSM-Gesamtfracht (ohne Diuron) rechnerisch pro Spritzgerät [g]						
Herbst 2006	25,4	6,6	1,3	10,0	3,4	0,3	0,9
Frühjahr 2007	97,0	12,9	13,7	82,9	27,3	1,4	1,1
Zusammen	122,4	19,4	15,0	92,9	30,7	1,7	2,0
Herbst 2007	80,2			24,3	50,3		
Frühjahr 2008	365,0			102,4	22,5		
Zusammen	445,2			126,7	72,7		

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

b) Ackerland (s. Tab. 32)

Die Spannweite der mittleren Betriebsgröße (präziser: der bewirtschafteten landwirtschaftliche Nutzfläche [LF] im Durchschnitt der Betriebe) zwischen den sieben Anlagen unterstreicht die große Heterogenität der Betriebsstrukturen. Die kleinsten mittleren Betriebsflächen finden sich in den beiden bayerischen Kläranlagen KA_O und KA_Reis mit 30 bzw. 45

ha LF/Betrieb; das andere Ende des Spektrums ist gekennzeichnet durch die KA_J in Mecklenburg-Vorpommern, in deren Einzugsgebiet wenige Großbetriebe mit durchschnittlich mehr als 1100 ha Betriebsfläche liegen. In den Gebieten mit eher kleinstrukturierten Betrieben ist die Anzahl der Feldspritzen durchgängig kleiner als die Zahl der Betriebe, d.h. rechnerisch unterhalten nur zwischen 45 % (KA_Rh) und 90 % (KA_Reis) der Betriebe ein eigenes Spritzgerät. Dagegen setzen zwei der Großbetriebe im Einzugsbereich der KA_J zwei Spritzgeräte pro Betrieb ein.

Abb. 21 gibt die Ergebnisse zur PSM-Gesamtfracht pro Spritzgerät der Tab. 28 in graphischer Form für den ersten Untersuchungsabschnitt wieder. Die Geräte-bezogenen Frachten bewegen sich zwischen 1,7 bzw. 2,0 g/Spritzgerät für die Kläranlagen KA_Reis und KA_Rh; die Frachten pro Feldspritze der KA_F, KA_J und KA_O liegen mit Werten zwischen 15,0 und 30,7 g/Spritzgerät in einem mittleren Bereich. In den beiden Anlagen KA_B und KA_O wurden dagegen Frachten in einer Größenordnung über 100 g pro Spritzgerät (im Anbaujahr 2006/07) festgestellt. Die Relation der Gesamtfracht pro Spritzgerät zwischen Herbst 2006 und Frühjahr 2007 variiert entsprechend dem Verhältnis der Kläranlagen-Frachten beträchtlich.

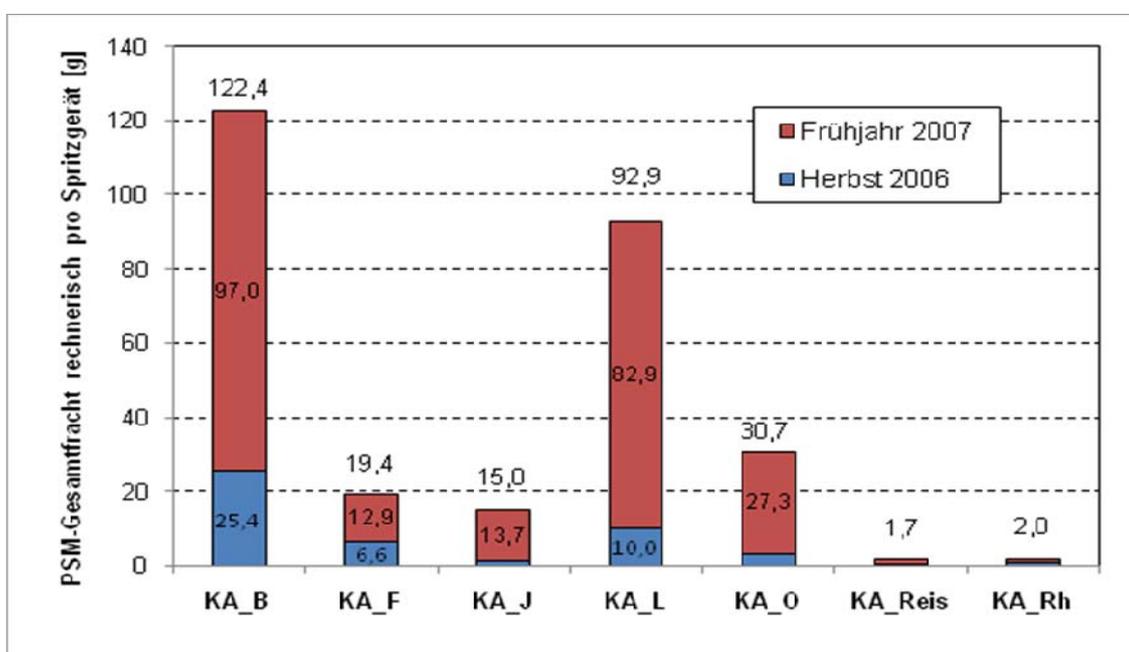


Abb. 21.: Wirkstoff-Gesamtfrachten (ohne Diuron) pro Spritzgerät in den Einzugsgebieten der sieben Ackerbau-Kläranlagen im ersten Untersuchungszeitraum Herbst 2006 (33. – 46. KW) und Frühjahr 2007 (10. – 23. KW).

Die Rangfolge der berechneten Frachten pro Feldspritze und Betrachtungszeitraum, gemittelt über alle Ackerbau-Kläranlagen, für die zwölf Wirkstoffe (sowie ein Metabolit) mit den größten Frachten ist Tab. 31 zu entnehmen. Die höchste mittlere Fracht pro Spritzgerät eines einzelnen Wirkstoffs liegt für den Betrachtungszeitraum Herbst 2007 bei 2,06 g (Isoproturon). 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 die gesamte Untersuchungsperiode 2006/2007, liegt der Wirkstoff Metamitron (in der Summe mit 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. 31. Reihenfolge der Wirkstoff-Frachten pro Spritzgerät (hauptsächlich gefundene Wirkstoffe) im Mittel der sieben Ackerbau-Kläranlagen im ersten Untersuchungszeitraum (Herbst 2006 und Frühjahr 2007) sowie Anbaujahr 2006/07 insgesamt

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

Bei der Interpretation der Werte sind die unterschiedlichen Häufigkeiten von Spritzterminen in den beiden Zeitspannen Herbst 2006 und Frühjahr 2007 ist zu beachten. Während im Herbst üblicherweise nur Herbizid-Behandlungen in Getreide und Raps durchgeführt werden, setzt ab dem Frühjahr das gesamte Spektrum der Herbizid-, Fungizid- und Insektizid-Applikationen sowohl in den Winter- als auch den Sommerkulturarten im Ackerbau ein. Damit ist dann auch zwangsläufig eine wesentlich größere Zahl von Befüll- und Reinigungsvorgänge von Spritzgeräten verbunden.

Auf eine Darstellung der mittleren Wirkstoff-Frachten pro Spritzgerät analog zu Tab. 31 für die drei Kläranlagen, die in der zweiten Untersuchungsperiode beprobt wurden, wird hier verzichtet. Eine Mittelung nur für die drei hoch belasteten Kläranlagen würde zwar einen Spitzenwert, aber keine Kenngröße für eine „mittlere“ Emissionssituation liefern. Die Angaben der Tab. 31 sollen einen Anhaltswert zur Charakterisierung des Eintragspotenzials einzelner Substanzen aus Punktquellen geben, daher sind alle untersuchten Kläranlagen einzubeziehen.

Abb. 22 stellt die gemittelten Frachten pro Spritzgerät für diejenigen drei Kläranlagen gegenüber, die über *beide* Wirtschaftsjahre untersucht worden sind. Die deutliche Zunahme der PSM-Verluste in der Anbauperiode Herbst 2007/Frühjahr 2008 gegenüber Herbst 2006/Frühjahr 2007, jeweils im Durchschnitt dieser drei Kläranlagen, ist mehr oder weniger durchgängig für alle (dominierenden) Wirkstoffe festzustellen, mengenmäßig wirken sich die mehr als verdoppelten Frachten der Wirkstoffe Metamitron und Isoproturon am stärksten aus.

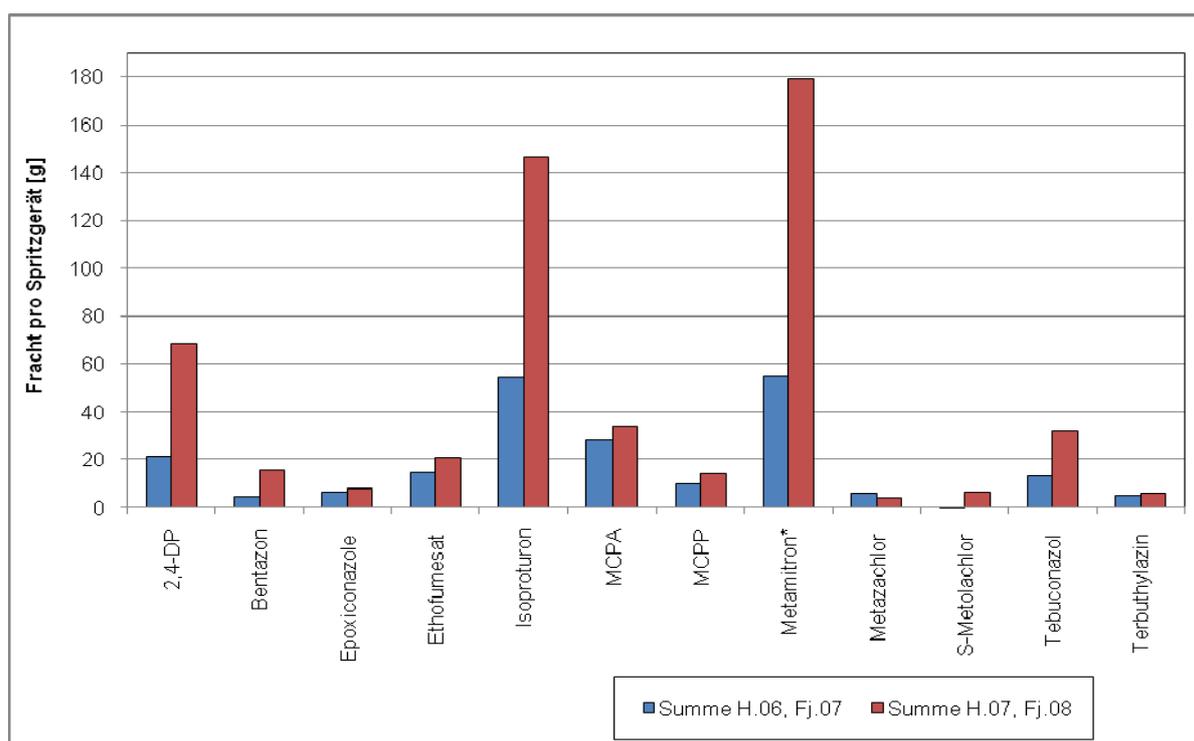


Abb. 22. Frachten pro Spritzgerät der hauptsächlich gefundenen Wirkstoffe im Mittel der Einzugsgebiete der drei Ackerbau-Kläranlagen KA_B, KA_L und KA_O; Gegenüberstellung der Untersuchungsperiode Herbst 2006/Frühjahr 2007 im Vergleich zum Zeitraum Herbst 2007/Frühjahr 2008

*Frachtsumme Metamitron und Desamino-Metamitron

In den folgenden Abb. 23 bis 26 sind die Frachten pro Feldspritze für die dominierenden Wirkstoffe dargestellt, differenziert für die einzelnen Kläranlagen. Abb. 23 und 24 zeigen die Frachten für fünf der sieben Kläranlagen, die im Herbst 2006 und Frühjahr 2007 untersucht worden sind (auf die Darstellung der Ergebnisse für die KA_Rh und KA_Reis wird in den Graphiken aufgrund der durchweg sehr geringen Werte verzichtet).

Die Abb. 25 und 26 zeigen für die gleiche Wirkstoffauswahl die Frachten pro Spritzgerät für die Perioden Herbst 2007 und Frühjahr 2008, in denen nur noch drei Kläranlagen analysiert worden sind. Bei der Interpretation der Graphiken ist auf die unterschiedliche Skalierung der Y-Achse in allen vier Abbildungen hinzuweisen: der Wertebereich in Abb. 26 ist gegenüber der Ordinate in Abb. 23 ca. um den Faktor zwölf größer (!), der Maximalwert von 127 g/Spritze (Metamitron in KA_B) in Abb. 26 ist dabei sogar noch abgeschnitten. Die sehr un-einheitlichen Verteilungsmuster der spezifischen Wirkstoff-Frachten in den vier Perioden verdeutlichen zum einen das insgesamt sehr unterschiedliche Niveau der (mittleren) PSM-Verluste in den einzelnen Kläranlagen. Die sehr heterogenen Verlustmengen der aufgeführten einzelnen Wirkstoffe sind aber auch ein Indiz dafür, dass die Einsatzmengen (i.e. die regionalen Marktanteile) der Wirkstoffe in den Landwirtschaftsbetrieben, die an die Kläranlage angeschlossen sind, zwischen den Kläranlagen offensichtlich zum Teil erhebliche Unterschiede aufweisen. Eine vollständige Auflistung der Einzelwirkstoff-Frachten pro Spritzgerät ist im Anhang (Tab. A-9 bis A-12) zu finden.

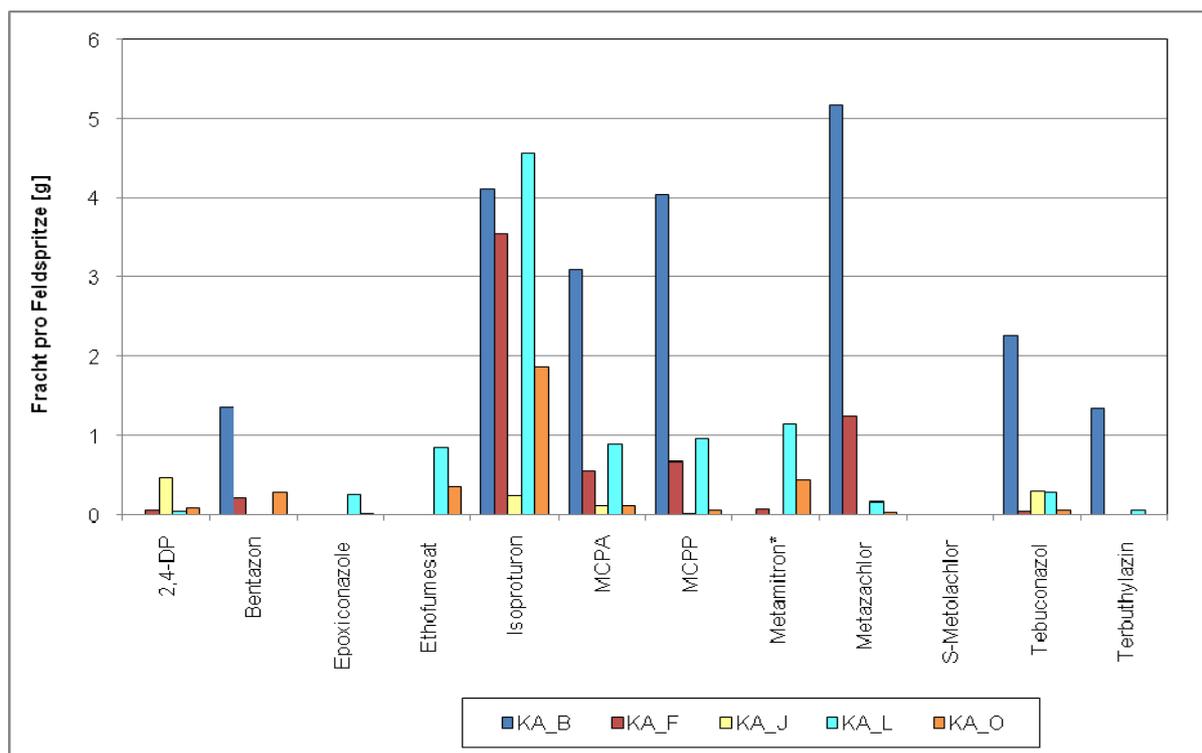


Abb. 23. Frachten pro Spritzgerät der hauptsächlich gefundenen Wirkstoffe in den Einzugsgebieten von fünf Ackerbau-Kläranlagen im Herbst 2006 (33. – 46. KW); Ergebnisse für KA_Rh und KA_Reis aufgrund sehr geringer Frachten nicht dargestellt.

*Frachtsumme Metamitron und Desamino-Metamitron

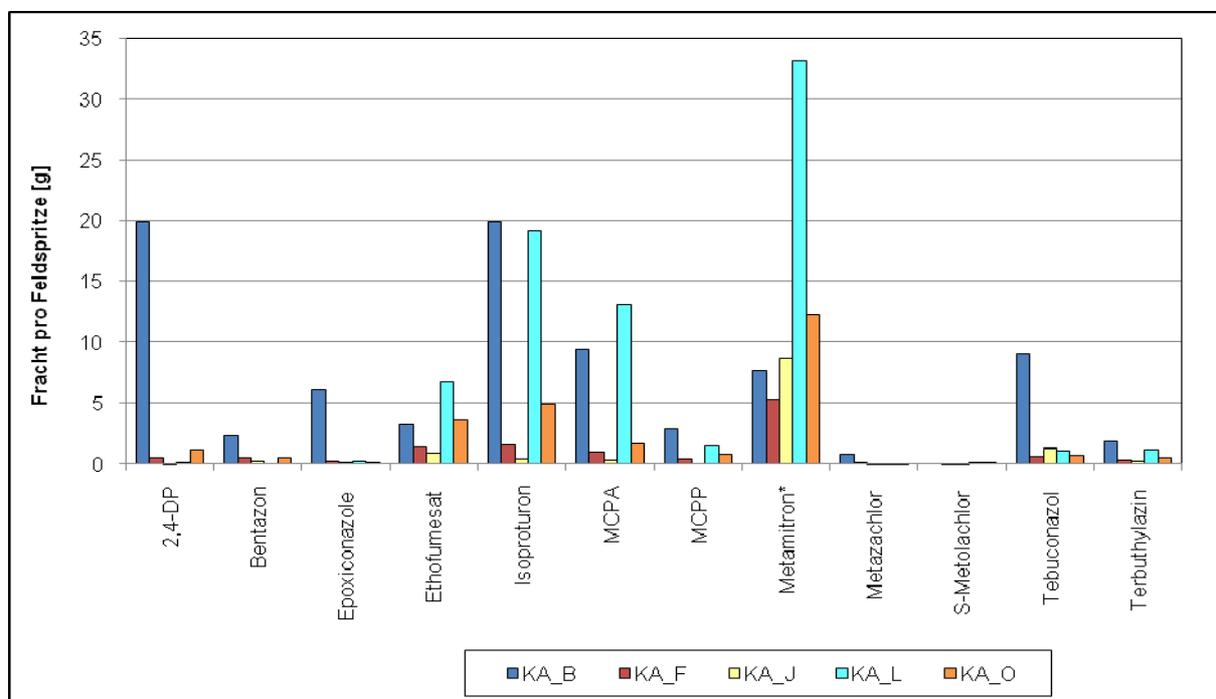


Abb. 24. Frachten pro Spritzgerät der hauptsächlich gefundenen Wirkstoffe in den Einzugsgebieten von fünf Ackerbau-Kläranlagen im Frühjahr 2007 (10. – 23. KW); Ergebnisse für KA_Rh und KA_Reis aufgrund sehr geringer Frachten nicht mit dargestellt.

*Frachtsumme Metamitron und Desamino-Metamitron

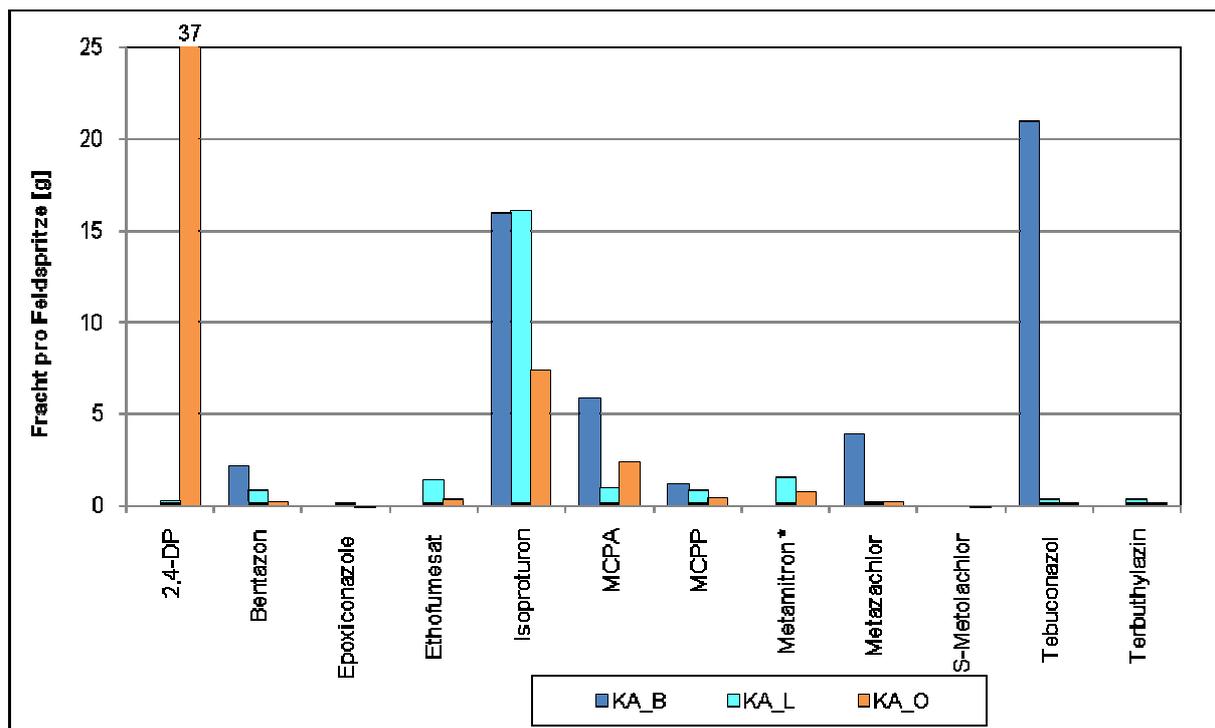


Abb. 25. Frachten pro Spritzgerät der hauptsächlich gefundenen Wirkstoffe in den Einzugsgebieten der drei Ackerbau-Kläranlagen KA_B, KA_L und KA_O im Herbst 2007 (33. – 48. KW)

*Frachtsumme Metamitron und Desamino-Metamitron

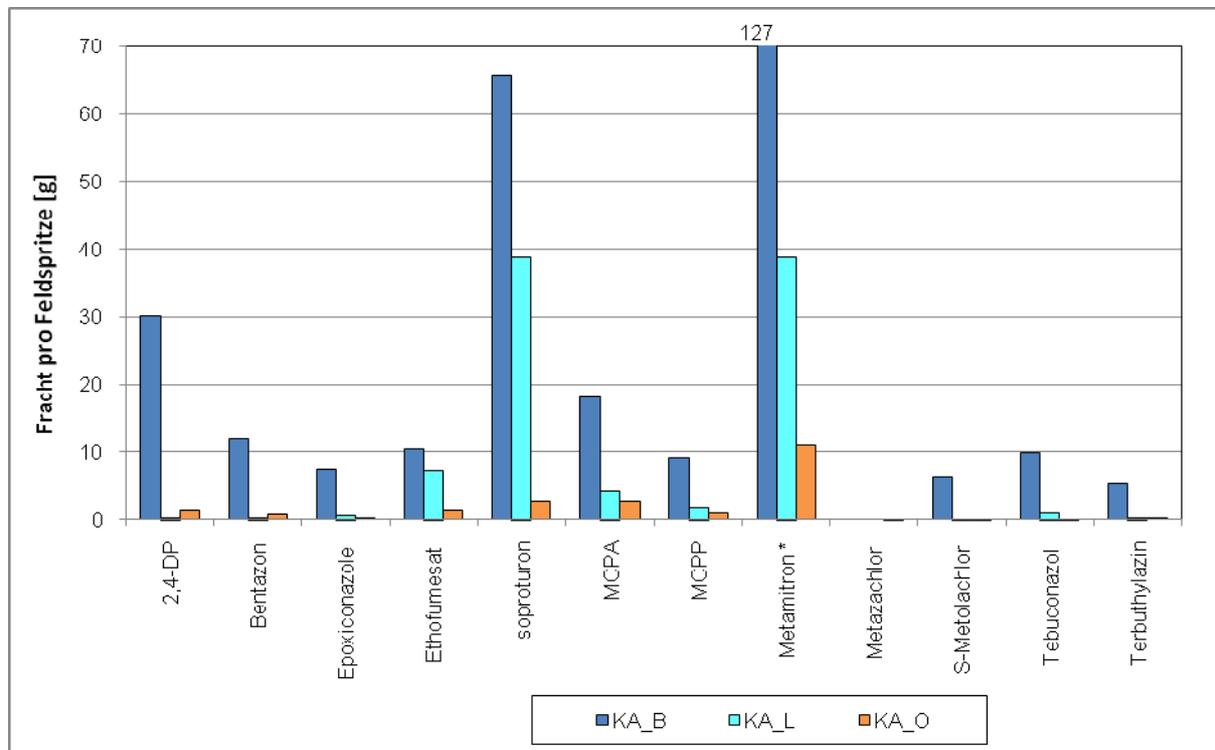


Abb. 26. Frachten pro Spritzgerät der hauptsächlich gefundenen Wirkstoffe in den Einzugsgebieten der drei Ackerbau-Kläranlagen KA_B, KA_L und KA_O im Frühjahr 2008 (10. – 23. KW)

*Frachtsumme Metamitron und Desamino-Metamitron

5.2.3 Frachten bezogen auf die landwirtschaftliche Nutzfläche

Ein zweiter Ansatz zur Normierung der Frachten im Ablauf der Kläranlagen besteht darin, die Frachten auf die Behandlungsflächen zu beziehen. In einem ersten Schritt kann für diesen Flächenbezug die gesamte Ackerfläche der Kläranlagen-angeschlossenen Betriebe herangezogen werden; in einer stärker differenzierenden Betrachtung dienen dazu die Anbauflächen der einzelnen Kulturarten, auf denen bestimmte Wirkstoffe (mehr oder weniger) exklusiv appliziert werden. In Tab. 32 sind die entsprechenden Flächenanteile in den Einzugsbereichen der untersuchten Ackerbau-Kläranlagen wiedergegeben. Die Angaben zu den Anbauflächen der Kulturarten sind der Agrarstatistik der Länder auf Gemeindeebene entnommen worden (Bezugsjahr 2003, s Kap. 3.1; Tab. 32).

Tab. 32. 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]	1.312	10.314	7.931	4.656	19.110	14.175	10.948
Ackerland [ha]	1.168	8.973	6.503	3.771	18.537	13.041	8.868
darunter:							
Getreide	63 %	71 %	68 %	43 %	59 %	51 %	77 %
Mais	13 %	3 %	0 %	3 %	16 %	31 %	18 %
Zuckerrüben	3 %	13 %	3 %	35 %	23 %	6 %	0 %
Raps	28 %	10 %	27 %	0 %	1 %	3 %	1 %

Die Wirkstofffrachten bezogen auf die Ackerfläche (AF) in den Einzugsgebieten (Tab. 33) zeigen eine ähnlich große Spanne zwischen den Kläranlagen wie die Frachten pro Spritzgerät. Im ersten Untersuchungszeitraum variieren die Werte von 0,02 g PSM/ha AF in den Gebieten der Kläranlagen KA_J und KA_Rh bis zu 1,57 g PSM/ha AF im Einzugsgebiet der KA_L.

Zu den Wirkstoffen, die (mit hoher Wahrscheinlichkeit) der Behandlung bestimmter landwirtschaftlicher Kulturen zugeordnet werden können, zählen die klassischen Getreideherbizide 2,4-D, 2,4-DP, Isoproturon, MCPA und MCPP, im zweiten Untersuchungsabschnitt ergänzt um Flurtamone und Ioxynil. Bentazon, S-Metolachlor und Terbutylazin finden vor allem im Maisanbau Verwendung; Ethofumesat und Metamitron werden in Zuckerrüben und schließlich Metazachlor und Tebuconazol (sowie Quinmerac, zweiter Abschnitt) im Rapsanbau eingesetzt.

In Tab. 33 sind die Frachten dieser vier Wirkstoff-Gruppen in den Anbaujahren 2006/2007 sowie 2007/2008 jeweils spezifisch für die Anbauflächen der zuzuordnenden potenziellen Behandlungsflächen im Einzugsgebiet der Kläranlagen berechnet worden. Auch hierbei fällt zunächst die außerordentlich hohe Variabilität der Ergebnisse ins Auge. Die höchsten Werte sind tendenziell für den Zuckerrübenanbau festzustellen; in der KA_B schlägt hier die außerordentlich hohe Metamitron-Fracht im Frühjahr 2008 unmittelbar auf das Ergebnis durch. Mit deutlichem Abstand der Anbauflächen-bezogenen Frachten folgt im ersten Abschnitt die Kultur Raps, wobei wiederum relativ große Unterschiede zwischen den Einzugsgebieten der einzelnen Kläranlagen auftreten. Infolge des hohen Anteils des Getreideanbaus in allen Kläranlagengebieten werden die Frachten pro Hektar Ackerfläche wesentlich durch die flächen-spezifischen Frachten der Getreide-Herbizide geprägt.

Tab. 33. Wirkstoff-Frachten in der ersten (Herbst 2006 und Frühjahr 2007) und zweiten Untersuchungsperiode (Herbst 2007 und Frühjahr 2008) bezogen auf die landwirtschaftliche Nutzfläche sowie auf die potenziellen Behandlungsflächen^a einzelner Kulturarten, die von den Betrieben in den Einzugsgebieten der Ackerbau-Kläranlagen bewirtschaftet werden

	KA_B	KA_F	KA_J	KA_L	KA_O	KA_Reis	KA_Rh
Fracht^b bezogen auf die <u>Ackerfläche</u>^b (AF) [g/ha]							
H. 2006 / Fj. 2007	0,52	0,24	0,02	1,57	0,80	0,04	0,02
H. 2007 / Fj. 2008	1,62			1,72	1,82		
H. 2006 / Fj. 2007 Fracht bezogen auf die <u>potenzielle Behandlungsfläche</u>^a [g/ha]							
Getreide^c	0,44	0,15	0,01	1,59	0,48	0,03	0,01
Mais^d	0,23	0,44	--	0,75	0,23	0,02	0,01
Zuckerrüben^e	1,56	0,65	0,53	2,03	1,89	0,17	--
Raps^f	0,27	0,24	0,01	--	2,25	0,13	0,05
H. 2007 / Fj. 2008 Fracht bezogen auf die <u>potenzielle Behandlungsfläche</u>^a [g/ha]							
Getreide^c	1,03			2,04	0,43		
Mais^d	0,75			0,77	0,16		
Zuckerrüben^e	17,45			1,93	1,39		
Raps^f	0,69			n.b.	1,27		

a) potenzielle Behandlungsfläche = Anbaufläche der betreffenden Kulturarten der Betriebe, die an die Kläranlage angeschlossen sind

b) Summe aller 27 bzw. 36 Wirkstoffe (ohne Diuron) [eckige Klammern: neue Wirkstoffe in der zweiten Periode]

c) Summe der Wirkstoffe 2,4-D, 2,4-DP, Isoproturon, MCPA, MCPP [+ Flutamone, Ioxynil]

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

e) Summe der Wirkstoffe Ethofumesat, Metamitron (einschl. Desamino-Metamitron)

f) Summe der Wirkstoffe Metazachlor, Tebuconazol [+ Quinmerac]

Gemittelt über die *sieben* Kläranlagen-Gebiete ergeben sich folgende durchschnittliche flächenspezifische Wirkstofffrachten für das Anbaujahr 2006/2007:

- Ackerland insgesamt: 0,46 g/ha
- Getreide: 0,39 g/ha
- Mais: 0,28 g/ha
- Zuckerrüben: 1,14 g/ha
- Raps: 0,49 g/ha.

5.3 Niederschlagsverteilung und Wirkstoff-Frachten

Mit Hilfe von Regressionsanalysen ist für die Perioden Herbst 2006 sowie Frühjahr 2007 untersucht worden, ob ein Zusammenhang zwischen der Höhe der Niederschläge im Einzugsgebiet der Kläranlage und der Höhe der PSM-Frachten im Ablauf der Kläranlagen besteht (Methodik s. Kap. 3.4.3). Die Korrelationskoeffizienten der Regressionsgleichungen sind in Tab. 34 zusammenfassend dargestellt.

Tab. 34. Korrelationskoeffizienten r^2 der Regressionen zwischen den Wirkstoff-Frachten und der Niederschlagsmenge im Einzugsgebiet der Ackerbau-Kläranlagen für zwei verschiedene Berechnungsansätze (n = Anz. Wertepaare)

Kläranlage	Herbst 2006 Korrelationskoeffizient r^2			Frühjahr 2007 Korrelationskoeffizient r^2		
	n	Zeitgleich ^a	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 „*“: $\alpha = 95\%$

Die berechneten Bestimmtheitsmaße liegen sowohl bei der zeitgleichen als auch bei der zeitversetzten Berechnung in den meisten Fällen unterhalb der Signifikanzschwelle, nur in vier (von 28) Fällen ergibt sich ein signifikanter Wert für den Korrelationskoeffizienten. Dieses

Ergebnis deutet darauf hin, dass die Wirkstoff-Einträge in die Kläranlagen *nicht* in einem kausalen Zusammenhang mit dem Niederschlagsgeschehen im Einzugsgebiet stehen.

5.4 Applikationszeiträume und Wirkstoff-Frachten

In beiden Untersuchungszeiträumen (2006/2007 und 2007/2008) wird die Gesamtfracht (ohne Diuron) in allen Kläranlagen im Regelfall zu 80 bis über 90 % durch zehn Wirkstoffe mit Anwendung (schwerpunktmäßig) in folgenden Kulturarten dominiert (s.a. Kap. 5.2.2):

- Getreide: 2,4-DP, Isoproturon, MCPA und MCPP (Herbizide)
- Raps: Metazachlor (Herbizid) und Tebuconazol (Fungizid)
- Zuckerrüben: Metamitron und Ethofumesat (Herbizide)
- Mais: Terbutylazin und Bentazon (Herbizide).

In den nachstehenden Ausführungen werden die Fundzeiträume dieser Wirkstoffe mit Blick auf die Applikationszeiträume der entsprechenden Präparate interpretiert. Die zugrunde liegenden Wirkstofffrachten in den einzelnen Kläranlagen sind in tabellarischer Form (Tab. A-13 bis A-26) sowie der zeitliche Verlauf (3- bzw. 4-Tagesfrachten) der Substanzfunde als Abbildungen (Abb. A-12 bis A-29) im Anhang ausführlich dargestellt.

5.4.1 Wirkstoffe Getreideanbau

Als Fracht-dominierende Wirkstoffe in Getreide-Herbiziden werden nachfolgend 2,4-DP, Isoproturon, MCPA und MCPP betrachtet. Der Wirkstoff 2,4-DP ist Bestandteil von selektiven, translozierbaren 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 Phenoxycarbonsäure MCPA wird zu 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 der enge zeitliche Zusammenhang zwischen dem Einsatz der Präparate und den Einträgen ins Gewässer deutlich.

MCPP-haltige Präparate finden Anwendung bei Untersaaten nach dem Räumen der Deckfrucht, nach der letzten Nutzung im Grünland sowie im Nachauflauf von Getreide. Anwendungszeitraum in der Landwirtschaft ist neben der Nachauflaufbehandlung von Getreide im Frühjahr laut Meyer et al. (2006) August bis Oktober. MCPP 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 MCPP durchgängig in den Abläufen der untersuchten Kläranlagen gemessen. Die Funde decken sich größtenteils mit der vermutlichen Applikationszeit MCPP-haltiger Präparate. Der Anstieg der gemessenen Frachten nach der 44. KW kann mit der Einwinterung von Applikationsgeräten und einer damit verbundenen Reinigung zusammenhängen.

5.4.2 Wirkstoffe Rapsanbau

Metazachlor und Tebuconazol gehörten sowohl im Betrachtungszeitraum Herbst 2006 als auch im Frühjahr 2007 zu den am häufigsten gefundenen Wirkstoffen mit schwerpunktmäßiger Anwendung im Rapsanbau. Bei Metazachlor wird als Herbizid hauptsächlich im Rapsanbau und bei Kohlarten eingesetzt; Anwendungszeitpunkt im Winterraps ist nach dem Auflaufen im Herbst und bei Sommerraps im Vor- oder 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.

5.4.3 Wirkstoffe Zuckerrübenanbau

Substanzen, die im Zuckerrübenanbau eingesetzt werden und deren Auftreten in den Ablaufproben der Kläranlagen interpretiert wird, sind die Herbizide 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).

5.4.4 Wirkstoffe Maisanbau

Bentazon und Terbuthylazin sind Herbizide, 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 Sommergetreide und Futterpflanzen (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 Ursache 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).

Terbuthylazin wird im Maisanbau im Vor- und im Nachauflauf zur Unkrautkontrolle angewendet werden. Terbuthylazin wurde im Betrachtungszeitraum Herbst 2006 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). Damit können die Funde in direktem Zusammenhang mit der Applikation der entsprechenden Präparate im Maisanbau und dem Befüllen von Spritzgeräten stehen.

5.5 Fazit der Untersuchung der Ackerbau-Kläranlagen

Im Gegensatz zur Weinbau-Kläranlage, bei der zwei Hauptapplikationszeiten in zwei aufeinander folgenden Jahren beprobt und die Ergebnisse entsprechend verglichen wurden, erfolgte die Beprobung von zunächst sieben Ackerbau-Kläranlagen im Herbst 2006 und im Frühjahr 2007, womit die wesentlichen Eintragsperioden des Anbaujahres 2006/07 erfasst wurden. Die drei Kläranlagen mit den höchsten PSM-Frachten pro Spritzgerät wurden daraufhin im Herbst 2007 und Frühjahr 2008 (Anbaujahr 2007/08) erneut analysiert.

Die PSM-Fracht bezogen auf die Kenngröße „Anzahl Spritzgeräte“ beträgt im Mittel der sieben Ackerbau-Kläranlagen in der Untersuchungsperiode 2006/2007 40,6 g pro Spritzgerät. Die ermittelten Werte liegen damit in einer ähnlichen Größenordnung, wie sie von Bach et al. (2000) auf Basis der bis dahin durchgeführten Untersuchungen in Deutschland (s. Kap. 2.4) als Schätzwerte für die Fracht pro Landwirtschaftsbetrieb in Ackerbaugebieten (minimal 30 g bis maximal 100 g pro Betrieb) angenommen worden war.

Betrachtet man allerdings nur die drei Kläranlagen mit den höchsten Frachten, die in beiden Anbaujahren untersucht worden sind, so werden wesentlich höhere PSM-Emissionen aus dem landwirtschaftlichen Betriebsbereich ermittelt: in der ersten Untersuchungsperiode betrug die Fracht pro Spritzgerät im Mittel der drei KA_B, KA_L und KA_O 82 g/Spritze (Summe aller Wirkstoffe ohne Diuron). Im zweiten Abschnitt wurde ein Anstieg der Fracht pro Spritzgerät auf nahezu das dreifache gemessen und erreichte 215 g/Spritze. Mit diesen Werten darf jedoch keine Hochrechnung für das gesamte Bundesgebiet durchgeführt werden, da es sich dabei nicht um eine repräsentative Auswahl, sondern um die Maximalwerte des untersuchten Ensembles der Ackerbau-Kläranlagen handelt.

An dieser Stelle sei erneut darauf hingewiesen, dass die tatsächlichen Wirkstoffeinträge in Oberflächengewässer aus Punktquellen mutmaßlich *höher* sind als die Werte, die im hier durchgeführten Projekt ermittelt worden sind. Dafür sind zwei Ursachen anzuführen:

- a) Im Rahmen der Projekts wurde aus Kostengründen auf die Analyse des Wirkstoffes Glyphosat (Präparate unter anderem *Roundup* und *Clinic*) verzichtet. Glyphosat ist jedoch einer der Wirkstoffe mit der größten Absatzmenge in Deutschland, so dass auch mit beträchtlichen Verlusten aus dem landwirtschaftlichen Betriebsbereich gerechnet werden muss. Die Studie von Ittel und Sälzer (2006) ist eine der wenigen Untersuchungen, in der auch die Glyphosat- bzw. AMPA-Fracht gemessen worden ist. Im Ablauf der von Ittel und Sälzer (2006) untersuchten Kläranlagen betrug die mittlere PSM-Gesamtfracht pro Kläranlage rund 2,6 kg (Messzeitraum 26. März bis 29. Juni 2003), wovon rund 30 % auf Glyphosat und AMPA entfielen.
- b) Im Beprobungsdesign des Projekts konnte lediglich die PSM-Fracht bei Trockenwetter bestimmt werden; das Schmutzwasser, das bei stärkeren Niederschlägen über die Regenwasserentlastung aus der Kanalisation (an der Kläranlage vorbei) direkt in den Vorfluter gelangt, wird bei dieser Messstrategie nicht erfasst. Ergebnisse von Müller (2000) verdeutlichen den unter Umständen erheblichen, bislang wenig beachteten Beitrag der Regenentlastungen 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 Regenentlastungen stammt.

Die Unterschiede zwischen Herbst- und Frühjahrsbeprobung im vorliegenden Projekt (im Frühjahr teilweise bis zum 9-fachen der Fracht im Herbst, mit Ausnahme der KA_O im Herbst 2007) können mit der deutlichen höheren Anzahl von Applikationen im Frühjahr erklärt werden:

- Infolge der häufigeren Befüllvorgänge besteht eine höhere Wahrscheinlichkeit von Wirkstoff-Verlusten, z.B. durch Verschütten von Präparaten oder Überlaufen von Spritzbrühe.
- Das Spektrum der zu behandelnden Kulturarten ist im Frühjahr erheblich größer als im Herbst; durch den Wechsel von Wirkstoffen zur Behandlung unterschiedlicher Kulturarten und/oder Schadorganismen (Unkrautkontrolle, pilzliche Infektionen, Insektenbefall) werden dann auch häufiger Tankreinigungen vorgenommen, die (bei unsachgemäßer Durchführung) zu Punkteinträgen führen können

Ausgeprägte Wirkstoff-Peaks im Frühjahr können ein Indiz für das Ablassen der technischen Restmenge auf der Hofffläche vor einem Kulturwechsel (bspw. nach Halmfrucht- und vor Blattfruchtherbiziden) sein. Hohe PSM-Frachten im Ablauf der Kläranlagen Ende Oktober/Anfang November weisen auf Reinigungsvorgänge vor der Einwinterung der Geräte hin

Als weitere Kenngrößen sind in der vorliegenden Untersuchung erstmals die Frachten pro Behandlungsfläche berechnet worden, zum einen bezogen auf das Ackerland insgesamt und zum anderen weiter differenziert für die Anbauflächen von Getreide, Mais, Raps und Zuckerrüben. Die Ergebnisse verdeutlichen, dass der Anbau von Zuckerrüben in den untersuchten Gebieten die vergleichsweise höchsten PSM-Einträge in Oberflächengewässer verursacht (im Mittel rechnerisch rund 1,1 g pro Hektar Zuckerrüben, Summe der Wirkstoffe Ethofumesat und Metamitron).

Die Größenordnung der ermittelten Wirkstofffrachten wird im Folgenden anhand einer Überschlagsrechnung in Relation gesetzt zur Größenordnung der möglichen Verluste bei einzelnen Handhabungsschritten des Spritzgeräts im Hofbereich (s. Kap. 2.1): Eine Standard-Dosierung von 1 kg Wirkstoff pro ha gelöst in einer Applikationsmenge von 200 Liter Wasser pro ha bedeutet 5 g Wirkstoff pro Liter Spritzbrühe. Der PSM-Verlust pro Feldspritze im Mittel der sieben Ackerbau-Kläranlagen betrug in der Untersuchungsperiode 2006/2007 rund 40 g. Mit den gewählten Annahmen entspricht diese Fracht einem Eintrag in Oberflächengewässer von ca. 8 Litern Spritzbrühe im Untersuchungszeitraum. Diese PSM-Menge kann durch verschiedene Vorgänge freigesetzt werden, die *äquivalente Wirkstofffrachten* verursachen:

- Neuere Spritzgeräte haben ca. 15 bis 30 Liter technische Restmenge (s. Kap. 2.1.3); 8 Liter Spritzbrühe entspricht dann ungefähr der Hälfte bis einem Viertel der (unverdünnten) technischen Restmenge (respektive bei der Hälfte bis einem Viertel der Spritzgeräte würde einmal im Jahr die gesamte Restmenge in die Kanalisation gelangen)
- Ein- bis zweimalige Innenreinigung des Tanks (mit Ablassen des Waschwassers in die Kanalisation; Balsari et al., 2002 a; Kap. 2.1.4)
- Mehrmalige Außenreinigung der Spritzgeräten auf der Hofffläche (Kap 2.1.4)
- Unachtsamkeit oder Unfall beim Befüllen, bei dem ca. 100 ml Präparat (abhängig von der Konzentration des Wirkstoffs im Präparat) verschüttet werden.

Die vorstehende Abschätzung bezieht sich auf die PSM-Gesamtfracht (Summe 27 Wirkstoffe, ohne Diuron) sowie auf eine Standard-Dosierung von 1 kg/ha. Bei einer analogen Betrachtung für die einzelnen Wirkstoffe sind zum einen die geringeren Frachten und zum anderen die unterschiedlichen Aufwandmengen pro ha zu berücksichtigen. In Tab. 35 wird für die wichtigsten Wirkstoffe, unter Annahme einer mittleren Aufwandmengen für den betreffenden Wirkstoff, das äquivalente Spritzbrühe-Volumen für die rechnerische Fracht pro Feldspritze berechnet.

Tab. 35 verdeutlicht, dass - bezogen auf einzelne Wirkstoffe - die Verlustmengen an Spritzbrühe (pro Gerät und Anbaujahr), welche die gemessenen Frachten verursachen können, noch erheblich niedriger liegen als die Menge von 8 Litern Spritzbrühe, die sich aus der Überschlagsrechnung basierend auf der Gesamtfracht ergeben.

Tab. 35. Spritzbrühe-Volumina für einzelne Wirkstoffe, deren Wirkstoff-Menge der mittleren Fracht pro Spritzgerät (im Mittel der sieben Kläranlagen in Ackerbau-Regionen, Untersuchungszeitraum 2006/2007) äquivalent sind

Wirkstoff	Wirkstoff-Fracht pro Feldspritze ^a (Anbaujahr 2006/2007) [g/Spritzgerät]	Mittlerer Wirkstoff-Aufwand pro ha	Wirkstoffgehalt in 1 Liter Spritzbrühe ^b	Volumen Spritzbrühe, die der gemessenen Wirkstoff-Fracht entspricht
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	1,0 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 u. Desamino-Metamitron zus.	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

a) im Mittel der sieben Kläranlagen

b) Applikationsmenge 200 L Wasser pro ha

Rund 80 % der detektierten PSM-Gesamtfracht (ohne Diuron) im Ablauf aller Kläranlagen ist auf die folgenden zwölf Wirkstoffe zurückzuführen (mit unterschiedlichen saisonalen Anteilen): Metamitron (incl. Desamino-Metamitron), Isoproturon, MCPA, 2,4-DP, Ethofumesat,

Tebuconazol, MCPP, Metazachlor, Epoxiconazol, Terbuthylazin sowie Bentazon (s. Tab. 31). Diese Reihenfolge entspricht in erster Näherung den Absatzmengen der einzelner Wirkstoffe in Deutschland (IVA, 2005). Ebenso regelmäßig gefunden wurde der Wirkstoff Diuron, der im Normalfall nur außerhalb der Landwirtschaft zum Einsatz kommt.

Abschließend darf nicht unerwähnt bleiben, dass auch - mehr als 15 Jahre nach Auslaufen der Zulassung in Deutschland – offensichtlich immer noch zum Teil beträchtliche Mengen an *Atrazin* (maximale Konzentration in einer Einzelprobe immerhin 8,7 µg/l) in zumindest zwei der beprobten Kläranlagen (KA_L und KA_Reis) gefunden wurden.

6. Abschätzung der potenziellen Gewässerbelastung durch die gemessenen PSM-Punkteinträge

6.1 Methodik der Schätzung von Wirkstoffkonzentrationen im Gewässer

Die Frachtmessung im Ablauf der Kläranlagen, die in der vorliegenden Untersuchung beprobt worden sind, verdeutlichen die absolute Höhe und insbesondere die große Variabilität der PSM-Wirkstoffmengen, die pro Spritzgerät bzw. pro Hektar aus dem landwirtschaftlichen Betriebsbereich - direkt oder über eine Kläranlage – in Oberflächengewässer gelangen können. Die gemessenen Frachten im Ablauf der Kläranlagen erlauben aber zunächst nur eine Analyse der PSM-Emission, jedoch keine Bewertung der Effekte auf der Immissionsseite, das heißt der Konzentrationen, die von diesen Frachten in Fließgewässern hervorgerufen werden.

Im Rahmen des Projekts konnten keine PSM-Analysen in den aufnehmenden Gewässern durchgeführt werden. Um die ökotoxikologische Relevanz der gemessenen PSM-Einträge für die Fließgewässer, in welche die beprobten Kläranlagen einleiten, aber trotzdem zumindest überschlägig bewerten zu können, wird im Folgenden die Größenordnung und der zeitliche Verlauf der resultierenden Wirkstoff-Konzentrationen im Fließgewässer mittels eines einfachen Ansatzes abgeschätzt.

Die Abschätzung wird exemplarisch für ausgewählte Wirkstoffe (zur Auswahl s. u.) in denjenigen drei Flüssen durchgeführt, an denen die drei Kläranlagen KA_B, KA_L und KA_O liegen. Diese Wirkstoffe und Kläranlagen sind ausgewählt worden, da sie die höchsten gemessenen Frachten (pro Spritzgerät bzw. pro Hektar Ackerfläche) in der vorliegenden Untersuchung repräsentieren. Als Ergebnis dieser Abschätzung werden die (theoretischen) Tageswerte der Wirkstoff-Konzentrationen für eine Referenzstelle des Gewässer berechnet, die möglichst nahe an der Einleitungsstelle des Ablaufs der untersuchten Kläranlage im betreffenden Gewässer liegt. Dabei ist aber zu berücksichtigen, dass oberhalb dieser Referenzpunkte nicht nur die untersuchten, sondern weitere Kläranlagen in das Gewässer einleiten und somit die PSM-Fracht aus dem landwirtschaftlichen Betriebsbereich auf das gesamte Flusseinzugsgebiet hochgerechnet werden muss. Im Einzelnen sind für die Abschätzung folgende Schritte durchgeführt worden:

- 1) Gestützt auf die digitalen Karten der Gewässer-Einzugsgebiete in den Bundesländern (Festlegung der Oberflächenwasserkörper im Rahmen der WRRL) ist zunächst für jeden

Fluss dasjenige Einzugsgebiet abgegrenzt worden, dessen unterer Auslass (i.e. Durchtrittspunkt des Flusses durch die Umrisslinie des Einzugsgebiets) möglichst nahe an der Einleitungsstelle der untersuchten Kläranlage liegt. Dieser untere Auslass des Einzugsgebietes ist dann der Referenzpunkt, für den der Konzentrationsverlauf berechnet wird.

- 2) Für dieses Einzugsgebiet ist dann die Fläche des Ackerlands ermittelt worden, indem die CORINE-Karte der Landnutzung (CORINE Land Cover 2000; Ackerland: Klassen 211 und 242) mit der Gebietskulisse des Einzugsgebietes verschnitten worden ist und die Fläche des darin liegenden Ackerlands (i.e. CORINE-Landnutzungsklassen 211 und 242) summiert wurde (s. Abb. 27 und Tab. 36).
- 3) Für die Tagesabflussmenge sind zunächst für die dem Referenzpunkt am nächsten gelegene Pegelstation am betrachteten Fluss die entsprechenden Datenreihen beschafft worden (Datenquelle: Wasserwirtschaftsverwaltungen der Bundesländer). Über das Verhältnis der Fläche des Pegel-Einzugsgebietes zur Fläche des Einzugsgebietes bis zum Referenzpunkt ist dann der Tagesabfluss für den Referenzpunkt berechnet worden.
- 4) Die Kläranlagen sind mit zwei Mischproben pro Woche (3-d/4-d) beprobt worden (s. Kap. 3). Zur Berechnung von Tageswerten sind diese 3-d/4-d-Eintragsmengen gleichmäßig auf die entsprechenden Tage verteilt worden, deren Fracht im Kläranlagenablauf in der betreffenden Mischprobe zusammengefasst worden ist. Diese Wirkstoff-Menge pro Tag, die aus den Kläranlagen (Punktquellen) innerhalb dieses Einzugsgebietes in das Gewässersystem eingetragen wird, ist anschließend - ausgehend vom gemessenen Eintrag der jeweils beprobten Kläranlage – anhand der Größe „Eintrag pro Hektar Ackerland“ (jeweils für die drei betrachteten Wirkstoffe) sowie der Ackerfläche im gesamten Einzugsgebiet bis zum Referenzpunkt (s. Schritt 2) auf das gesamte Einzugsgebiet hochgerechnet worden („Multiplikator“ in Tab. 27).

Für die Hochrechnung ist der Größe „Eintrag pro Hektar Ackerland“ gegenüber dem „Eintrag pro Feldspritzgerät“ der Vorzug gegeben worden, da die Ackerfläche innerhalb eines Einzugsgebietes einfacher (und schneller) ermittelt werden kann sowie mit wesentlich weniger Unsicherheit behaftet ist als die Zahl der Spritzgeräte in einem Einzugsgebiet.

- 5) Aus dem Tagesabflussvolumen an der Referenzstelle und den (hochgerechneten) Eintragsmengen aus den Punktquellen ist schließlich die Wirkstoff-Konzentration (als Tageswerte) im Gewässer berechnet worden.

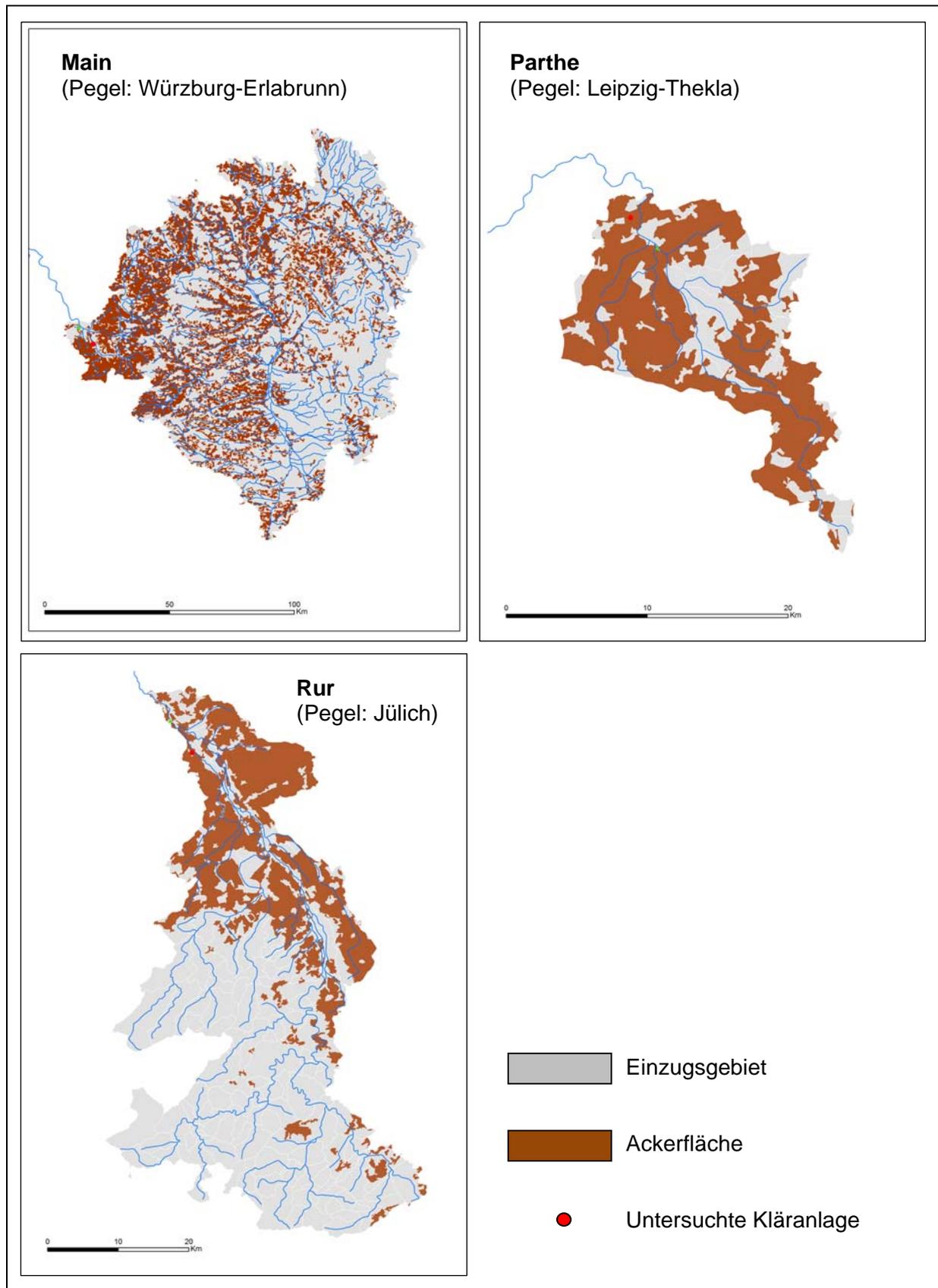


Abb. 27. Einzugsgebiete der drei Flüsse, für die der Konzentrationsverlauf für einzelne Wirkstoffe auf Basis der Messergebnisse der jeweils untersuchten Kläranlage auf das gesamte Einzugsgebiet hochgerechnet worden ist

Auf eine entsprechende Abschätzung für die Weinbau-Kläranlage KA_N wird verzichtet, da zum einen für keinen der dort analysierten Wirkstoffe eine WRRL-Qualitätsnorm (s.u.) existiert, und zum anderen die Zuordnung der Weinbauflächen zum Einzugsgebiet des Gewässers, in das die KA_N einleitet, Schwierigkeiten aufwirft.

Tab. 36. Übersicht zu den Einzugsgebieten der drei Flüsse, für die der Konzentrationsverlauf für einzelne Wirkstoffe auf Basis der Messergebnisse der jeweils untersuchten Kläranlage abgeschätzt worden ist.

Kläranlage	KA_B	KA_L	KA_O
Fluss	Parthe	Rur	Main
Pegelstation	Leipzig-Thekla	Jülich	Würzburg-Erlabrunn
Einzugsgebiet (bis Referenzstelle)	232 km ²	1.730 km ²	13.397 km ²
darunter Ackerfläche ^a	156 km ²	482 km ²	4.418 km ²
Multiplikator Hochrechnung	13,3	12,8	23,8

a) n. CORINE Land Cover 2000

Für eine qualitative Beurteilung dieser Konzentrationen ist es erforderlich, die Werte mit Kriterien, das heißt Konzentrationsschwellenwerten für die Gefährdung des ökologischen Zustands der Fließgewässer zu vergleichen. Im Folgenden werden dazu die Qualitätsnormen zugrunde gelegt, die im Zusammenhang mit der WRRL-Bestandsaufnahme zum Zustand der Fließgewässer in den letzten Jahren festgelegt worden sind. In verschiedenen Folgeverordnungen zur WRRL sind mittlerweile für mehr als 50 PSM-Wirkstoffe Qualitätsnormen aufgeführt. Ein Abgleich der dort gelisteten Substanzen mit den Wirkstoffen, die in den Ackerbau-Kläranlagen analysiert worden sind, ergibt acht Substanzen, für die Qualitätsnormen bestehen und somit ein Vergleich durchgeführt werden kann (Tab. 37).

Tab. 37. Qualitätsanforderungen für PSM-Wirkstoffe in Oberflächengewässern nach EU Wasserrahmenrichtlinie (WRRL), die im Rahmen der vorliegenden Untersuchung analysiert worden sind:

VO: Qualitätsziele für 99 Stoffe der EG-Richtlinie 76/464/EWG im Wasser; übernommen in Anhänge II und V der WRRL als Qualitätsnormen für den ökologischen Zustand nach WRRL; *Vergleichswert: Jahresmittelwert*

EQS: Qualitätsnormen für den chemischen Zustand n. WRRL; *Vergleichswert: Jahresmittelwert*

MAC-EQS: wie EQS, aber als *Vergleichswert: Maximale Konzentration*

Wirkstoff	VO µg/L	EQS µg/L	MAC-EQS µg/L
Atrazin		0,6	2
Bentazon	0,1		
Isoproturon		0,3	1
MCPP	0,1		
MCPA	0,1		
Metazachlor	0,4		
S-Metolachlor	0,5		
Terbutylazin		1	4

Für die aufgeführten Wirkstoffe sind nach der beschriebenen Vorgehensweise die Tageskonzentrationen abgeschätzt worden. Die Überprüfung der Einhaltung der Qualitätsnormen „VO“ und „EQS“ erfolgt auf Basis des Jahresmittelwertes der Konzentration. Im Projekt wurde jedoch nicht ganzjährig, sondern nur während der Hauptapplikationsperioden beprobt, aus der beschriebenen Abschätzung stehen somit Tageswerte der (theoretischen) Konzentration nur für 203 Tage zur Verfügung. Zur Ermittlung eines Vergleichswertes als Jahresmittelwert ist die Konzentrationssumme über die 203 Tage dividiert worden durch 365 Tage. Dieses Vorgehen ist gleichbedeutend mit der Annahme, dass die PSM-Einträge bzw. Konzentrationen an den rd. 160 nicht beprobten Tagen unterhalb der Bestimmungsgrenzen liegen (bzw. so niedrig sind, dass die Werte bei der Mittelwertberechnung nicht ins Gewicht fallen).

6.2 Gewässerkonzentrationen und Vergleich mit WRRL-Qualitätsnormen

Tab. 38 zeigt zusammengefasst das Ergebnis der Konzentrationsberechnungen und den Vergleich mit den Qualitätsnormen. Die (theoretischen) Jahresmittelwerte der acht Wirkstoffe liegen in allen drei dargestellten Flüssen mindestens um das Dreifache, in der weit überwiegenden Zahl der Fälle meist aber um das Zehn- und mehrfache *niedriger* als die Qualitätsnorm der WRRL. Wenn man von der Annahme ausgeht, dass alle Landwirtschaftsbetriebe (deren Hofflächen hydraulisch an das Gewässernetz angeschlossen sind) in den betrachteten

Flussgebieten eine Wirkstoff-Freisetzung in ähnlicher Höhe wie die Betriebe aufweisen, die an die untersuchten Kläranlagen angeschlossen sind, dann kann die Schlussfolgerung gezogen werden, dass von den punktuellen PSM-Einträge im Normalfall keine Gewässergefährdung ausgeht, bewertet anhand des Vergleichs der *Jahresmittelwerte* mit den entsprechenden WRRL-Qualitätsnormen.

Tab. 38. Geschätzte Jahresmittel- und Maximal-Konzentrationen aus Punktquellen im Jahr 2007 in drei Flussgebieten, hochgerechnet aus den Einträgen der jeweils untersuchten Kläranlage (Untersuchungsperioden Frühjahr 2007/ Herbst 2007), und Vergleich mit den Qualitätsnormen der WRRL (s. Tab. 28).

Grau unterlegt: Überschreitung

Fluss Kläranlage		Parthe KA_B	Rur KA_L	Main KA_O
	Vegleichswert VO oder EQS	Jahresmittelwert Konzentration (µg/L)		
		MEAN	MEAN	MEAN
Atrazin	0,6	0,010	0,005	0,000
Bentazon	0,1	0,014	0,000	0,003
Isoproturon	0,3	0,074	0,031	0,021
MCPA	0,1	0,037	0,024	0,011
MCPP	0,1	0,016	0,003	0,004
Metazachlor	0,4	0,003	0,000	0,000
S-Metolachlor	0,5	0,000	0,000	0,001
Terbutylazin	1,0	0,009	0,002	0,003
	Vegleichswert MAC-EQS	Maximale Konzentration (µg/L)		
		MAX	MAX	MAX
Atrazin	2,0	0,726	0,292	0,000
Bentazon	#	0,577	0,000	0,050
Isoproturon	1,0	6,102	0,662	0,424
MCPA	#	1,388	1,599	0,262
MCPP	#	0,473	0,075	0,045
Metazachlor	#	0,077	0,001	0,001
S-Metolachlor	#	0,000	0,017	0,012
Terbutylazin	4,0	0,391	0,126	0,111

#) WRRL-Qualitätsnormen für die maximale Konzentration existieren nur für drei Wirkstoffe; für die übrigen fünf Wirkstoffe erfolgen die Angaben der Vollständigkeit halber.

Ein abweichendes Bild zeigt allerdings die Bewertung anhand der *Maximalkonzentration* (Qualitätsnorm MAC-EQS). Hier zeigt sich für den Wirkstoff Isoproturon in der Parthe eine sehr deutliche (einmalige) Überschreitung des MAC-EQS. In den beiden anderen Flüssen liegt die geschätzte Konzentrationsspitze von Isoproturon zumindest in der Größenordnung der Qualitätsnorm. Für MCPA, für das keine Qualitätsnorm existiert, werden in der Parthe und

der Rur ebenfalls vergleichsweise hohe Konzentrationspeak; überraschend auch der Höchstwert für Atrazin in der Parthe.

Eine entsprechende Abschätzung bzw. Auswertung für die Periode Frühjahr 2008 konnte nicht durchgeführt werden, da die Abflusswerte für 2008 während der Projektlaufzeit noch nicht verfügbar waren. Es ist jedoch davon auszugehen, dass (ähnliche Abflussvolumina im Frühjahr 2008 wie in 2007 vorausgesetzt) die zum Teil wesentlich höheren Wirkstoff-Frachten in 2008, namentlich aus der KA_B, auch entsprechend höhere Konzentrationen im Gewässer zur Folge haben. Dies gilt sowohl für den Jahresmittelwert, insbesondere aber für die Maximalkonzentration.

An diesem Punkt ist darauf hinzuweisen, dass der Jahresmittelwert als Vergleichswert zur Beurteilung der Gefährdung von aquatischen Lebensgemeinschaften durch PSM-Einträge aus fachlichen Gründen wenig aussagekräftig ist. PSM-Wirkstoffe gelangen nach Stand des Wissens im Regelfall nur während verhältnismäßig kurzer Zeitspannen in Fließgewässer, dann aber mit unter Umständen sehr hohen, kurzzeitigen Konzentrationsspitzen. Nicht ohne Grund wird im Zulassungsverfahren für PSM das Risiko für das Schutzgut „aquatische Lebensgemeinschaften“ anhand einer Expositionsdauer von 24 Std. bzw. 48 Std. für die Testorganismen beurteilt. Ein Kriterium wie der Jahresmittelwert ist für die Abschätzung des ökotoxikologischen Risikos von Wirkstoffen irrelevant. Zudem ist eine Monitoringstrategie mit zwölf äquidistanten Messungen pro Jahr per se kaum geeignet, eine zeitlich hochvariante Größe wie den PSM-Konzentrationsverlauf zutreffend zu erfassen (vgl. auch Abb. 28 bis 30).

Die in Deutschland früher verwendeten LAWA-Zielvorgaben sind in dieser Hinsicht wesentlich aussagekräftiger, da sie als Vergleichswert die 90-Perzentil-Konzentration (im Regelfall aus 12 Messungen pro Jahr) heranziehen, das heißt die Bewertung anhand der Konzentrationsspitze vornehmen.

Bei der Interpretation der Ergebnisse ist auf der anderen Seite ausdrücklich darauf hinzuweisen, dass für die Bewertung (und die grafischen Darstellungen) gezielt die problematischsten Wirkstoffe und Kläranlagen ausgewählt worden sind, das heißt die kritischste Situation herausgegriffen wurde. Für die vier übrigen Ackerbau-Kläranlagen (KA_F, KA_J, KA_Reis und KA_Rh), die in den vorstehen Tabellen und Abbildung ausgespart wurden, sind durch-

weg noch deutlich niedrigere (theoretische) Konzentrationen berechnet worden, die die Qualitätsnormen um noch viel stärker unterschreiten.

Die Abb. 28 bis 30 zeigen schließlich die (theoretischen) Konzentrationsverläufe für die drei Wirkstoffe Isoproturon, MCPA und MCPP in den drei betrachteten Flüssen, jeweils für den Zeitraum März bis Mai 2007 (entspricht der Untersuchungsperiode Frühjahr 2007). Die Konzentrationsbereiche der fünf anderen Wirkstoffe mit Qualitätsnormen durchweg deutlich niedriger als die drei dargestellten Wirkstoffe, sie wurden daher nicht in die Grafiken aufgenommen. Weiterhin ist die abgebildete Zeitspanne auf das Frühjahr 2007 beschränkt, da die (theoretischen) Konzentrationen aus Punkteinträgen im Herbst deutlich niedriger sind.

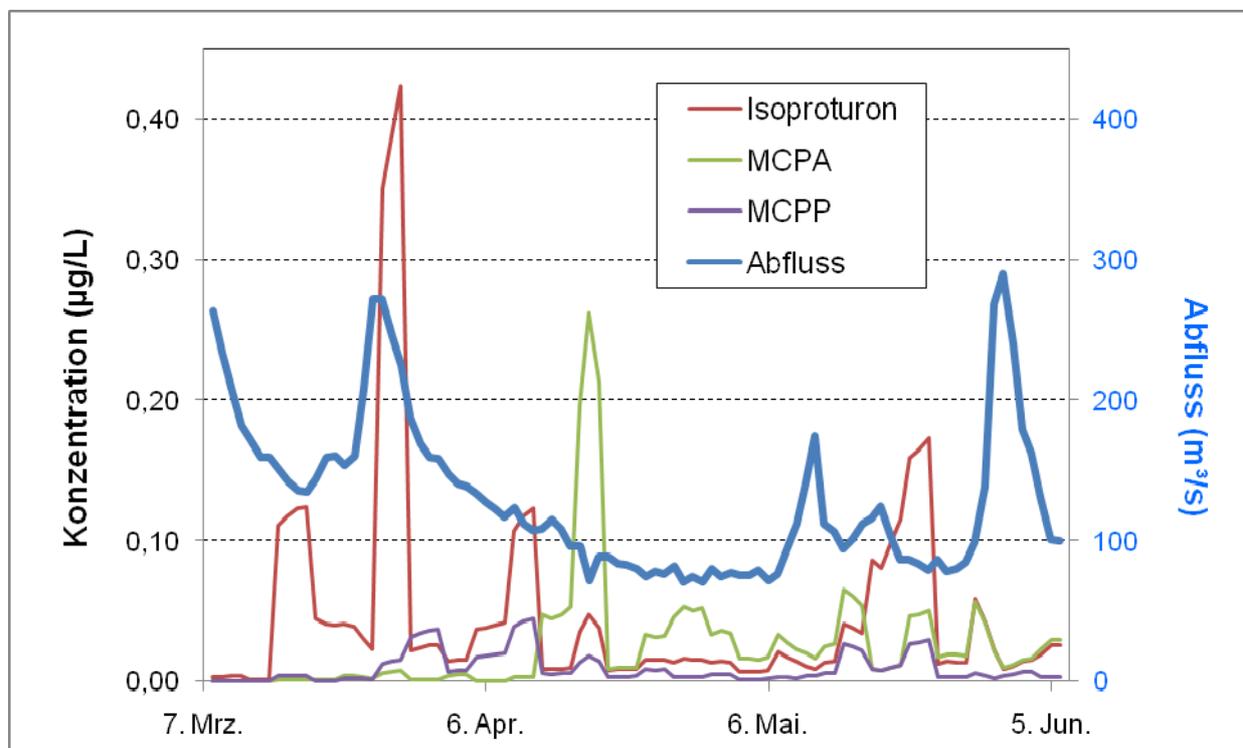


Abb. 28. Berechneter Konzentrationsverlauf der Wirkstoffe Isoproturon, MCPA und MCPP aus punktuellen Einträgen im Main unterhalb der Einleitung der KA_O für den Zeitraum März bis Mai 2007, hochgerechnet für das gesamte Einzugsgebiet auf Basis der Messergebnisse zur Wirkstoff-Fracht der KA_O

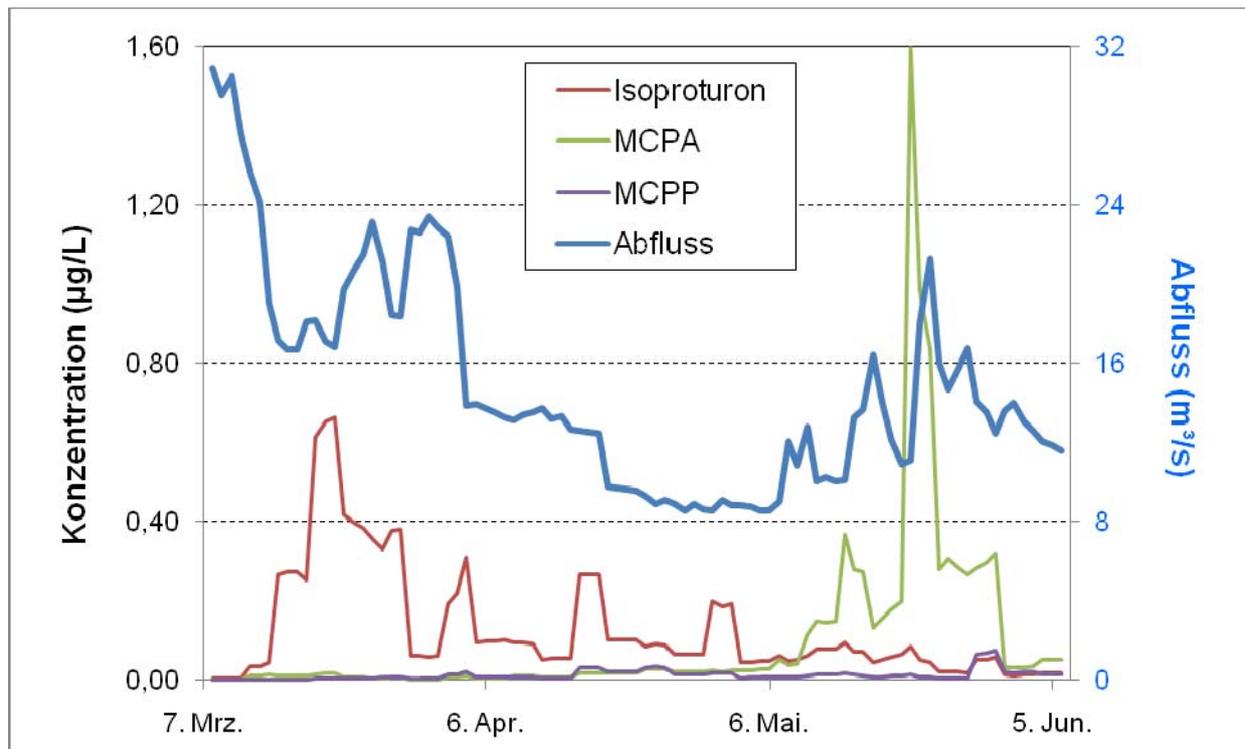


Abb. 29. Berechneter Konzentrationsverlauf der Wirkstoffe Isoproturon, MCPA und MCPP aus punktuellen Einträgen in der Rur unterhalb der Einleitung der KA_L für den Zeitraum März bis Mai 2007, hochgerechnet für das gesamte Einzugsgebiet auf Basis der Messergebnisse zur Wirkstoff-Fracht der KA_L

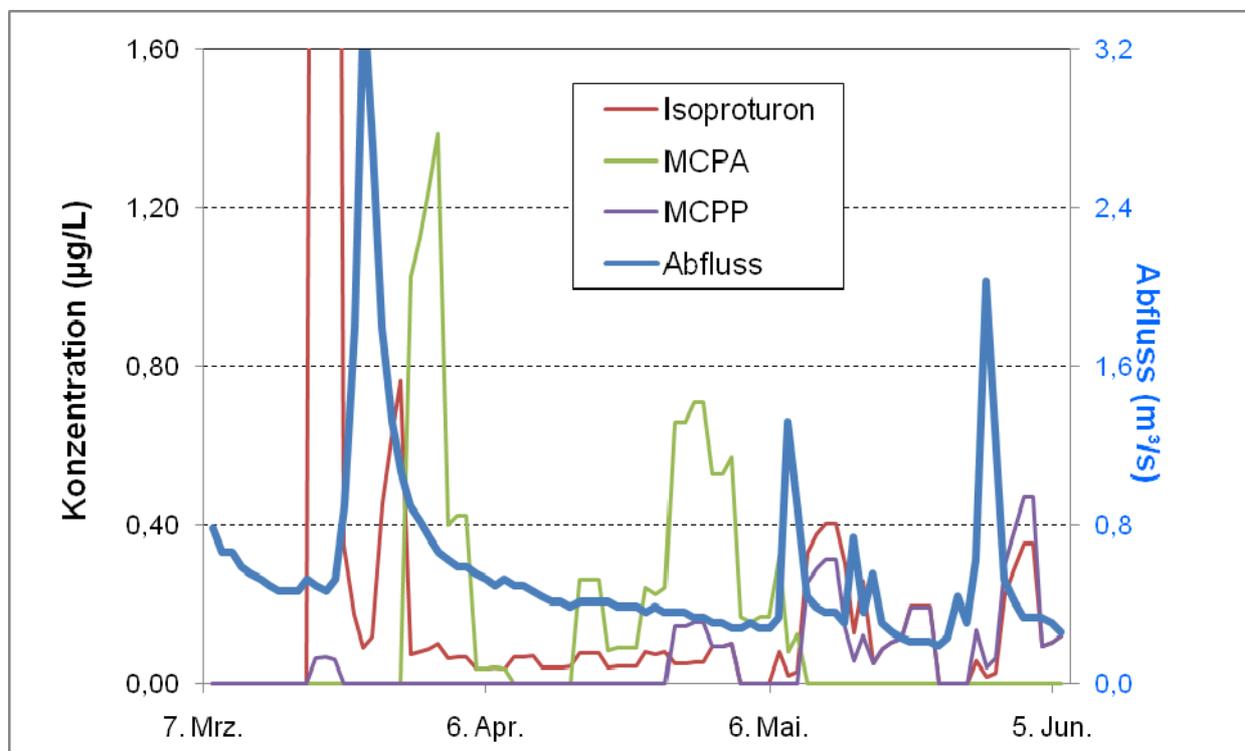


Abb. 30. Berechneter Konzentrationsverlauf der Wirkstoffe Isoproturon, MCPA und MCPP aus punktuellen Einträgen in der Parthe unterhalb der Einleitung der KA_B für den Zeitraum März bis Mai 2007, hochgerechnet für das gesamte Einzugsgebiet auf Basis der Messergebnisse zur Wirkstoff-Fracht der KA_B

7. Einflußfaktoren der Höhe von punktuellen PSM-Einträgen

Bei der Interpretation der Wirkstofffrachten der im Projekt untersuchten Kläranlagen wird grundsätzlich davon ausgegangen, dass - mit Ausnahme von Diuron – Eintragsquellen außerhalb der Landwirtschaft keine Rolle gespielt haben. Alle Wirkstofffunde sind daher ausschließlich auf Vorgänge im landwirtschaftlichen Betriebsbereich zurückzuführen.

Das hervorstechendste Merkmal der Projektergebnisse sind die *außerordentlich großen Unterschiede* zwischen den Kläranlagen bezüglich der PSM-Fracht pro Spritzgerät. Die Spannweite reicht im ersten Untersuchungszeitraum (Herbst 2006/Frühjahr 2007) von 2 g (KA_Reis und KA_Rh) bis 122 g pro Gerät im Einzugsgebiet der KA_B. Unterschiede in ähnlichen Größenordnungen traten bereits in der Untersuchung von Seel et al. (1994) auf, in der in einem Gebiet mit relativ homogener Agrarstruktur (Nidda-Einzugsgebiet) die PSM-Frachten zwischen 4 g und 80 g divergierten, bezogen auf die Anzahl der Betriebe (nicht der Feldspritzen; 22 Kläranlagen, Beprobungszeitraum März bis Juli). Eine vergleichbare Spannweite wurde auch erneut in einer späteren Beprobung von 106 Kläranlagen in Hessen festgestellt (sechs Wochen in 2001; nur Konzentrationen ermittelt; Seel et al. 1994).

Für die im Herbst 2007 und Frühjahr 2008 fortgesetzt untersuchten drei Ackerbau-Kläranlagen sind in diesem zweiten Jahr zum Teil erheblich höhere PSM-Frachten pro Spritze ermittelt worden. Als Maximum ist in der KA_B eine Fracht von 445 g/Spritze gemessen worden, ein Wert, der bis dato in der Literatur noch nie berichtet worden ist. Offensichtlich ist es ein wesentliches Merkmal der PSM-Verluste aus dem landwirtschaftlichen Betriebsbereich, dass die Höhe dieser Einträge nicht nur zwischen verschiedenen Regionen, sondern auch von Jahr zu Jahr sehr stark variieren kann.

Als durchgängige Beobachtung ist für nahezu alle Wirkstoffe respektive Kläranlagen festzustellen, dass die Schwerpunkte der Wirkstofffunde zeitlich zusammenfallen mit den hauptsächlichlichen Applikationszeiträumen des jeweiligen Wirkstoffs. Besonders gut erkennbar wird dies für die Weinbau-Kläranlage. Hier kann dargestellt werden, dass das Auftreten der Fachdominierenden Wirkstoffe (Botryzide, Peronospora-Präparate) im Kläranlagenablauf sehr eng mit den wöchentlichen regionalen Behandlungsempfehlungen korrespondiert (s. exemplarisch Abb. 31). Diese enge Koppelung 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.

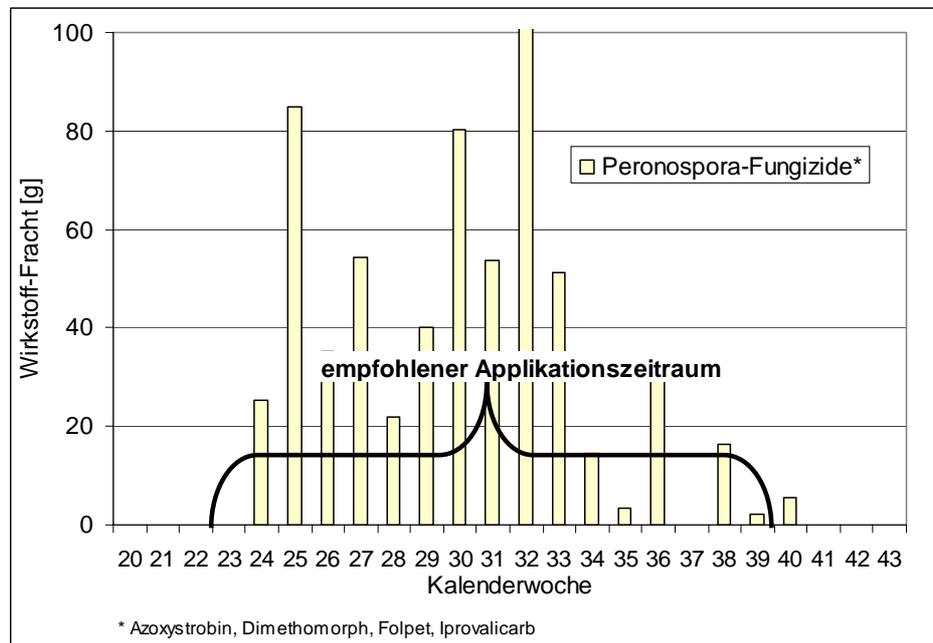


Abb. 31. Zeitlicher Zusammenhang von Anwendungsempfehlung bestimmter Präparate und Detektion der entsprechenden Wirkstoffe im Kläranlagenablauf der Weinbau-Kläranlage KA_N (Zeitraum 20. - 43. KW 2006)

Die PSM-Rückstände im Ablauf der Weinbau-Kläranlage außerhalb der Applikationsperioden können nicht zweifelsfrei bestimmten Vorgängen zugeordnet werden. Als mögliche Ursachen kommen unter anderem Reinigungsvorgänge von Spritzgeräten vor der Einwinterung in Frage, weiterhin aber auch Wirkstoff-Rückstände auf den Trauben, die beim Keltern in Wasch- und Reinigungswässern übertreten und dann in das Abwasser gelangen.

In der Literatur werden eine Reihe von mutmaßlichen Schlüsselfaktoren genannt, von denen das Ausmaß der punktuellen PSM-Einträge abhängt (vgl. unter anderem Bach et al., 2000; Huber, 1998). Bei diesen Faktoren handelt es sich um die Anzahl der Feldspritzen in einer Region, die Agrarstruktur, die Anbauverhältnisse (Kulturartezusammensetzung sowie die Wirkstoffeigenschaften).

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, die Menge und die regionale Verteilung von Punkteinträgen

zu prognostizieren. Der Autor argumentiert, dass eine höhere Anzahl an Geräten eine größere Anzahl von Befüll- und Reinigungsvorgängen impliziert – also Vorgänge mit einem hohen PSM-Freisetzungspotenzial. Daher gehen Huber (1998) und auch Bach et al. (2000) davon aus, dass in den ostdeutschen Flächenbundesländern mit einer „Spritzendichte“ von ca. 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 vergleichsweise hohen Frachten in Weinbau-Gebieten werden mit der wesentlich höheren Spritzendichte im Sonderkulturanbau und der im Vergleich zum Ackerbau höheren Anwendungsfrequenz begründet.

Diese Hypothese kann mit den Ergebnissen der vorliegenden Arbeit nicht bestätigt werden. Zwei der beprobten Ackerbau-Kläranlagen liegen in den östlichen Bundesländern: KA_J in Mecklenburg-Vorpommern und die KA_B in Sachsen. Die mittlere Fracht pro Feldspritze bezogen auf das Anbaujahr 06/07 (Herbst 06 und Frühjahr 07, ohne Diuron) beträgt im Einzugsgebiet der KA_J rund 15 g (dritthöchster Wert nach KA_Reis und KA_Rh). Die gemessene PSM-Frachten pro Applikationsgerät im Einzugsgebiet der KA_B sind die höchsten in der gesamten Untersuchung, im ersten Untersuchungszeitraum (Herbst 2006 und Frühjahr 2007) rund 122 g/Gerät (ohne Diuron), im zweiten Abschnitt (Herbst 2007 und Frühjahr 2008) sogar 445 g/Gerät. Für das Einzugsgebiet der KA_J wurden neun, im Einzugsgebiet der KA_B fünf Spritzgeräte ermittelt (gemäß Kontrolluntersuchung). Jedoch ist zu bedenken, dass bei einer geringen Zahl von Spritzgeräten das Fehlverhalten bereits eines einzigen Anwenders erhebliches Gewicht erlangen kann. Ein solches individuelles Fehlverhalten kann mit dem verwendeten Untersuchungsansatz (Beprobung des Ablaufes von Kläranlagen) nicht erkannt werden, dazu müssten Hofabläufe separat 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.

Dass die „Spritzendichte“ allerdings durchaus einen Einflussfaktor für die Höhe der Punkteinträge darstellt, zeigt die Gegenüberstellung (Abb. 32) der PSM-Gesamtfracht einmal bezogen auf die Spritzenzahl und zum anderen bezogen auf die Ackerfläche (i.e. die potenzielle Behandlungsfläche) für den ersten Untersuchungszeitraum. Hinsichtlich der Fracht pro ha Ackerland liegt die KA_B, die die höchste Fracht pro Spritzgerät aufweist, mit 0,53 g/ha AF im Mittelfeld der Werte; die KA_J rangiert bei der Fracht pro ha AF auf dem gleichen niedrigen Niveau wie die KA_Reis und KA_Rh. In beiden Fällen ist dies ein Effekt der geringen

Spritzendichten von 4,3 bzw. 1,4 Spritzgeräten pro 100 ha AF (s. Tab. 30) in den Einzugsgebieten der beiden Kläranlagen KA_B bzw. KA_J. Umgekehrt bewirken die relativ hohen Spritzendichten von 17 bzw. 26 Geräten pro 1000 ha AF für die KA_L und KA_O, dass bezüglich der Fracht pro ha Behandlungsfläche die Landwirtschaft im Einzugsbereich dieser beiden Anlagen die höchsten Ergebnisse zeigen.

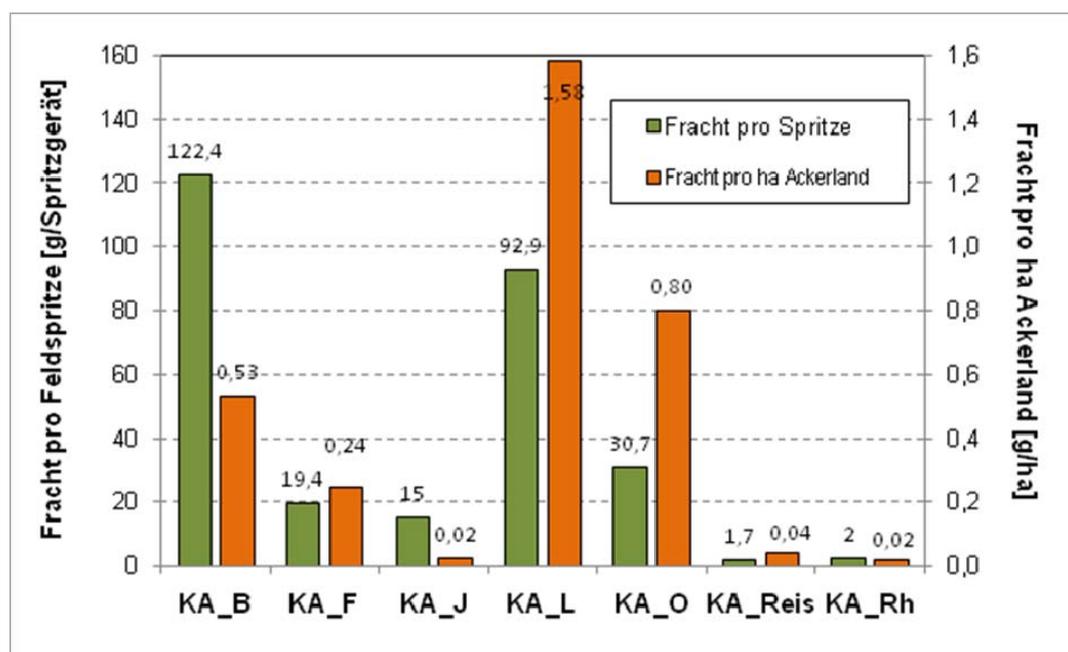


Abb. 32. Gegenüberstellung der PSM-Gesamtfrachten (Summe 27 Wirkstoffe, ohne Diuron) im Ablauf der sieben Ackerbau-Kläranlagen, bezogen auf die Spritzgeräte vs. bezogen auf die potenzielle Behandlungsflächen (Ackerfläche der Kläranlagen-angeschlossenen Betriebe), Untersuchungszeitraum Herbst 2006 und Frühjahr 2007

Fischer (1996) stellt die Bedeutung agrarstruktureller Größen wie mittlere Betriebsdichte und Ausbildung 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 „große Betriebe - besserer Ausbildungsstand der Betriebsleiter - höhere Wirtschaftlichkeit - Einsatz neuerer, emissionsarmer Spritztechnik“ und daraus resultierende geringeres Potenzial von Punkteinträgen kann mit den hier vorliegenden Ergebnissen nicht bestätigt werden. Im Einzugsgebiet der KA_J beträgt die durchschnittliche Betriebsgröße beispielsweise 1133 ha, zwei Betriebe unterhalten sogar jeweils zwei Feldspritzen, was auf eine gute technische Ausstattung der Betriebe hindeutet. Trotzdem werden hier wesentlich höhere Frachten pro Feldspritze errechnet als in der niederbayerischen KA_Reis in einer vergleichsweise kleinstrukturierten Landwirtschaft; die Werte diffe-

rieren um den Faktor 7,5. Auch eine eingehende Recherche vor Ort lieferte keine Hinweise darauf, dass die vergleichsweise geringen Gesamtfrachten an der KA_Rh oder auch KA_Reis auf Artefakte, wie beispielsweise technische Probleme bei der Beprobung oder fehlenden Anschluss der landwirtschaftlichen Hofflächen an die Kläranlage, zurückzuführen wären.

Bezieht man die Wirkstofffrachten nicht auf die Zahl der Spritzgeräte, sondern auf die Behandlungsflächen bzw. auf einzelne Kulturarten, so ist eine gewisse Rangfolge der mittleren Kulturart-spezifischen Verluste (s. Tab. 33) zu erkennen. Als besonders „verlustintensive“ Fruchtart tritt der Zuckerrübenanbau hervor, was insbesondere die Ergebnisse der KA_L und KA_O verdeutlichen. In beiden Einzugsgebieten beträgt der Anteil des Zuckerrübenanbaus an der gesamten landwirtschaftlichen Nutzfläche über 20 %. Die relativ hohen Frachten sowohl der Getreide- als auch der Rüben-Herbizidwirkstoffe im Ablauf dieser Kläranlagen sind möglicherweise mit Reinigungsvorgängen aufgrund von Kulturwechseln zu erklären (gründliche Reinigung der Applikationsgeräte beim Wechsel von Halm- auf Blattfruchtherbizide und anschließend wieder Insektizid- bzw. Fungizid-Behandlung von Getreide). In diese Argumentationslinie passt auch die geringe PSM-Fracht im Einzugsgebiet der KA_R, in der keine Zuckerrüben angebaut werden. Im Umkehrschluss würde das bedeuten, dass bei einem vergleichsweise hohen Maisanteil in der Fruchtfolge geringere PSM-Gesamtfrachten erwartet werden können. Wie aus Tab. 33 deutlich wird, können aus den Projektergebnissen Indizien in dieser Richtung abgeleitet werden, insgesamt gesehen ist die Varianz der Einzelwerte allerdings zu groß (bzw. die Anzahl der untersuchten Kläranlagen zu gering), um ein stringente Interpretation zu erlauben.

Ob bzw. in wie weit die physiko-chemischen Wirkstoff-Eigenschaften im Ackerbau für die Höhe der punktuellen Einträge eine Rolle spielen, kann auf Basis der Ergebnisse nicht abschließend beantwortet werden. Die (wenigen) Untersuchungen zur Elimination von PSM-Wirkstoffen in Kläranlagen lassen keine Hinweise auf einen stärkeren Rückhalt bzw. Abbau von Wirkstoffen während der Passage von Kläranlagen erkennen (sieht man von Wirkstoffen mit sehr hohem koc-Wert ab). Die zwölf Wirkstoffe, die in allen Kläranlagenabläufen Frachtdominierend sind, decken einen weiten Bereich an koc- und DT50-Werten ab; ein Zusammenhang zwischen den Frachten und den spezifischen Eigenschaften der Wirkstoffe ist daraus nicht zu erkennen. Auch Müller (2000) geht davon aus, dass kein Zusammenhang zwischen den physiko-chemischen Eigenschaften eines Wirkstoffes und seinem Anteil an den punktuellen PSM-Einträgen besteht.

Ein statistisch gesicherter Zusammenhang zwischen dem Niederschlagsgeschehen im Einzugsgebiet der Kläranlagen und dem Auftreten von PSM-Wirkstoffen im Kläranlagen-Ablauf kann in der vorliegenden Untersuchung nicht festgestellt werden. Aus dieser Beobachtung ist die Schlußfolgerung zu ziehen, dass die PSM-Einträge von den befestigten Hofflächen der Landwirtschaftsbetriebe in das Kanalisationssystem „authochton“ erfolgen, das heißt mit der Freisetzung einer gewissen (Ab-)Wassermenge verbunden sind, mit der die Präparate- oder Spritzbrühereste in den Gully des Hofplatzes eingespült werden. Dieses „Spülwasser“ ist entweder die verschüttete bzw. abgelassene Spritzbrühe selbst und/oder das Waschwasser der Spritzenreinigung, ggf. zusätzlich auch Waschwasser einer nachfolgenden Reinigung (Abspritzen) des Spritzenbefüllplatzes. Eine Anlage von Wirkstoff-Depots (durch verschüttete und dann zunächst auf befestigten Oberflächen angetrocknete oder adsorbierte Präparate bzw. Spritzbrühe), die dann durch nachfolgende Niederschläge sukzessive abgespült bzw. desorbiert werden, ist als Eintragsmechanismus nicht zu erkennen, zumindest nicht als vorherrschender Prozess.

In analoger Weise lässt sich die vorstehende Schlussfolgerung auf das Eintragspotenzial von Wirkstoffen durch Abschwemmung von befestigten Wegen erweitern. Derartige Abschwemmungsvorgänge mögen in Einzelfällen eine gewisse Rolle spielen, im Fall der hier untersuchten Weinbau-Kläranlage KA_N ist eine Prägung der Wirkstofffrachten im Kläranlagenablauf durch das Niederschlagsgeschehen und daran gekoppelte Eintragsvorgänge aber nicht zu erkennen.

Als **zentrales Ergebnis** ist festzuhalten, dass für die große Varianz der ermittelten PSM-Frachten, sowohl bezogen auf die Spritzgeräte als auch bezogen auf die Behandlungsflächen, im Rahmen des Projekts *keine schlüssige Erklärung* gegeben werden kann. Die in früheren Untersuchungen angeführten Hypothesen zur Bedeutung verschiedener Einflußfaktoren, von denen die Höhe der punktuellen PSM-Einträge abhängt, können mit der hier ermittelten Ergebnissen nicht gestützt werden. Die Intensität punktueller PSM-Einträge stellt sich als ein quasi „erratischer“ Vorgang dar, dessen determinierende Faktoren sich einer naturwissenschaftlichen Beschreibung entziehen.

Offensichtlich ist die Sorgfalt des Verhaltens der Landwirte bzw. der Anwender von PSM *der zentrale Parameter*, von dem die PSM-Eintragsmenge aus dem landwirtschaftlichen Betriebsbereich (weitgehend) bestimmt wird. Dieser Parameter wäre jedoch nur mit sozialwissen-

schaftlichen Methoden empirisch zu beschreiben und diejenigen Bestimmungsgründe des menschlichen Handelns zu ermitteln, die zu „hot spots“ führen, das heißt Schwerpunkte von PSM-Gewässereinträgen aus Hofabläufen verursachen.

Für die Konzeption von Strategien zur Reduzierung von Punkteinträgen ergeben sich daraus mehrere Schlussfolgerungen:

- Die Information der Betriebsleiter bzw. der Personen, die Pflanzenschutzmaßnahmen durchführen, über die essentielle Bedeutung von Punkteinträgen für die Gewässerqualität ist weiter voranzutreiben und zu intensivieren.
- Als *einzig* wirksame und sichere Vermeidungsstrategie ist die konsequente Verlagerung *aller* Vorgänge im Zusammenhang mit der Handhabung von Präparaten und Spritzgeräten auf das Feld (unbewachsenen Boden) zu propagieren. Einzige Ausnahme davon sind Betriebe, die über einen Spritzenwaschplatz mit einer Abwassersammel- und ggf. Reinigungseinrichtung (z.B. „Biobed“) verfügen.
- In vielen Fällen, das heißt hier für die meisten Wirkstofffunde in den untersuchten Kläranlagen, reicht bereits eine sehr niedrige Quote von Verstößen gegen die gute fachliche Praxis aus (Größenordnung: ein oder zwei Vorfälle pro hundert Behandlungsmaßnahmen), um die gemessenen Frachten zu verursachen. Eine Beratungsstrategie muss daher auf das Ziel einer lückenlosen, 100 %-tigen Einhaltung der entsprechenden Vorschriften ausgerichtet sein.
- Verbesserungen der technischen Ausstattung der Spritzgeräte können in gewissem Umfang dazu beitragen, Wirkstoffverluste im Zusammenhang mit dem Ansetzen der Spritzbrühe zu vermeiden. Dazu gehören unter anderem Kanisterspülvorrichtungen und Einrichtungen, die ein Überlaufen des Spritzbrühetanks verhindern.
- Auf Seiten der zuständigen Institutionen ist zu überlegen, ob nicht bzw. in wie weit eine derartige Strategie durch eine Intensivierung von Kontrollen der Anwender unterstützt werden kann.

8. Zusammenfassung

Das Projekt *Identifizierung und Vermeidung der hot spots von Pflanzenschutzmitteln in Oberflächengewässer – Erkennung und Quantifizierung punktueller Einträge* dient der Aufgabe, die Bedeutung der Emission von Pflanzenschutzmitteln aus dem landwirtschaftlichen Betriebsbereich in Oberflächengewässer auf Bundesebene zu quantifizieren. Im Vordergrund steht die Frage, in welcher Größenordnung solche Einträge zu erwarten sind und welche Faktoren maßgeblichen Einfluss auf die Höhe von Punkteinträgen ausüben.

Eine gängige Methode, die auch in den vergangenen Jahren bereits in rund einem Dutzend Studien in Deutschland zum Einsatz kam, um punktuelle PSM-Einträge zu erfassen, ist die Beprobung von Kläranlagen in Gebieten, in denen die Hofentwässerung der Landwirtschaftsbetriebe an diese Kläranlagen angeschlossen ist. Diese bisher durchgeführten Untersuchungen zeigten, dass sowohl die absolute Höhe als auch der Anteil von Punkteinträgen an der PSM-Gesamtbelastung von Oberflächengewässern in den meisten Fällen hoch bis sehr hoch ausfällt, allerdings mit regional sehr unterschiedlicher Ausprägung. Diese Untersuchungen wurden jedoch nicht nach einem räumlich, zeitlich und methodisch abgestimmten Gesamtkonzept durchgeführt, vielmehr unterscheiden sie sich hinsichtlich Wirkstoffspektrum, Beprobungsablauf, -dauer und -frequenz, Stichprobenumfang und weiteren Faktoren ganz erheblich und sind daher nur sehr eingeschränkt miteinander vergleichbar.

Ausgehend von diesem Sachstand wurden deshalb in den Anbaujahren 2006/07 und 2007/08 acht Kläranlagen (sieben in Ackerbau-Regionen und eine in einem Weinbau-Gebiet) nach einem einheitlichen, abgestimmten Untersuchungsansatz beprobt. Die Ergebnisse der Untersuchungen sind nach vergleichbaren Kriterien ausgewertet worden, folgende Ergebnisse sind dabei als Kernaussagen herauszustellen:

1. Die Hypothese, dass Punkteinträge in Deutschland eine wesentliche – wenn auch regional vermutlich unterschiedlich große – Bedeutung für die Belastung von Oberflächengewässern mit PSM besitzen, ist zu bestätigen. In Ackerbau-Gebieten sind die mittleren Einträge in einer Größenordnung von etwa 40 g pro Spritzgerät anzusetzen (in der Summe von 25 analysierten Wirkstoffen und zwei Metaboliten), mit allerdings einer außerordentlich weiten Spanne von ca. 2 g bis über 400 g pro Spritzgerät (Klär-

anlagen mit der geringsten und der höchsten rechnerischen Fracht pro Spritzgerät in einem Untersuchungszeitraum). Der berechnete PSM-Austrag, bezogen auf die behandelte Fläche, beträgt zwischen 0,02 g und 1,8 g je Hektar behandelter Ackerfläche.

2. Für die Weinbau-Kläranlage wurden mittlere PSM-Frachten von rund 29 g pro Betrieb für die Hauptapplikationsperiode 2006 und 16 g pro Betrieb für den entsprechenden Zeitraum in 2007 gemessen (in der Summe von 32 Wirkstoffen). Bezogen auf die behandelte Rebfläche entsprechen diese Mengen ca. 4,6 g (2006) und 2,6 g (2007) je Hektar behandelter Rebfläche und Jahr. Die Variabilität der PSM-Frachten zwischen den beiden Jahren ist auf den unterschiedlichen Infektionsdruck in den jeweiligen Jahren und die dadurch bedingte unterschiedliche Häufigkeit von Behandlungen zurückzuführen.
3. Die Ergebnisse stützen die These, dass die PSM-Befrachtung von Oberflächengewässern aus Punktquellen in erster Linie auf fahrlässiges bzw. fehlerhaftes Verhalten der Personen zurückzuführen ist, die Pflanzenschutzmaßnahmen durchführen. Ihre Sorgfalt bei der Vorbereitung und Durchführung von PSM-Behandlungen bestimmt die Höhe der punktuellen Einträge maßgeblich. Ein systematischer Einfluss von agrarstrukturellen, physischen bzw. naturwissenschaftlich erfassbaren oder ähnlichen Faktoren ist aus den Ergebnissen nicht zu erkennen.
4. Die bisherigen Bemühungen von verschiedenen Seiten waren offensichtlich noch nicht in allen Fällen ausreichend, um die PSM-Punkteinträge in die Gewässer im erforderlichen Umfang zu reduzieren. Die großen Unterschiede zwischen den verschiedenen Kläranlagen zeigen, dass offensichtlich nicht alle Potenziale zur Reduktion der Einträge ausgeschöpft sind.
5. Effiziente Minderungsmaßnahmen müssen bei der Handhabung von Feldspritzen und PSM-Präparaten im Hofbereich ansetzen. Dabei sind ohne Ausnahme alle Arbeitsschritte im Zusammenhang mit der Lagerung und Handhabung der PSM-Präparate genauso wie beim Ansetzen der Spritzbrühe, der anschließenden Außen- und Innenreinigung und schließlich der Lagerung von Spritzgeräten in Betracht zu ziehen.

6. Strategien und Vorschläge für Maßnahmen zur Verminderung bzw. Vermeidung von PSM-Punkteinträgen sollten speziell auf die Situation in den Problemgebieten ausgerichtet sein. Das vorliegende Projekt macht deutlich, dass eine Charakterisierung von Problemgebieten in Deutschland, so genannten „hot spots“, ausgesprochen schwierig ist. Weder lässt sich aus den vorliegenden Ergebnisse ableiten, 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 aber nicht im Umkehrschluss bedeutet, dass diese Faktoren im Einzelfall nicht doch eine gewisse Rolle spielen können.

7. Es gibt Hinweise darauf, dass der erforderliche Sachkundenachweis bei vielen Landwirten veraltet ist. Es ist daher nicht auszuschließen, dass die entsprechenden Inhalte in Vergessenheit geraten sind bzw. dass der jüngere Stand des Wissens zu dieser Thematik – wie unter anderen die hohe Relevanz der Einträge aus dem Hofbereich und die Verantwortung jedes einzelnen Betriebsleiters dafür - nicht präsent ist. Es ist ggf. zu überlegen, wie aktuelle Informationen auch an diejenigen Landwirte (bzw. PSM-Anwender) herangetragen werden können, die sich seit Ablegen ihres Sachkundenachweises dazu nicht weitergebildet haben oder dieser Thematik keine Bedeutung beimessen.

9. 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: *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 Landesamt für Statistik und Datenverarbeitung (Hrsg.), 2002: Betriebsgrößen- struktur, 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: Ergebnisniederschrift 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 tolyfluamidhaltiger 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 Fließgewässer. Justus-Liebig-Universität Gießen, Diss.
- Fischer, P., Bach, M., Burhenne, J., Spitteller 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., Spitteller, 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., Spitteller, 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 euro-päischer 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 für 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 PSM 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 rheinlandpfälzischen Kläranlagen-abläufen 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 KleffmannMarketing 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, Schmalleberg.
- 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.
- Luijddendijk, 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 Hiltrup.
- 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., Spitteller, M., Frede, H.-G., 2002: Point- and nonpoint-source pesticide contamination in the Zwesten 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., Manheller, 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 Völkenrode 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 (UFOPLAN) 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: HLU (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 spillages 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 Sci 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.

10. Weitere Quellen

10.1 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 Sprühgeräte 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.

10.2 Informationen für die Auswahl der zu analysierenden Wirkstoffe

- 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 Streloke, Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit
- Dr. Michael Trepel, Landesamt für Natur und Umwelt Schleswig-Holstein
- Dr. Zornbach, Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz

11. Anhang - Abbildungen

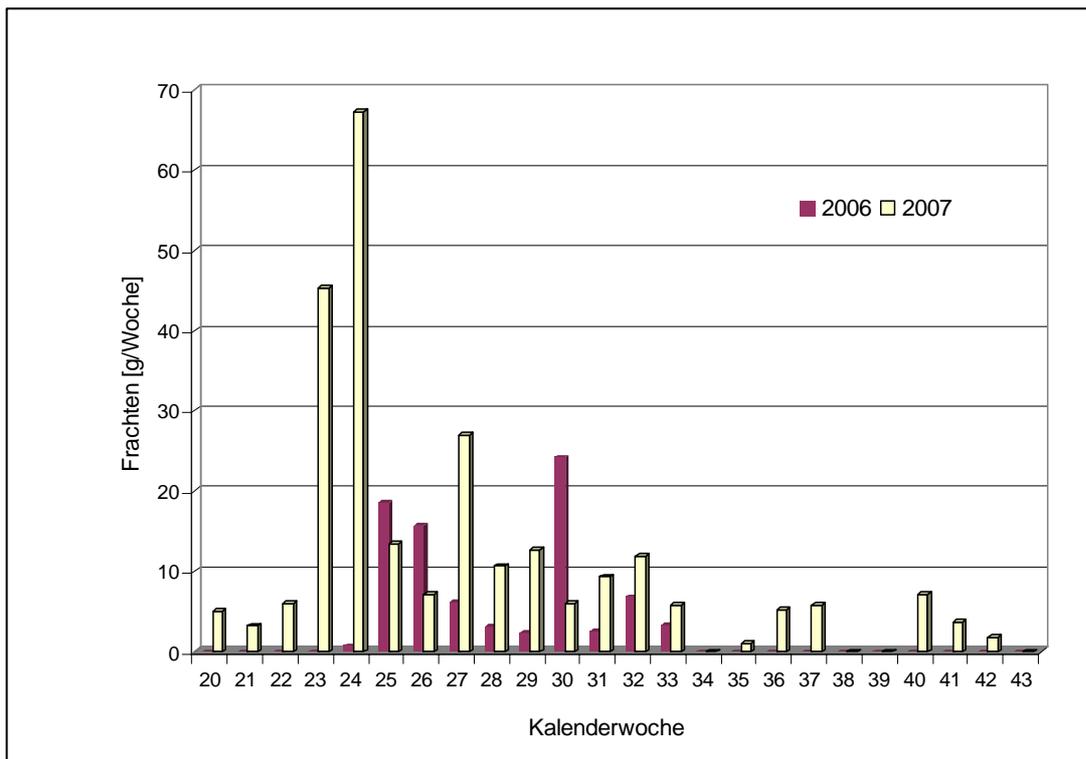


Abb. A-1. Wochenfrachten von Azoxystrobin in den Hauptapplikationszeiträumen (20. - 43.KW) im Ablauf der KA_N in den Jahren 2006 und 2007

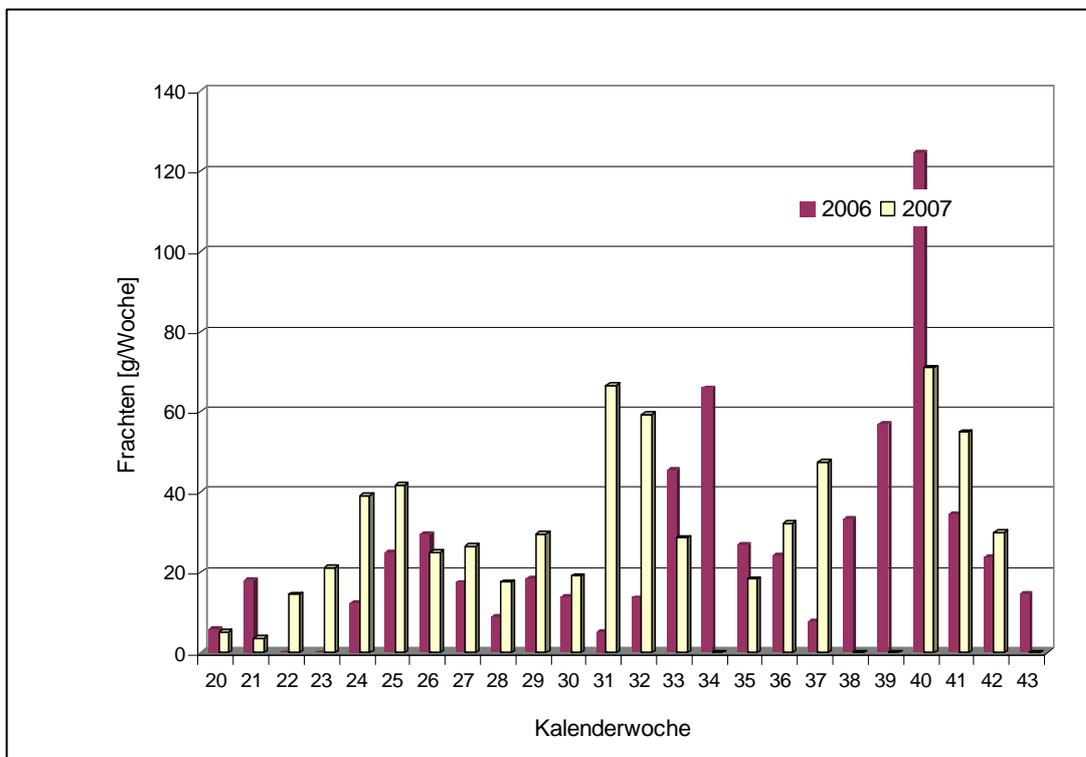


Abb. A-2. Wochenfrachten von Boscalid in den Hauptapplikationszeiträumen (20. - 43.KW) im Ablauf der KA_N in den Jahren 2006 und 2007

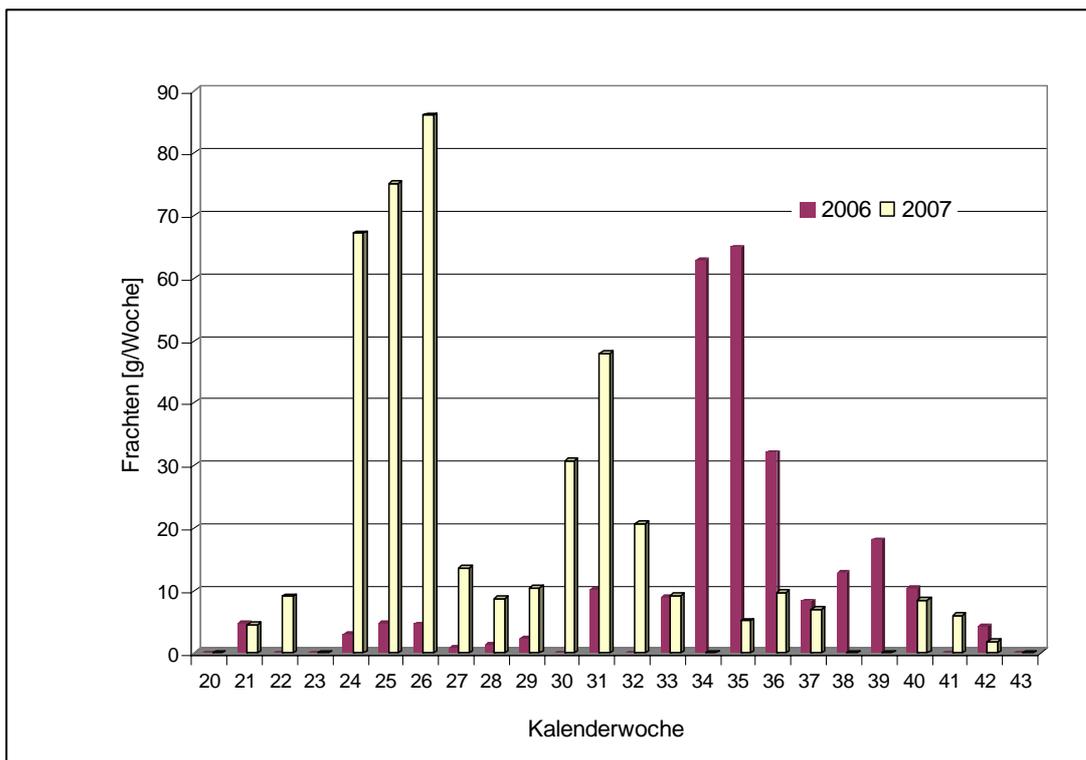


Abb. A-3. Wochenfrachten von Cyprodinil in den Hauptapplikationszeiträumen (20. - 43.KW) im Ablauf der KA_N in den Jahren 2006 und 2007

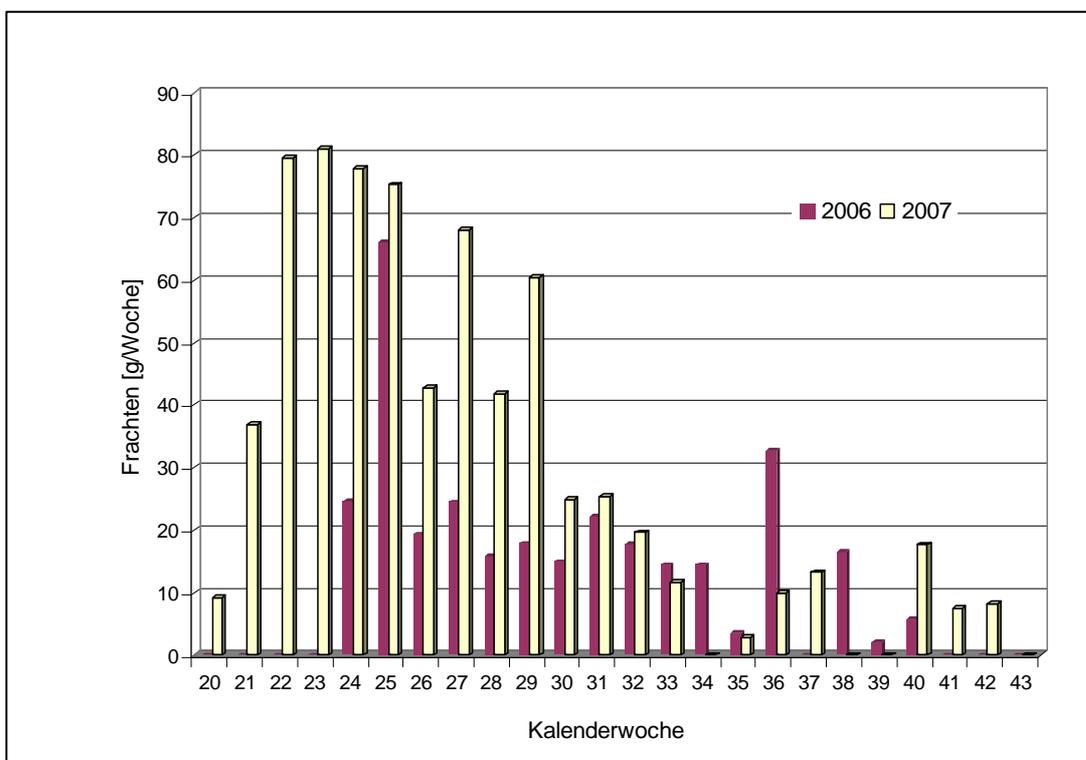


Abb. A-4. Wochenfrachten von Dimethomorph in den Hauptapplikationszeiträumen (20. - 43.KW) im Ablauf der KA_N in den Jahren 2006 und 2007

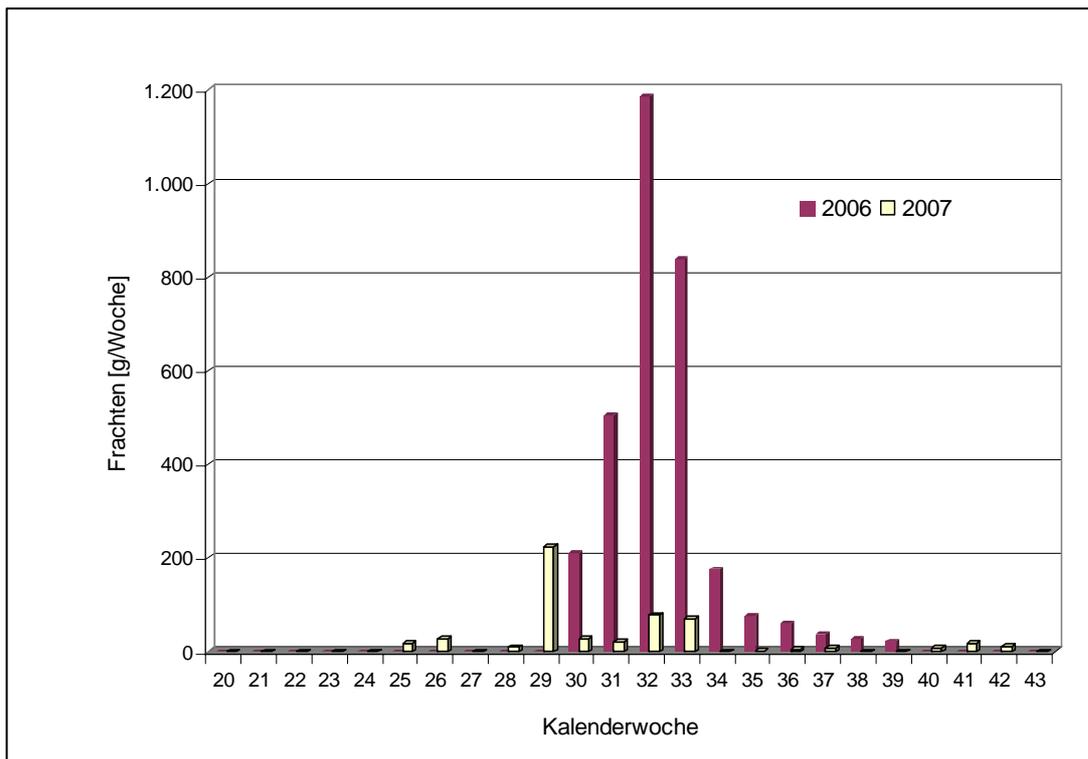


Abb. A-5. Wochenfrachten von Fenhexamid in den Hauptapplikationszeiträumen (20. - 43.KW) im Ablauf der KA_N in den Jahren 2006 und 2007

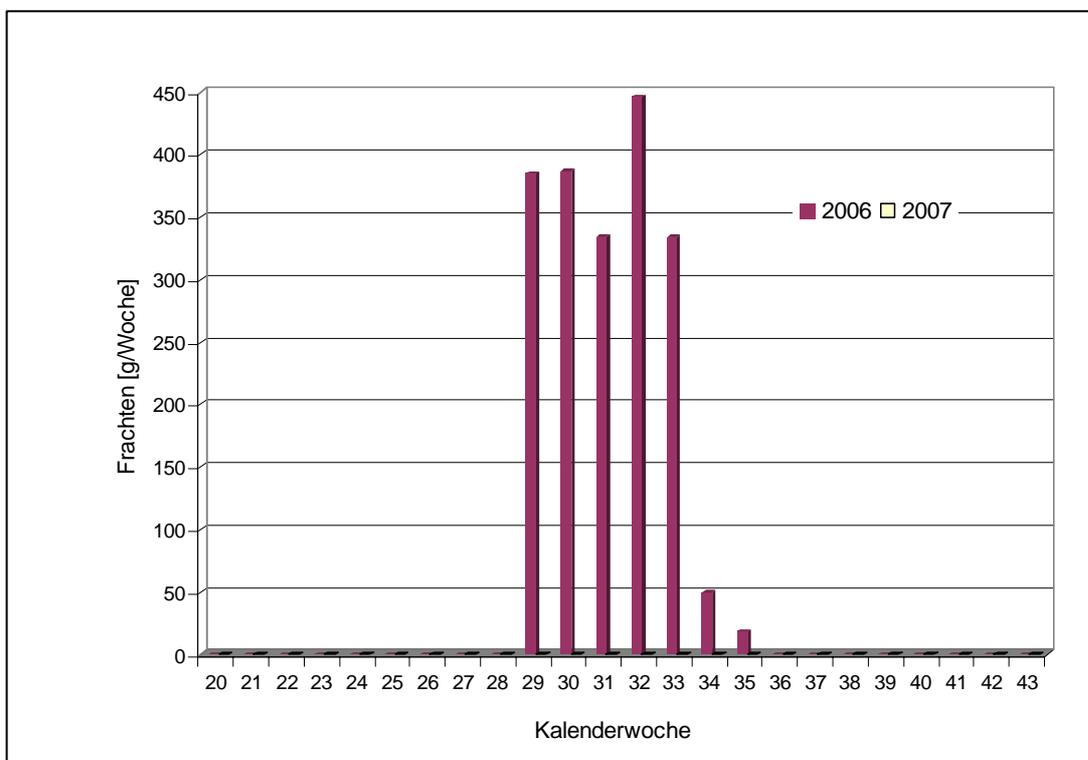


Abb. A-6. Wochenfrachten von Fenpropimorph in den Hauptapplikationszeiträumen (20. - 43.KW) im Ablauf der KA_N in den Jahren 2006 und 2007

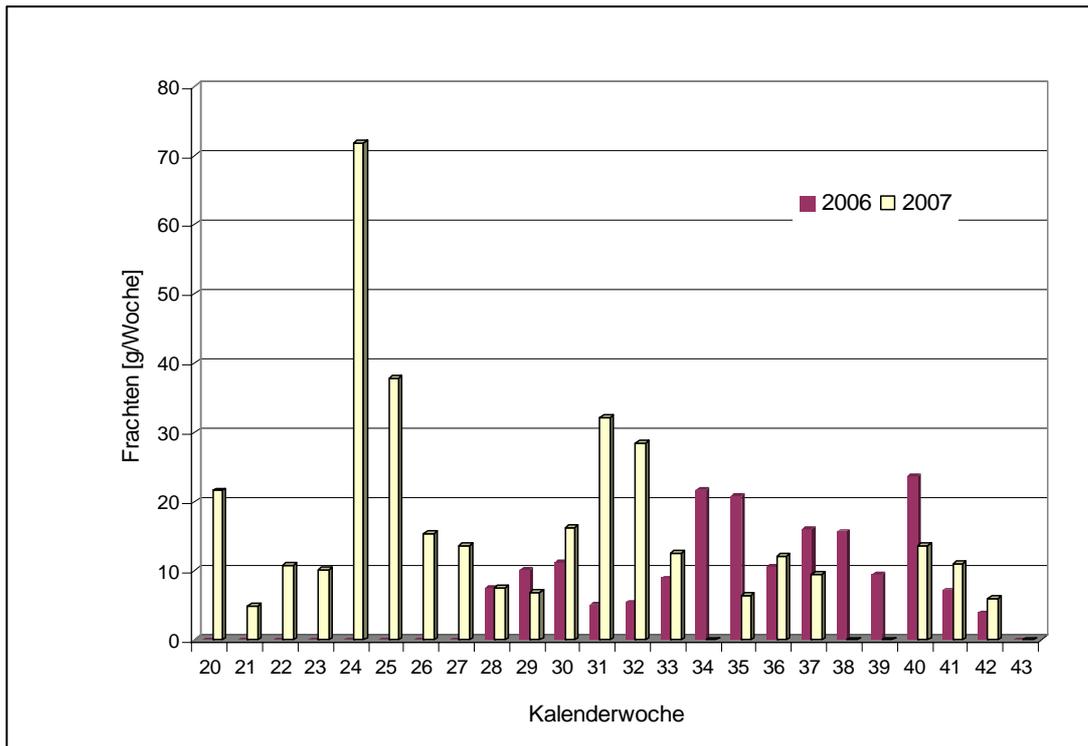


Abb. A-7. Wochenfrachten von Fludioxonil in den Hauptapplikationszeiträumen (20. - 43.KW) im Ablauf der KA_N in den Jahren 2006 und 2007

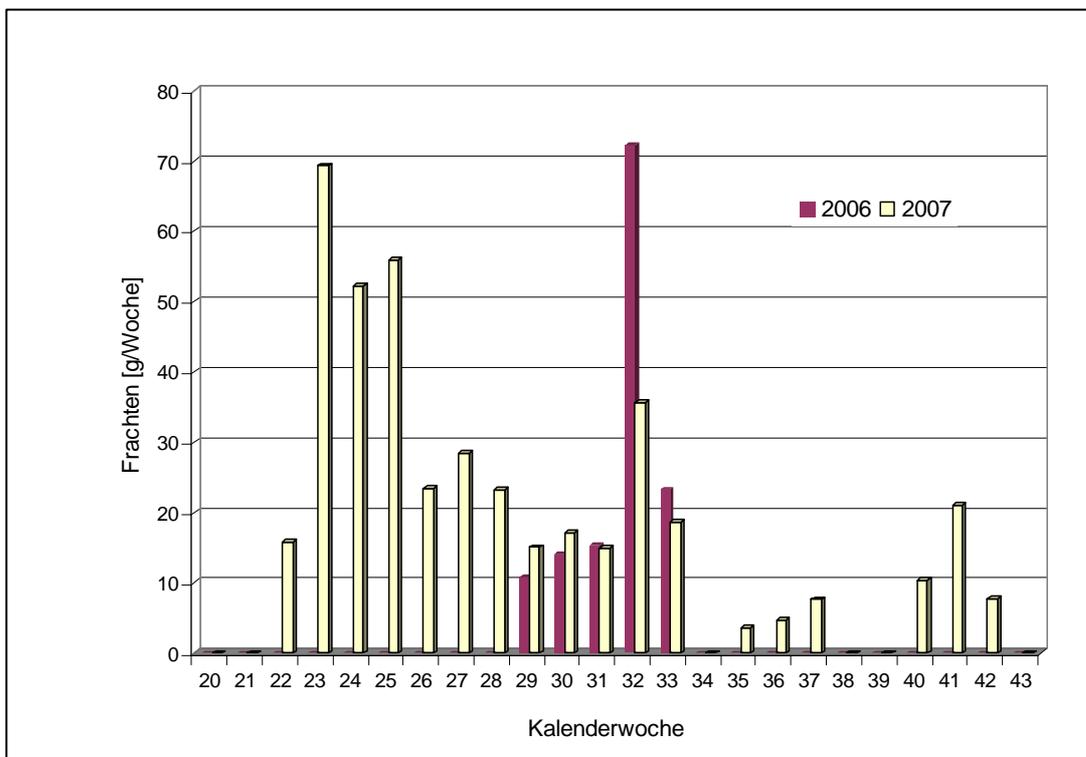


Abb. A-8. Wochenfrachten von Folpet in den Hauptapplikationszeiträumen (20. - 43.KW) im Ablauf der KA_N in den Jahren 2006 und 2007

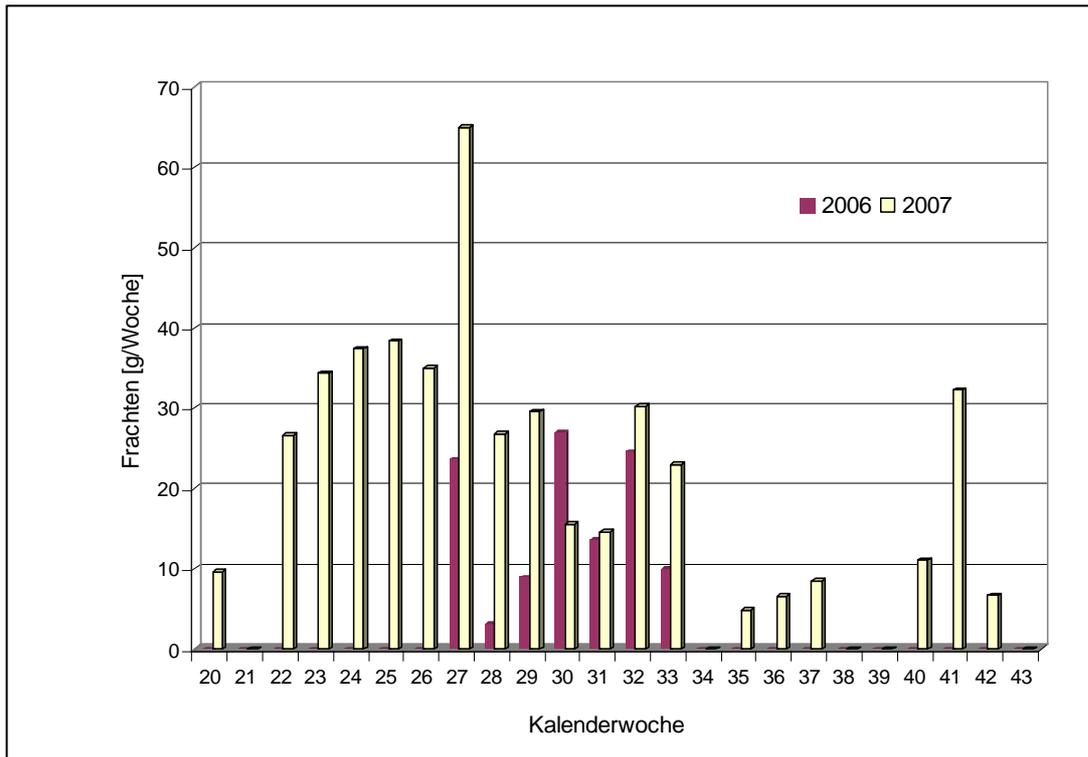


Abb. A-9. Wochenfrachten von Iprovalicarb in den Hauptapplikationszeiträumen (20. - 43.KW) im Ablauf der KA_N in den Jahren 2006 und 2007

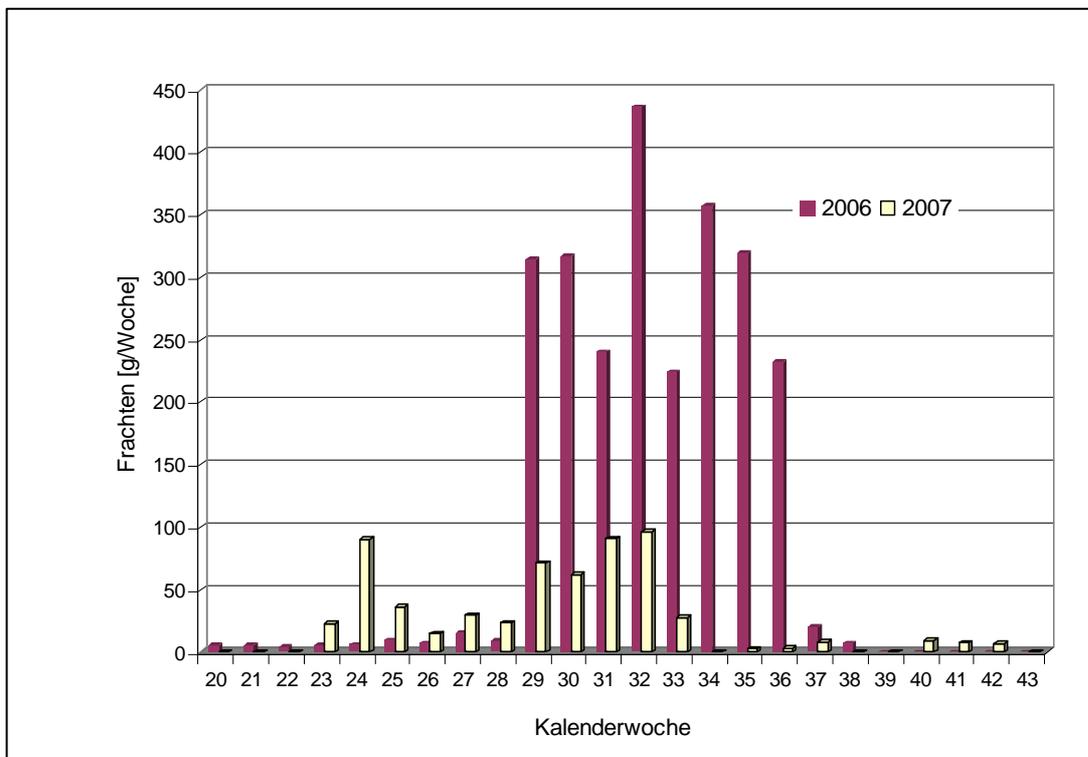


Abb. A-10. Wochenfrachten von Pyrimethanil in den Hauptapplikationszeiträumen (20. - 43.KW) im Ablauf der KA_N in den Jahren 2006 und 2007

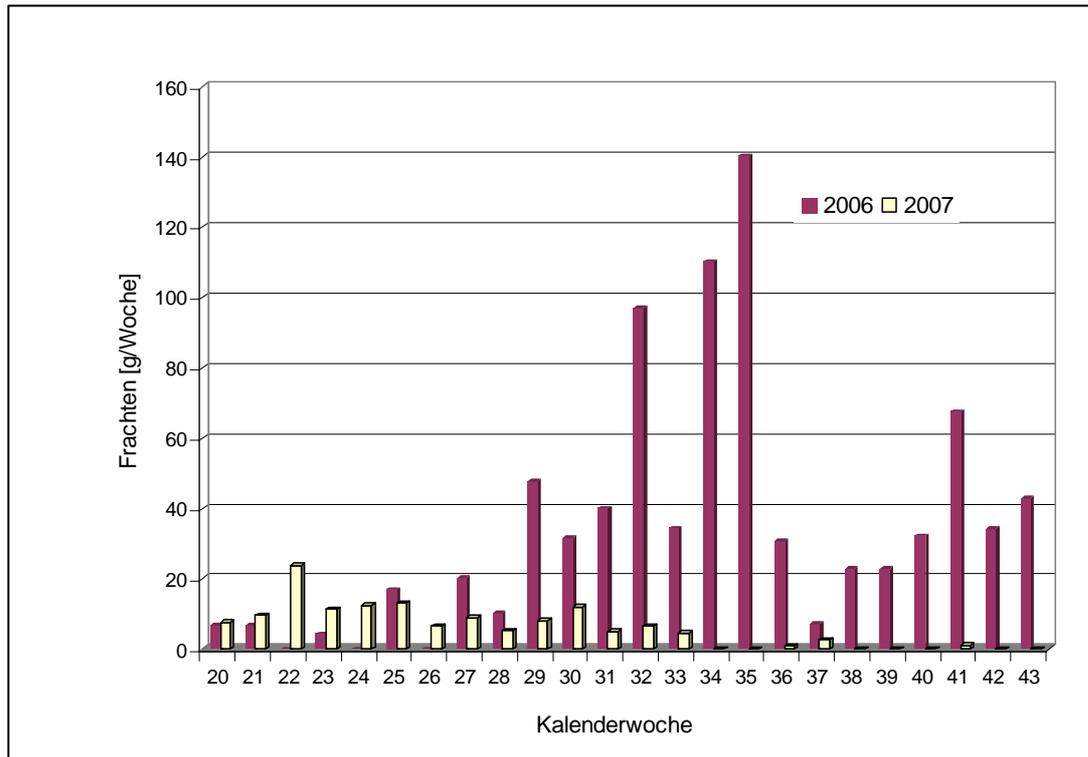


Abb. A-11. Wochenfrachten von Tebuconazol in den Hauptapplikationszeiträumen (20. - 43.KW) im Ablauf der KA_N in den Jahren 2006 und 2007

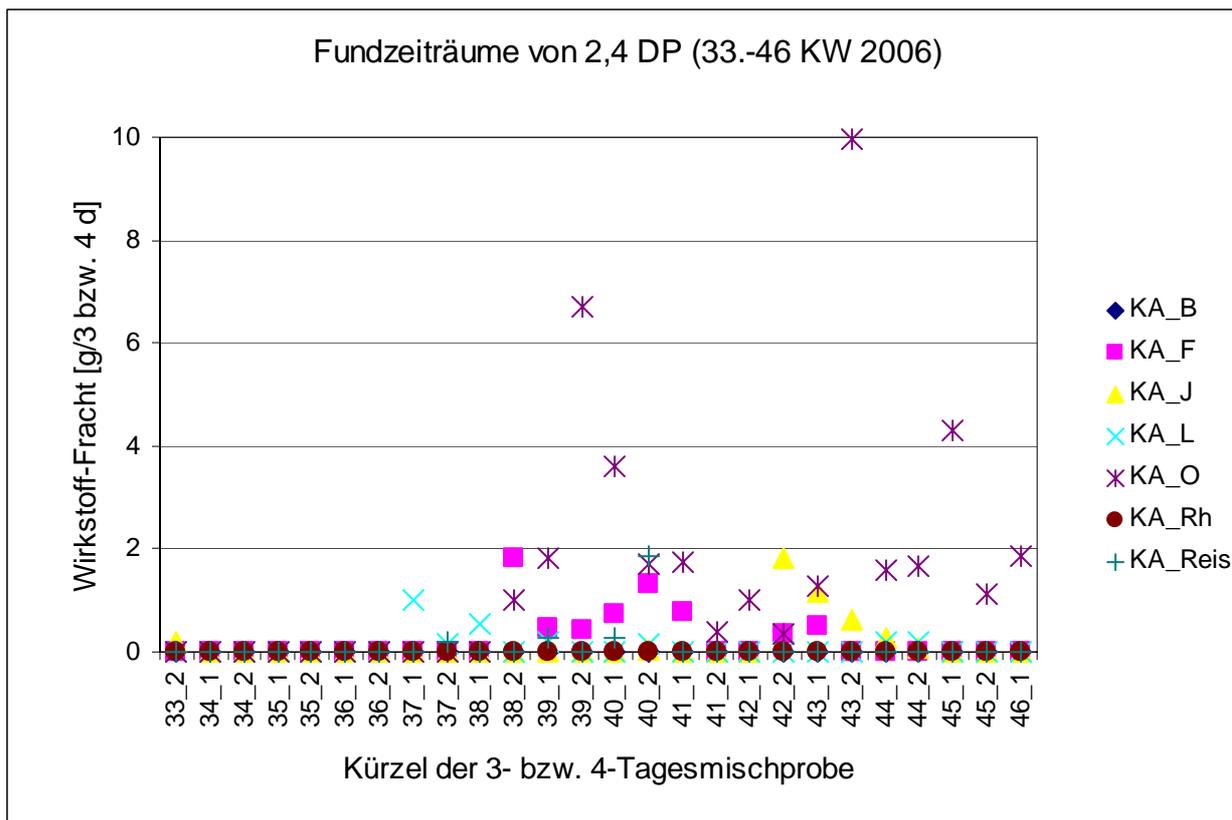


Abb. A-12. Fundzeiträume von 2,4-DP im Ablauf von sieben Ackerbau-Kläranlagen (Untersuchungszeitraum 33. – 46. KW 2006)

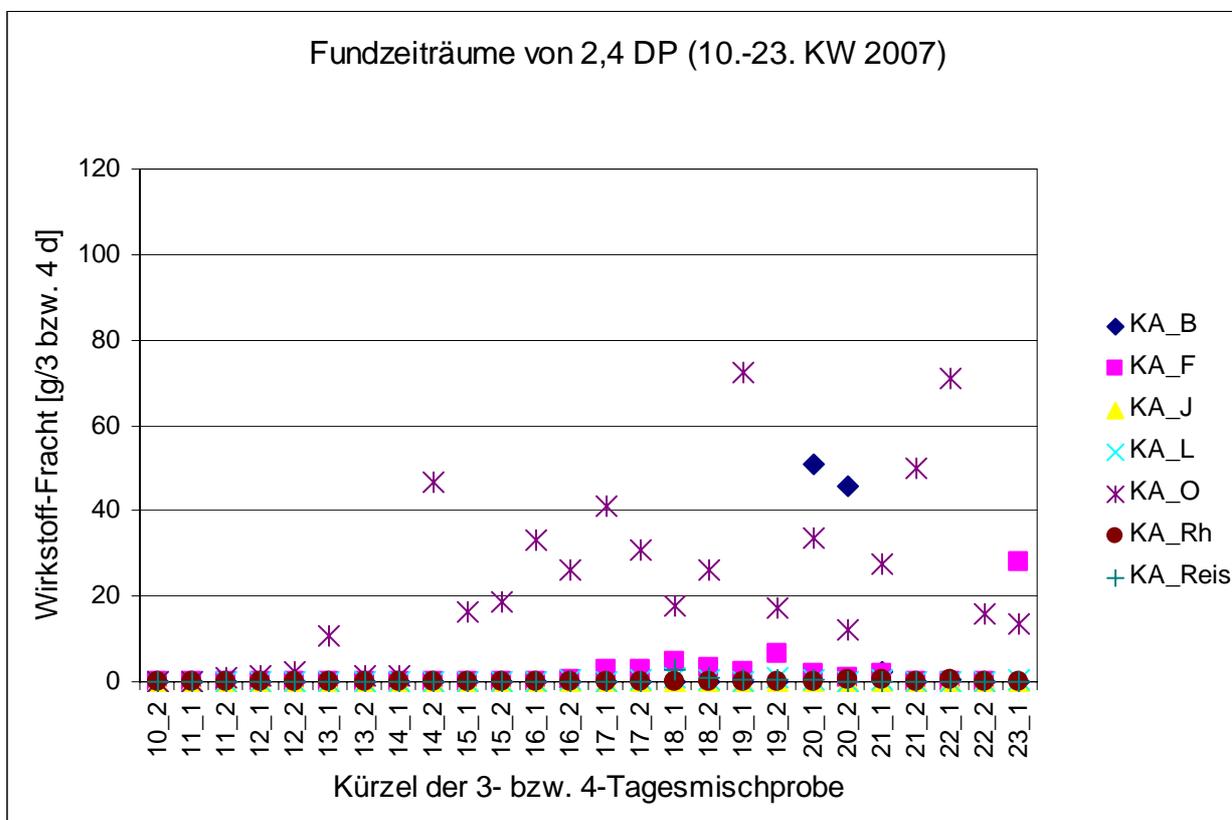


Abb. A-13. Fundzeiträume von 2,4-DP im Ablauf von sieben Ackerbau-Kläranlagen (Untersuchungszeitraum 10. – 23. KW 2007)

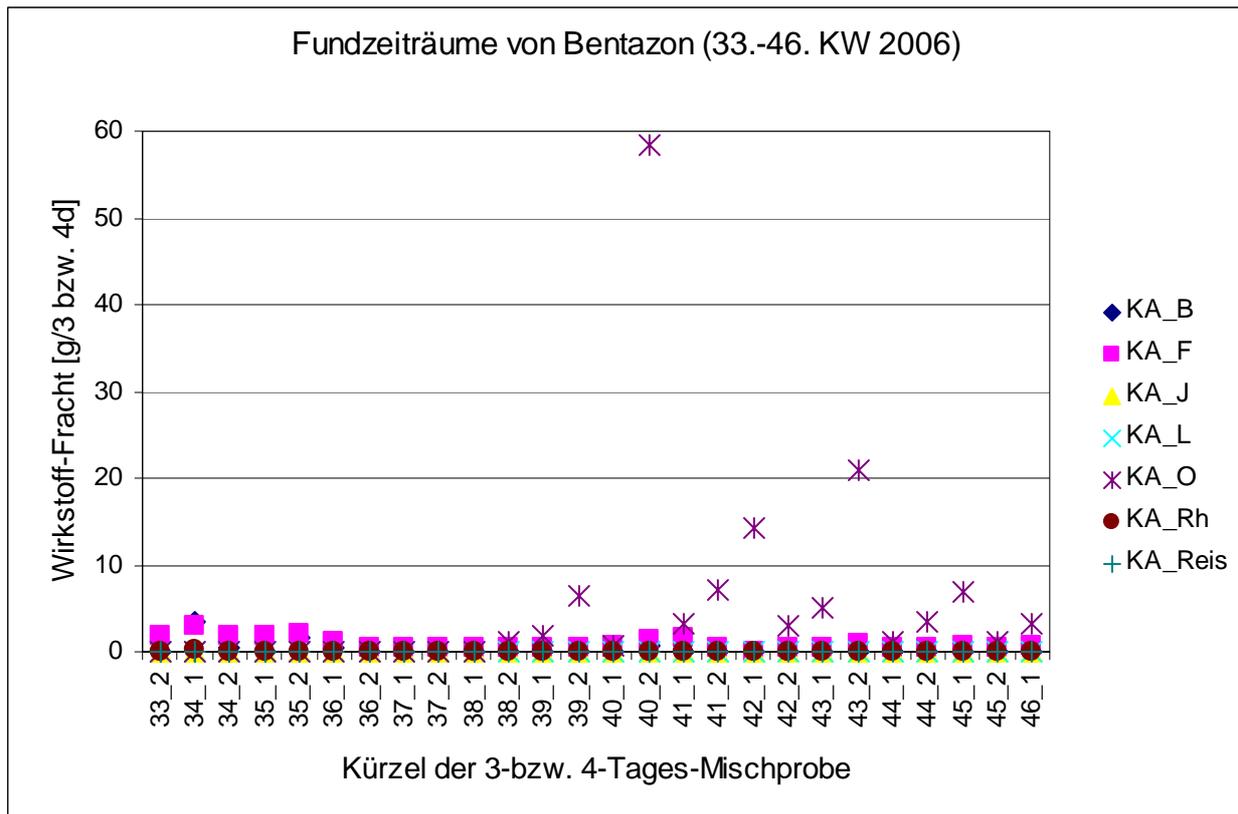


Abb. A-14. Fundzeiträume von Bentazon im Ablauf von sieben Ackerbau-Kläranlagen (Untersuchungszeitraum 33. – 46. KW 2006)

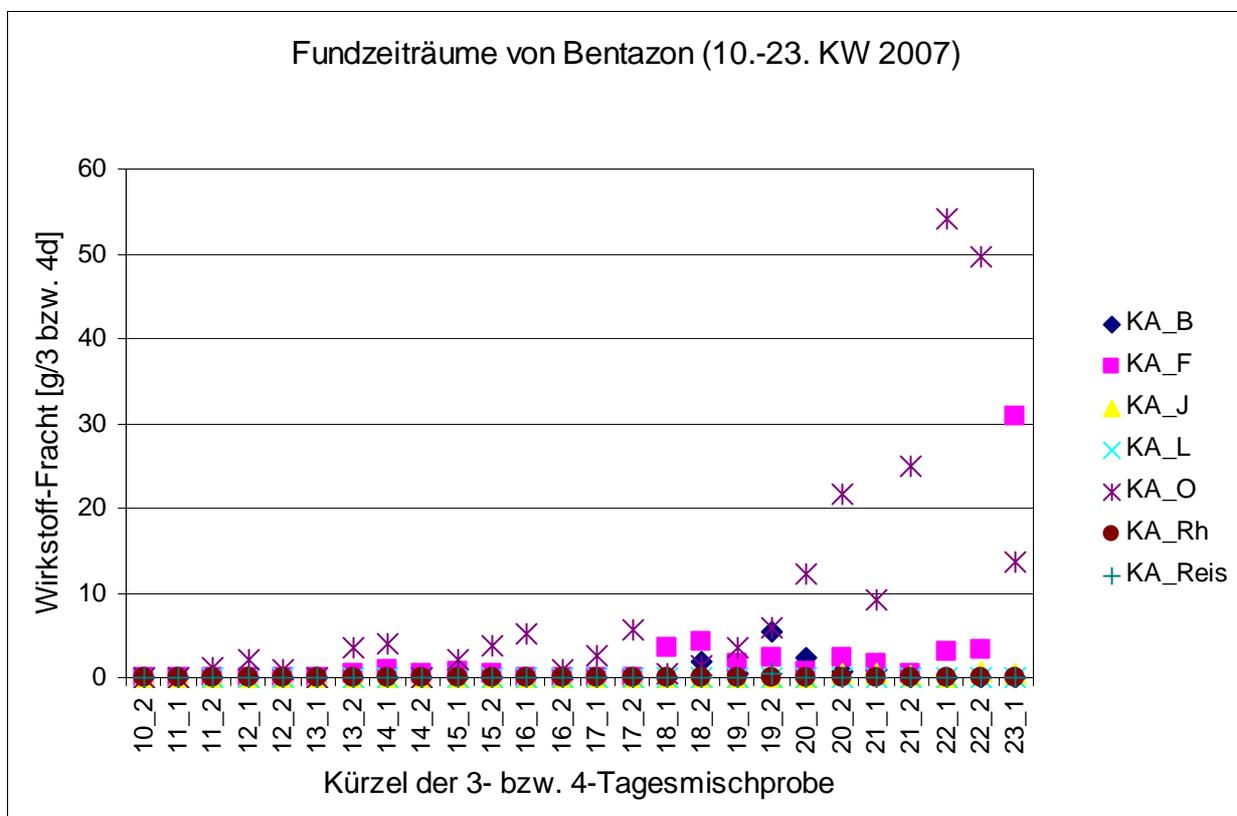


Abb. A-15. Fundzeiträume von Bentazon im Ablauf von sieben Ackerbau-Kläranlagen (Untersuchungszeitraum 10. – 23. KW 2007)

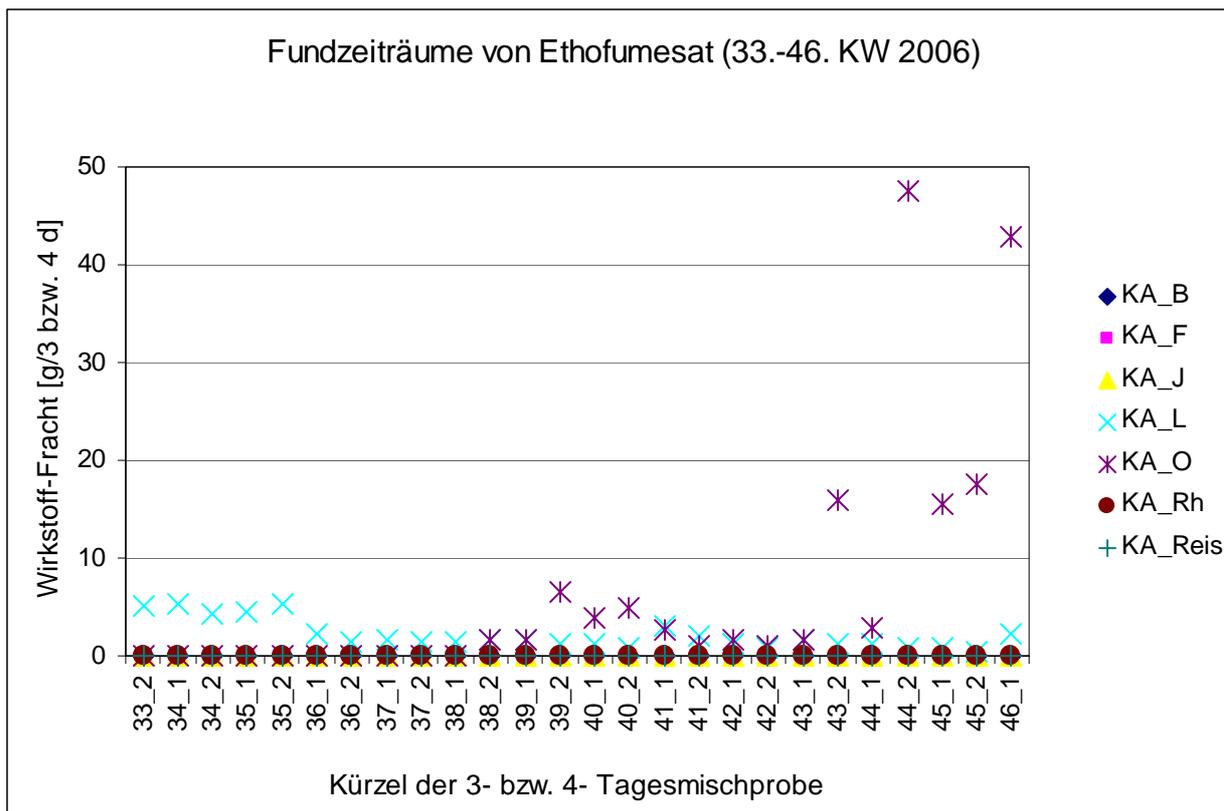


Abb. A-16. Fundzeiträume von Ethofumesat im Ablauf von sieben Ackerbau-Kläranlagen (Untersuchungszeitraum 33. – 46. KW 2006)

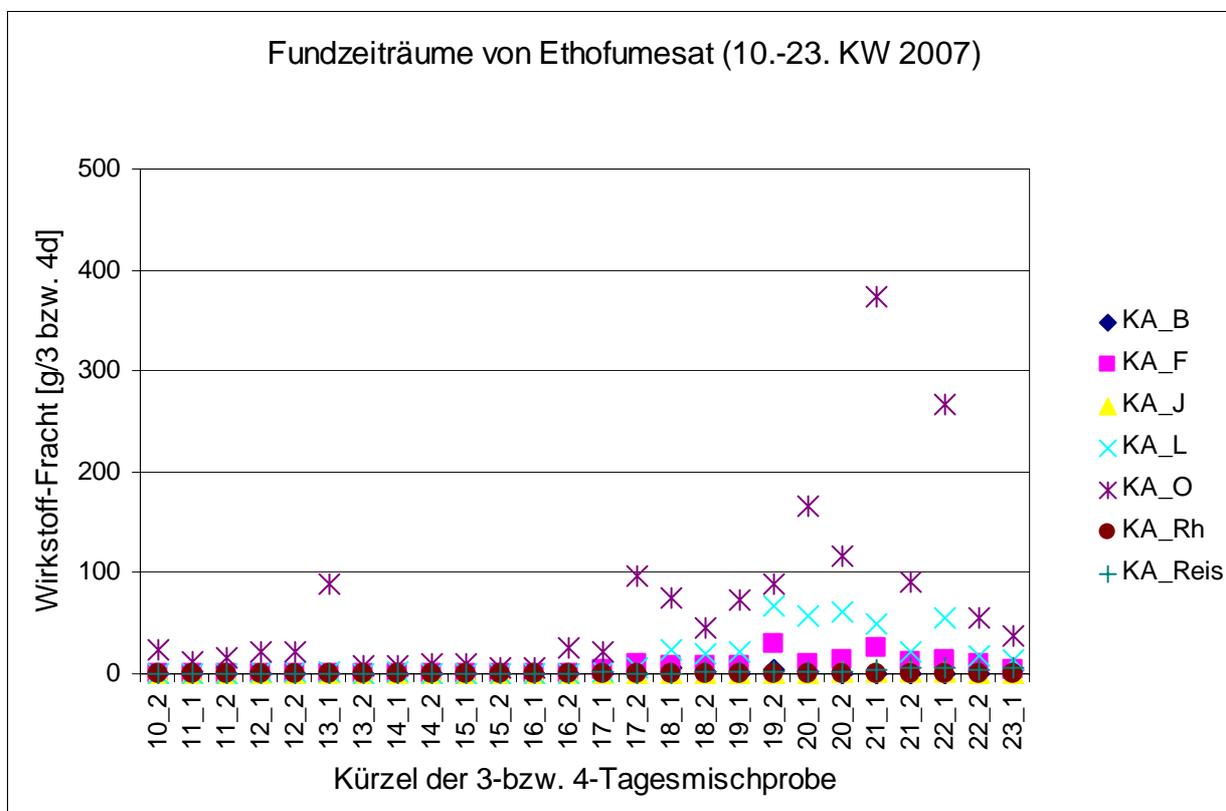


Abb. A-17. Fundzeiträume von Ethofumesat im Ablauf von sieben Ackerbau-Kläranlagen (Untersuchungszeitraum 10. – 23. KW 2007)

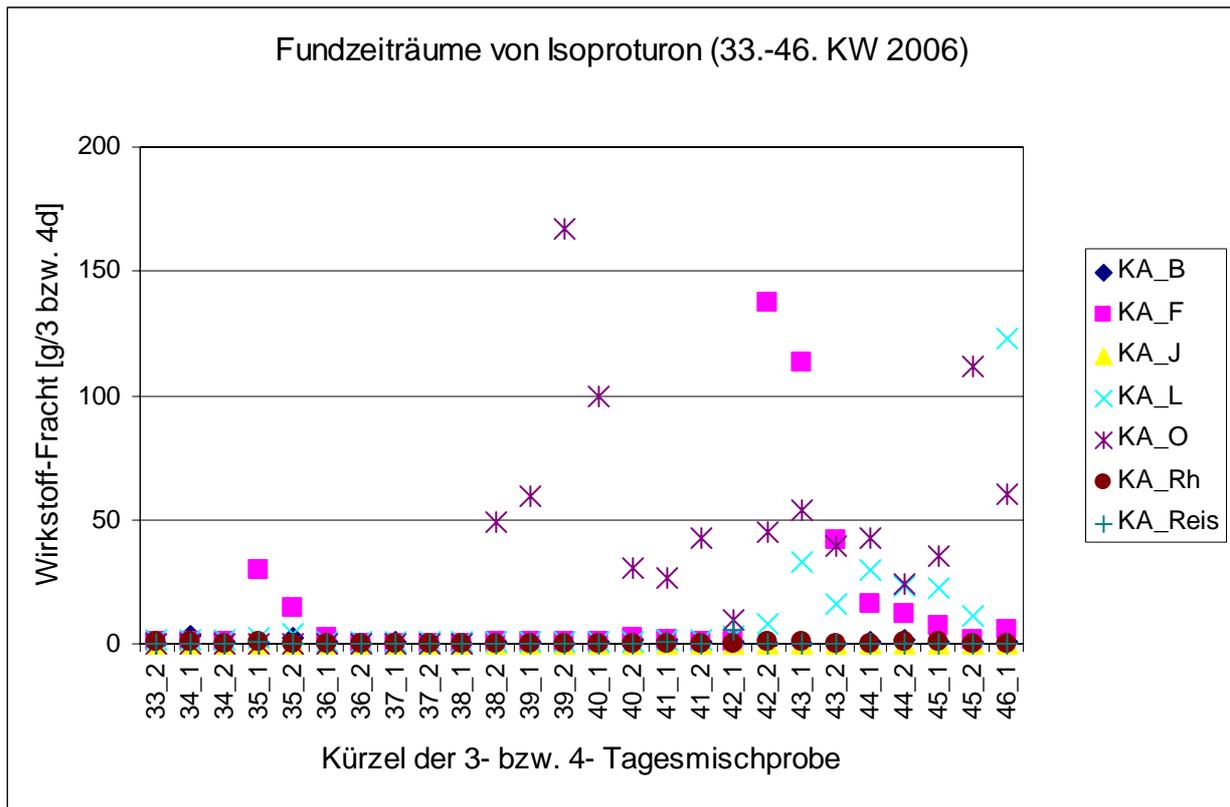


Abb. A-18. Fundzeiträume von Isoproturon im Ablauf von sieben Ackerbau-Kläranlagen (Untersuchungszeitraum 33. – 46. KW 2006)

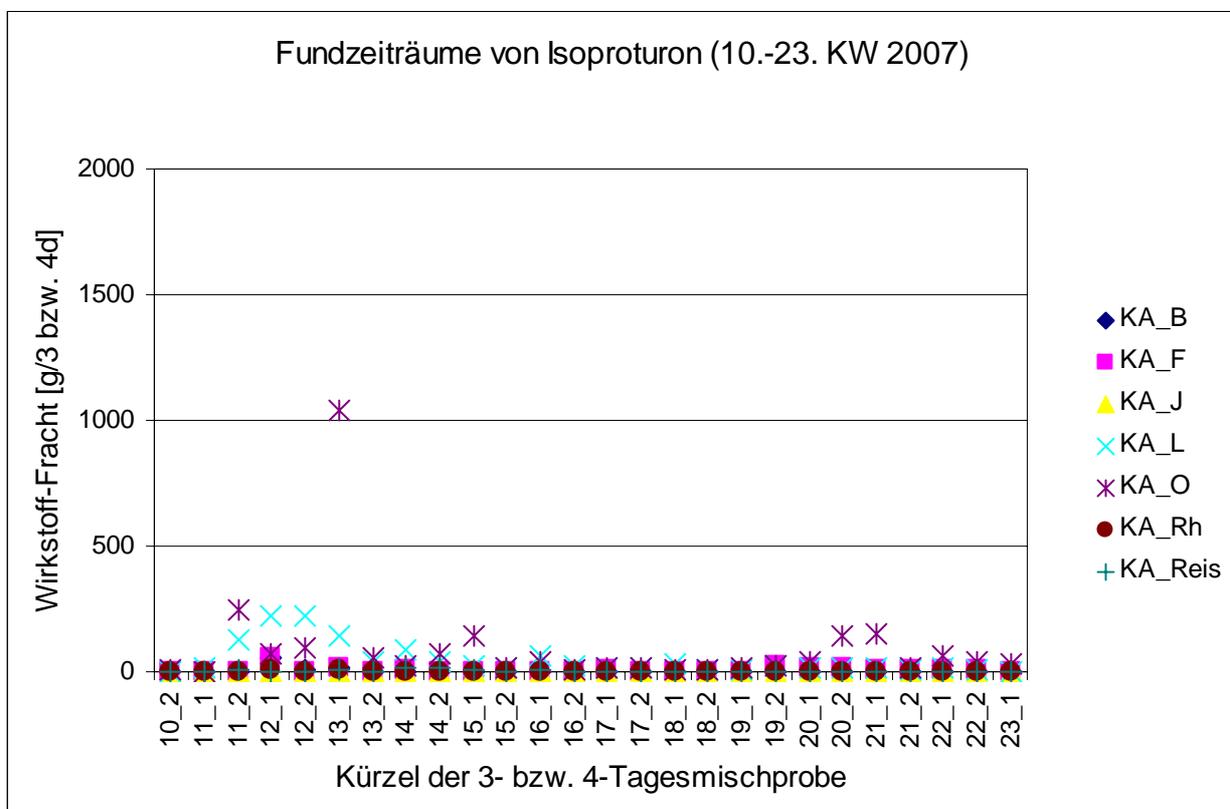


Abb. A-19. Fundzeiträume von Isoproturon im Ablauf von sieben Ackerbau-Kläranlagen (Untersuchungszeitraum 10. – 23. KW 2007)

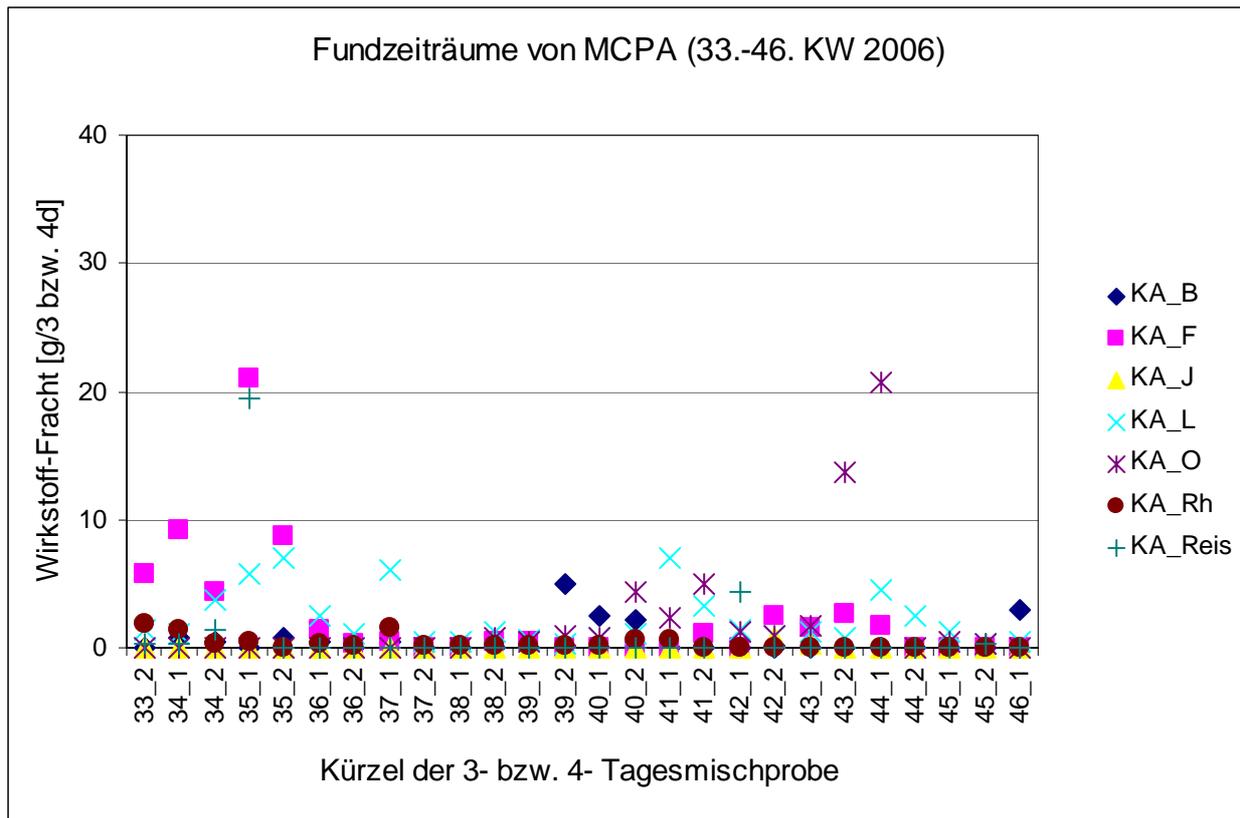


Abb. A-20. Fundzeiträume von MCPA im Ablauf von sieben Ackerbau-Kläranlagen (Untersuchungszeitraum 33. – 46. KW 2006)

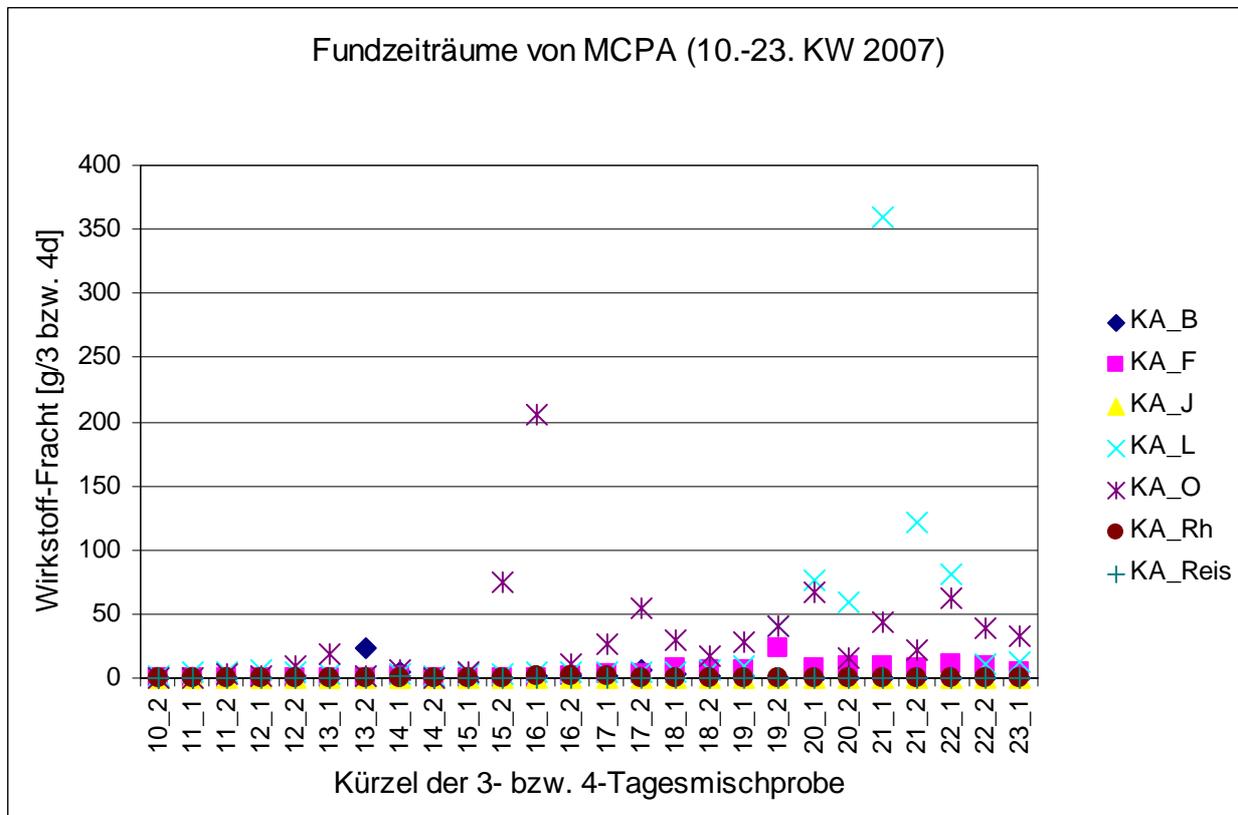


Abb. A-21. Fundzeiträume von MCPA im Ablauf von sieben Ackerbau-Kläranlagen (Untersuchungszeitraum 10. – 23. KW 2007)

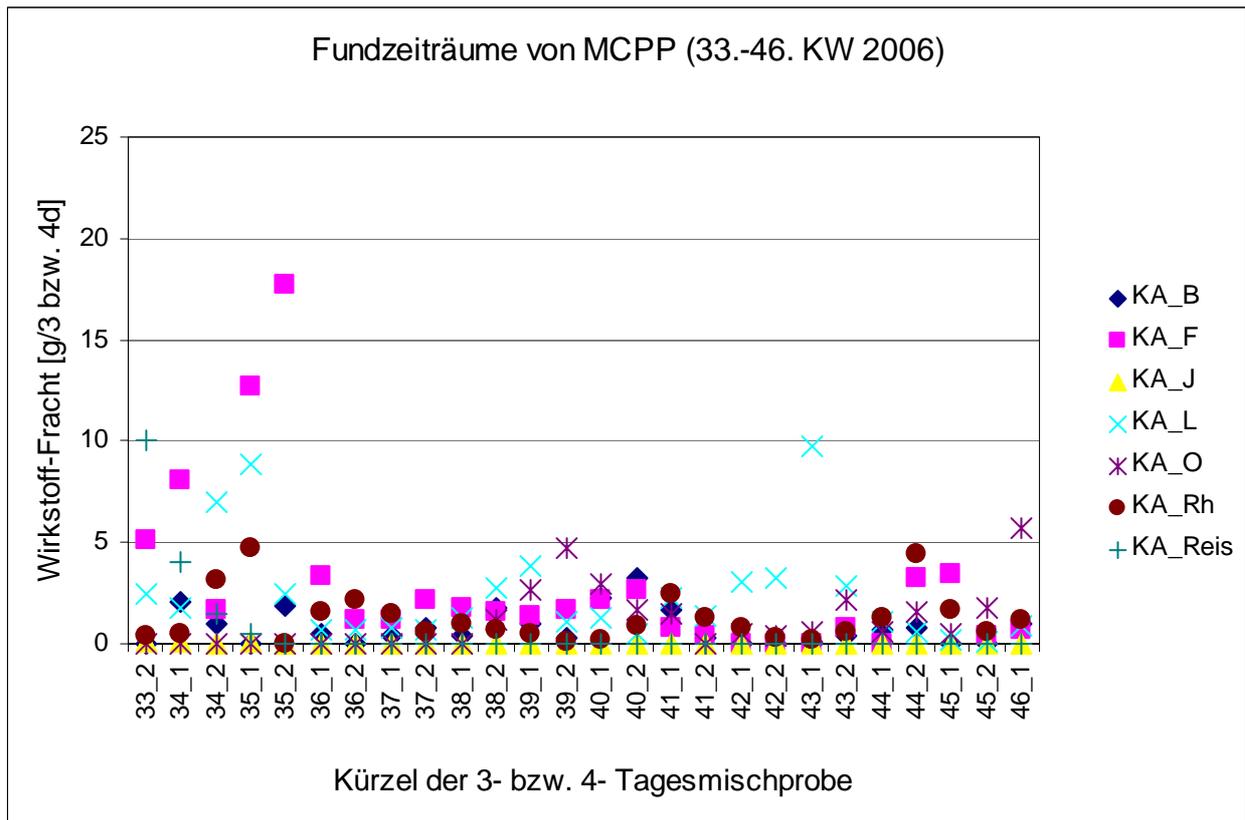


Abb. A-22. Fundzeiträume von MCPP im Ablauf von sieben Ackerbau-Kläranlagen (Untersuchungszeitraum 33. – 46. KW 2006)

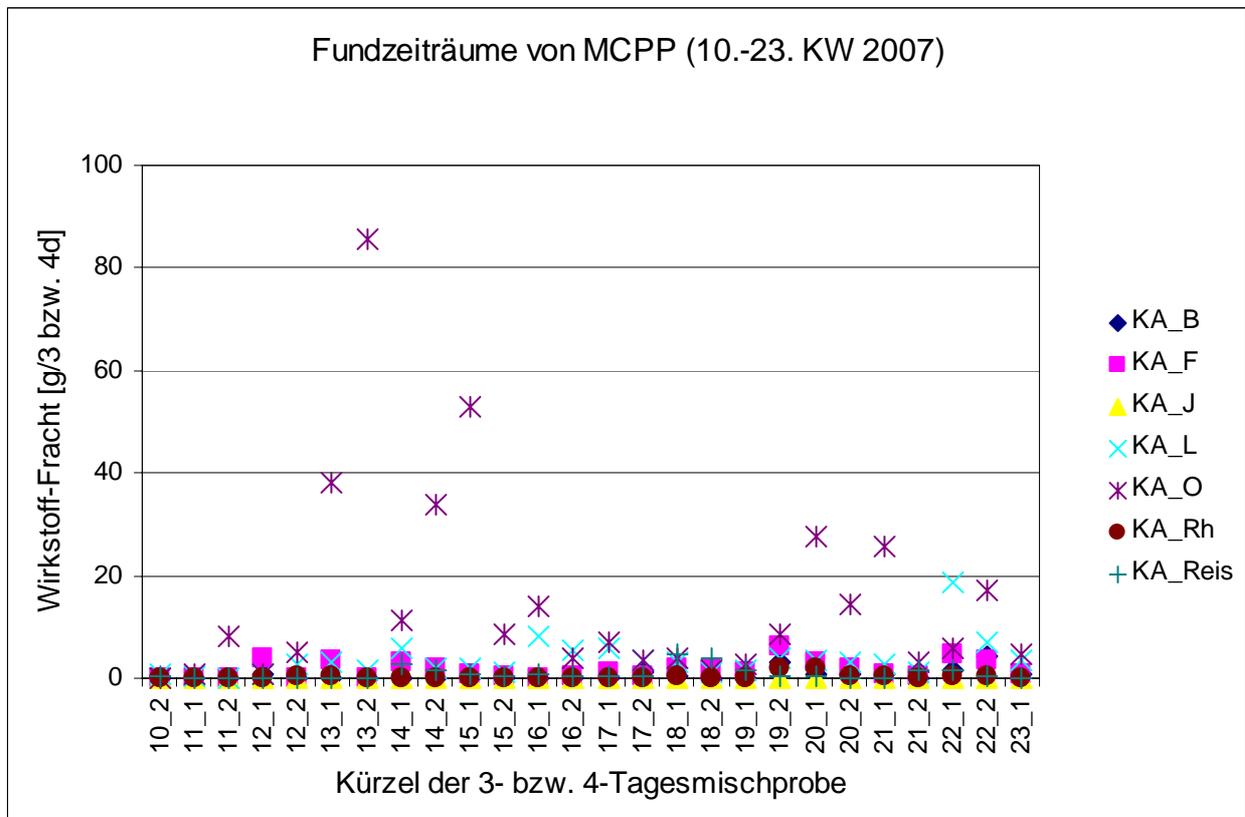


Abb. A-23. Fundzeiträume von MCPP im Ablauf von sieben Ackerbau-Kläranlagen (Untersuchungszeitraum 10. – 23. KW 2007)

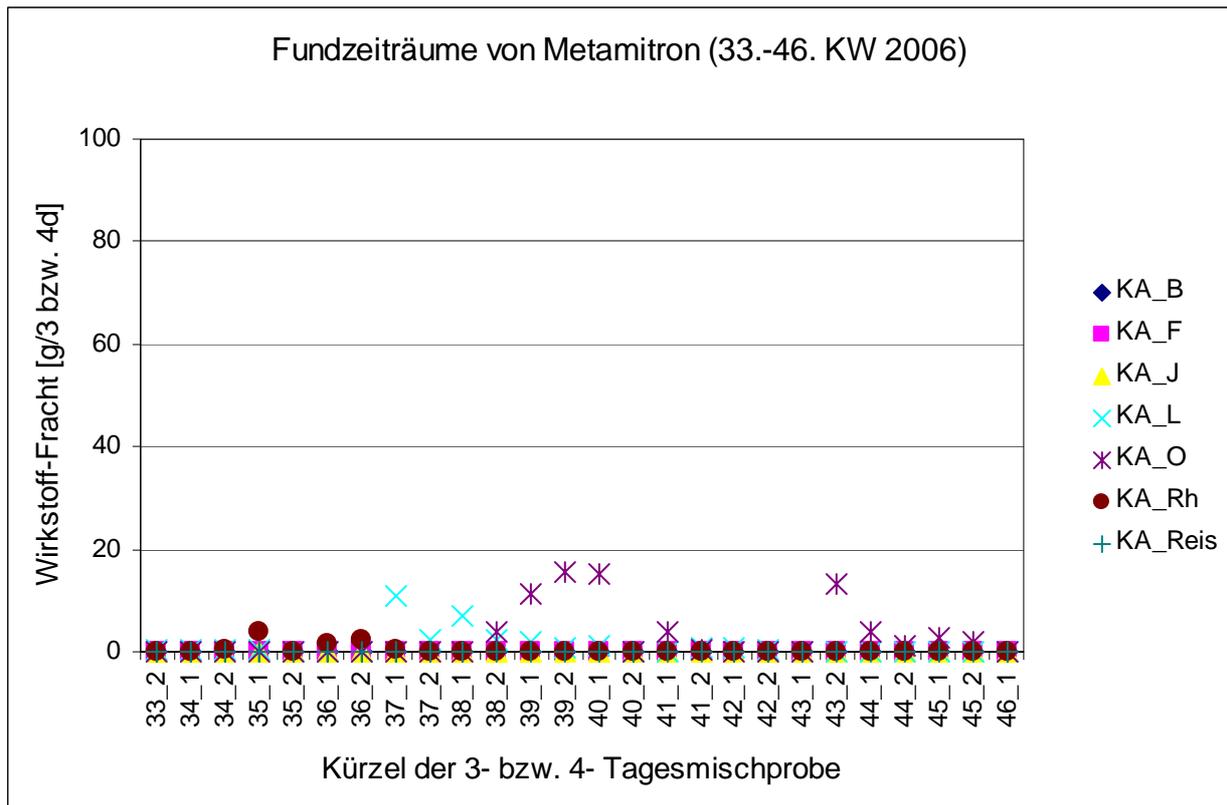


Abb. A-24. Fundzeiträume von Metamitron im Ablauf von sieben Ackerbau-Kläranlagen (Untersuchungszeitraum 33. – 46. KW 2006)

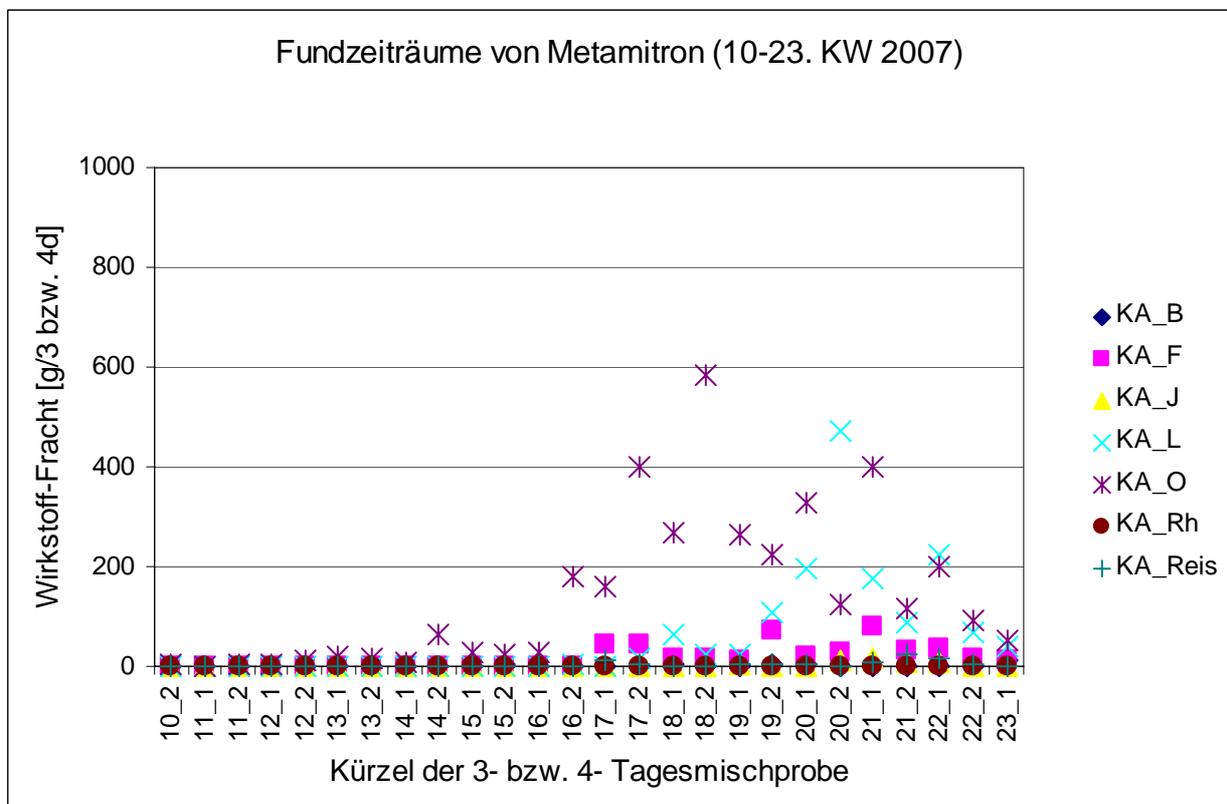


Abb. A-25. Fundzeiträume von Metamitron im Ablauf von sieben Ackerbau-Kläranlagen (Untersuchungszeitraum 10. – 23. KW 2007)

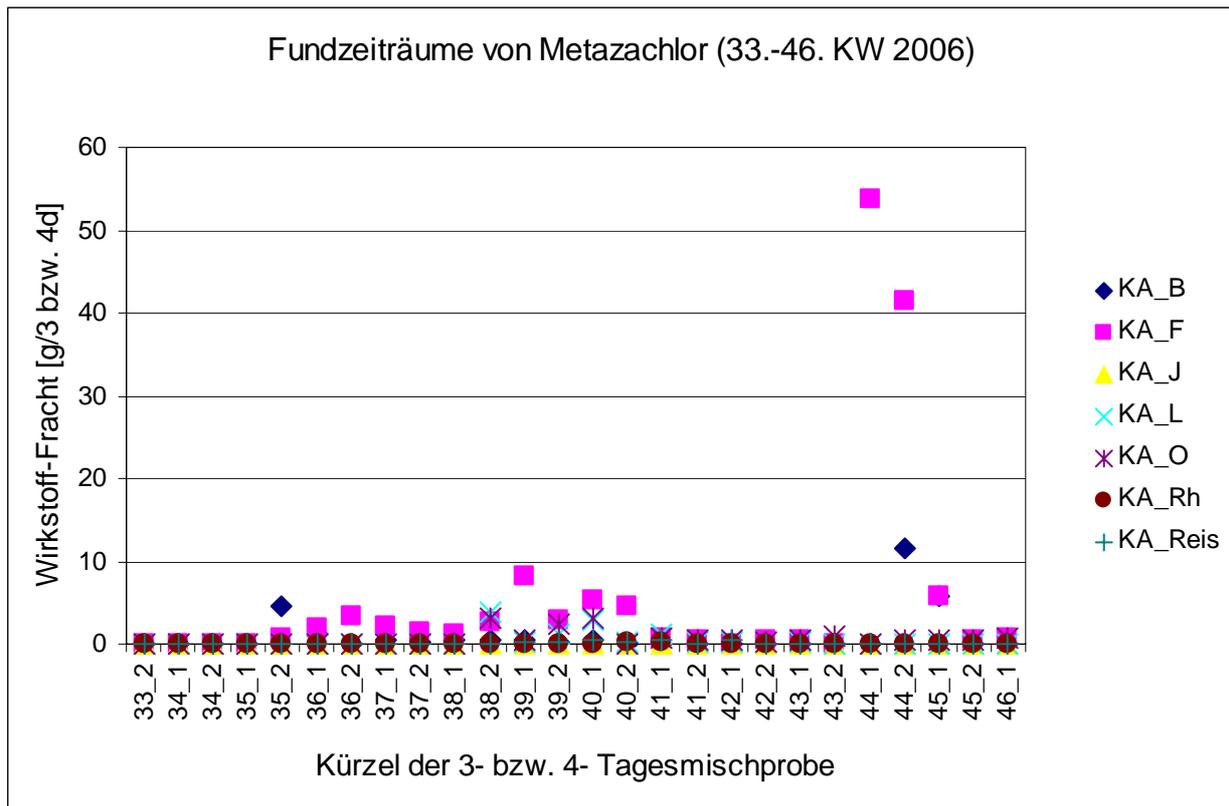


Abb. A-26. Fundzeiträume von Metazachlor im Ablauf von sieben Ackerbau-Kläranlagen (Untersuchungszeitraum 33. – 46. KW 2006)

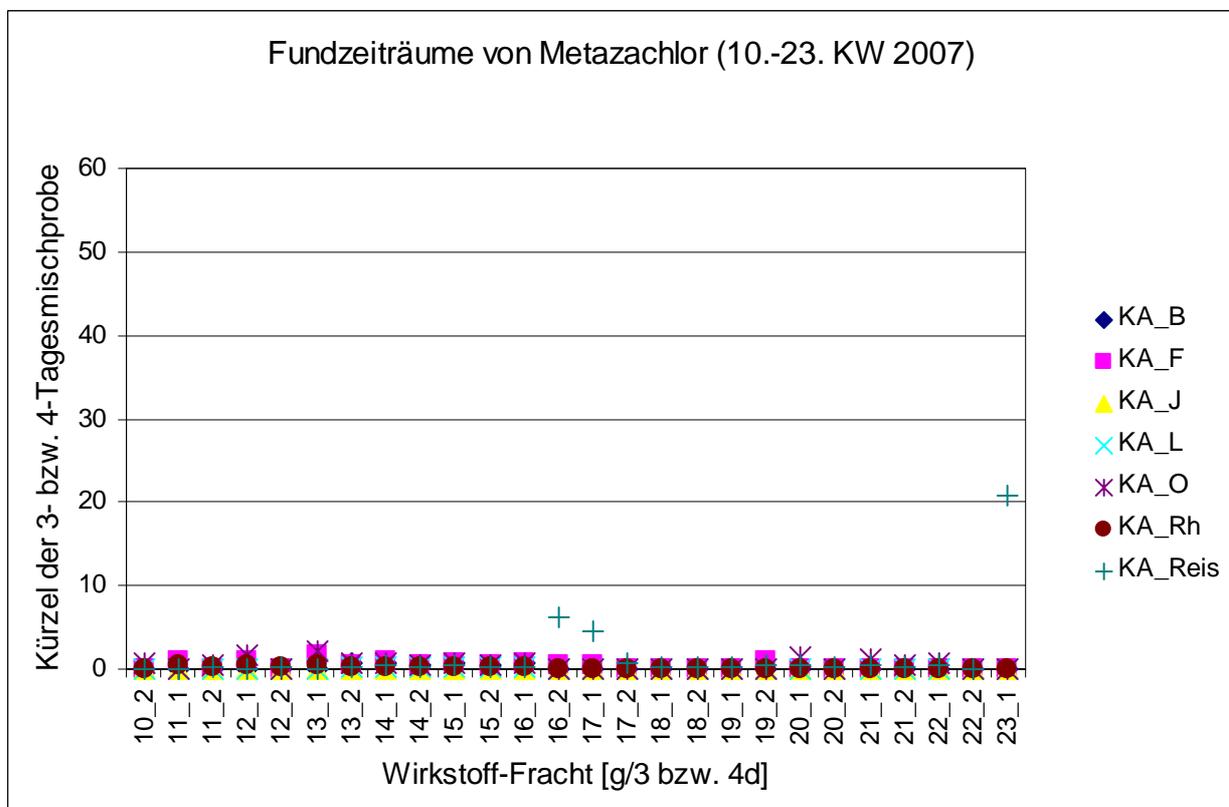


Abb. A-27. Fundzeiträume von Metazachlor im Ablauf von sieben Ackerbau-Kläranlagen (Betrachtungs-zeitraum 10. – 23. KW 2007)

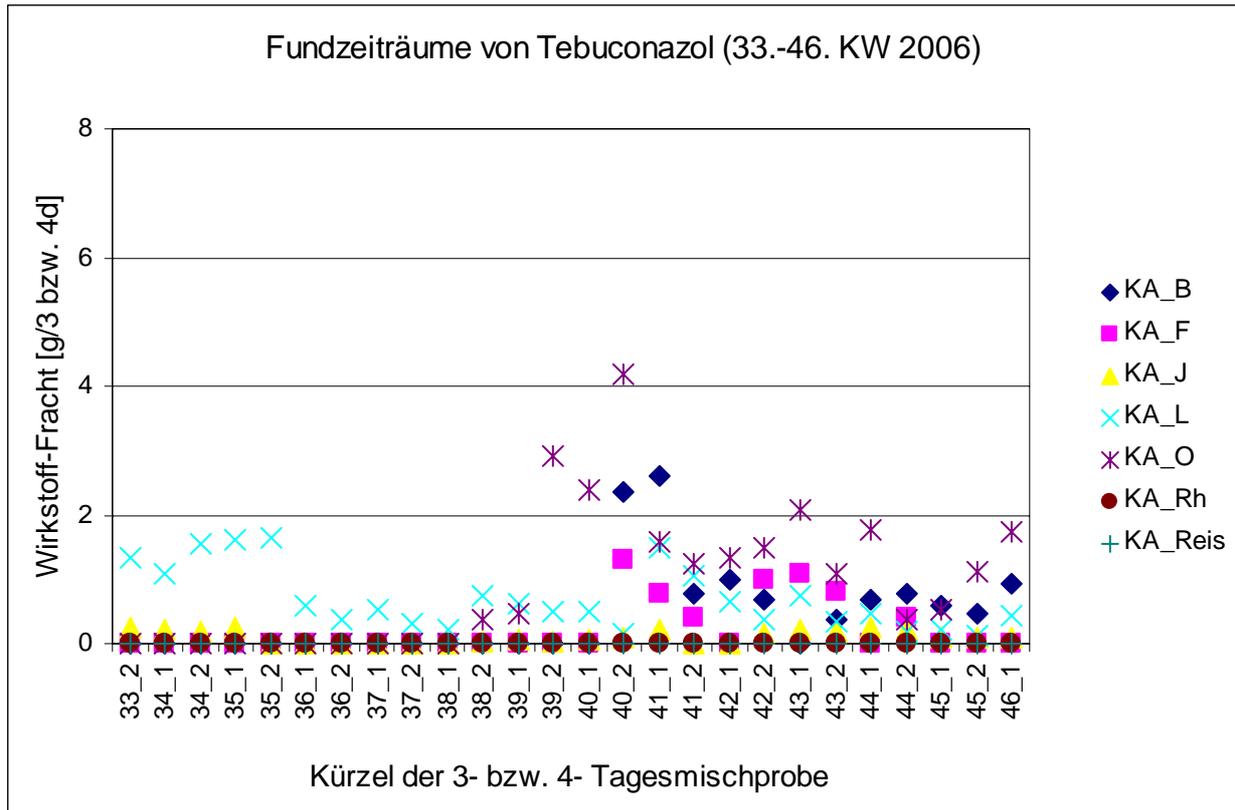


Abb. A-28. Fundzeiträume von Tebuconazol im Ablauf von sieben Ackerbau-Kläranlagen (Untersuchungszeitraum 33. – 46. KW 2006)

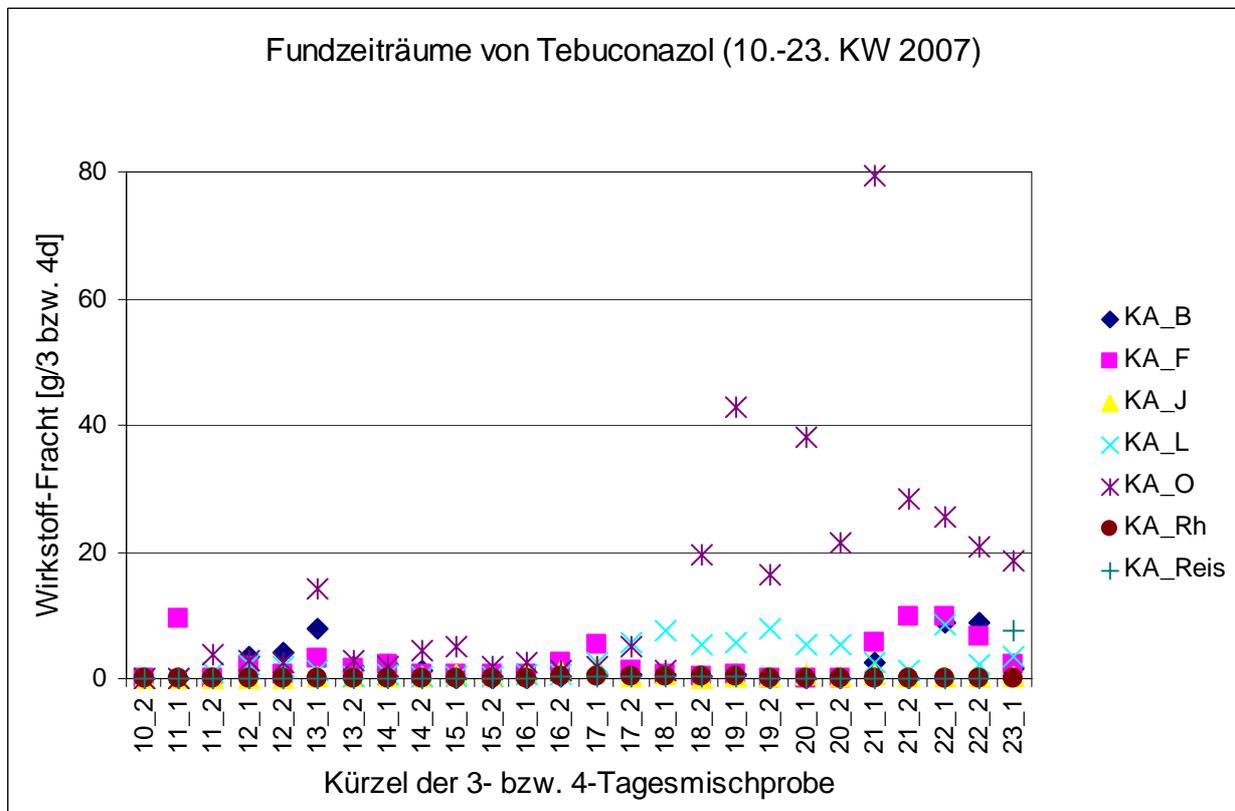


Abb. A-29. Fundzeiträume von Tebuconazol im Ablauf von sieben Ackerbau-Kläranlagen (Betrachtungs- zeitraum 10. – 23. KW 2007)

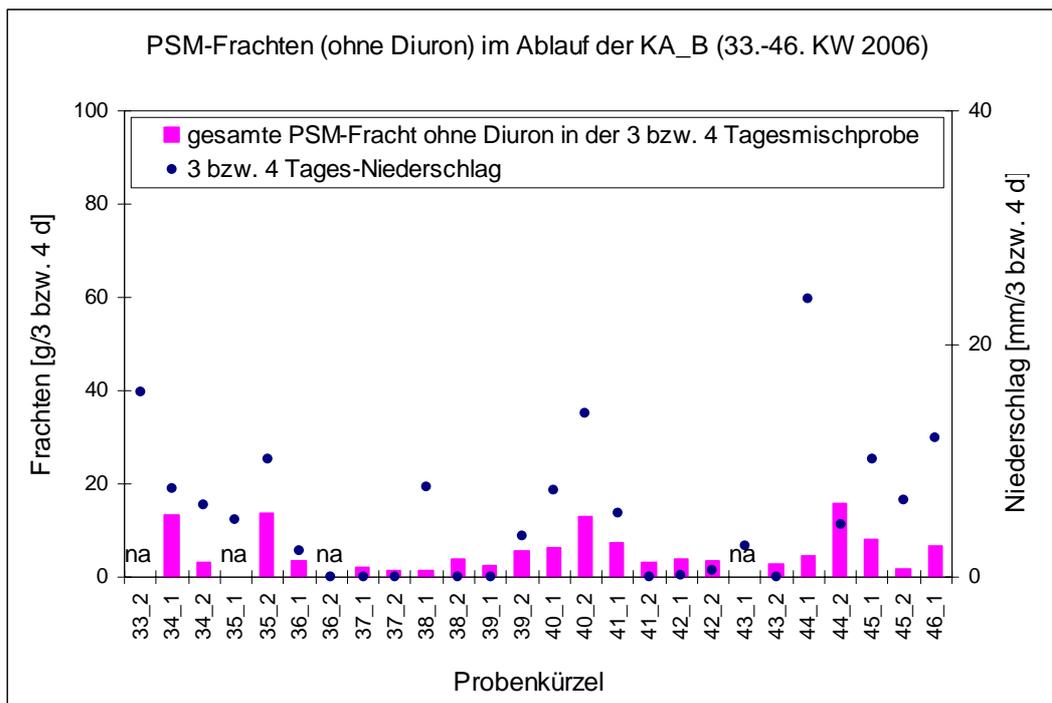


Abb. A-30. Summenfracht aller Wirkstoffe (26 Wirkstoffe und 2 Metabolite) im Ablauf der **KA_B** und Niederschlagssumme zum Zeitpunkt der Einzelproben (3- bzw. 4-Tages-Mischproben) im Beprobungszeitraum 33. - 46. KW 2006 (n.a.= nicht analysiert)

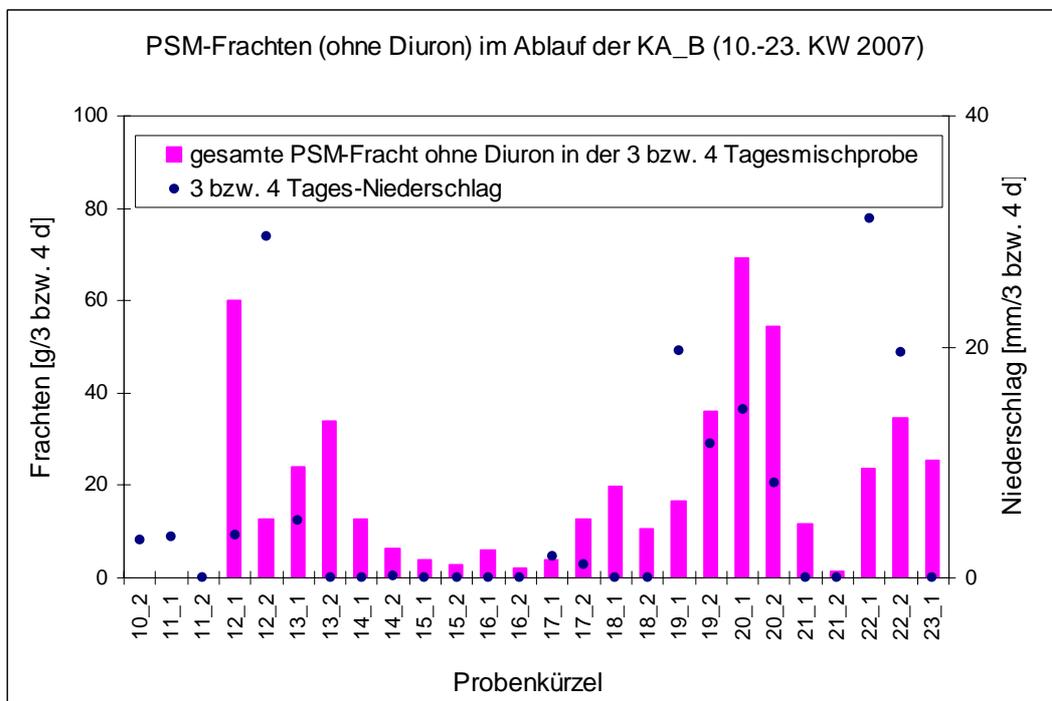


Abb. A-31. Summenfracht aller Wirkstoffe (26 Wirkstoffe und 2 Metabolite) im Ablauf der **KA_B** und Niederschlagssumme zum Zeitpunkt der Einzelproben (3- bzw. 4-Tages-Mischproben) im Beprobungszeitraum 10. - 23. KW 2007

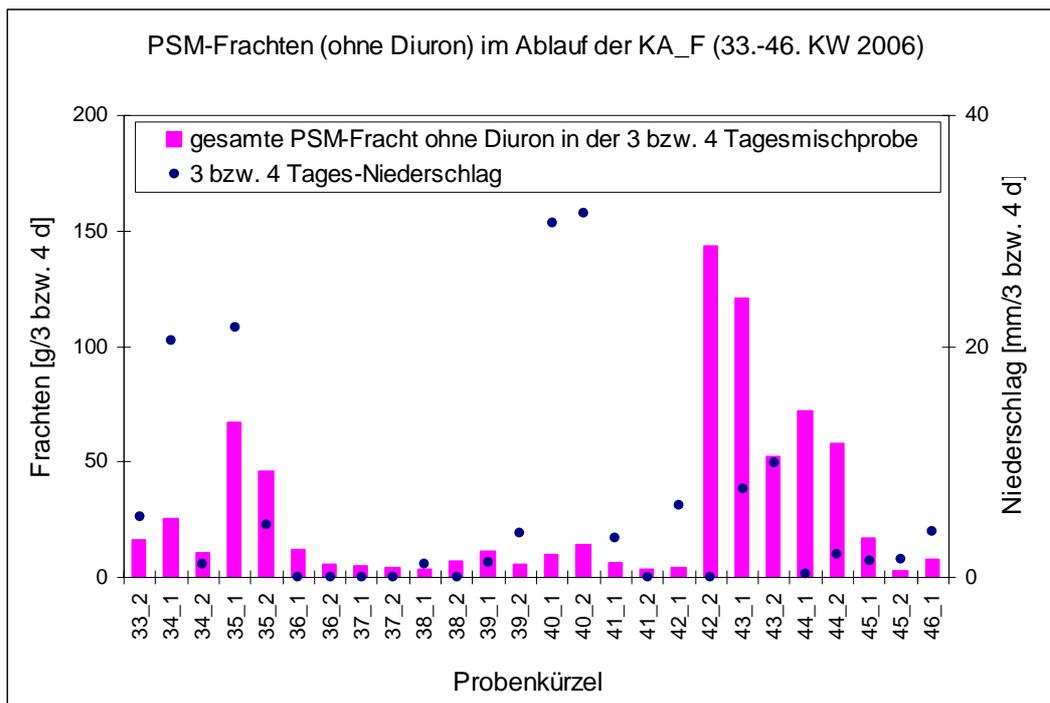


Abb. A-32. Summenfracht aller Wirkstoffe (26 Wirkstoffe und 2 Metabolite) im Ablauf der KA_F und Niederschlagssumme zum Zeitpunkt der Einzelproben (3- bzw. 4-Tages-Mischproben) im Beprobungszeitraum 33. - 46. KW 2006

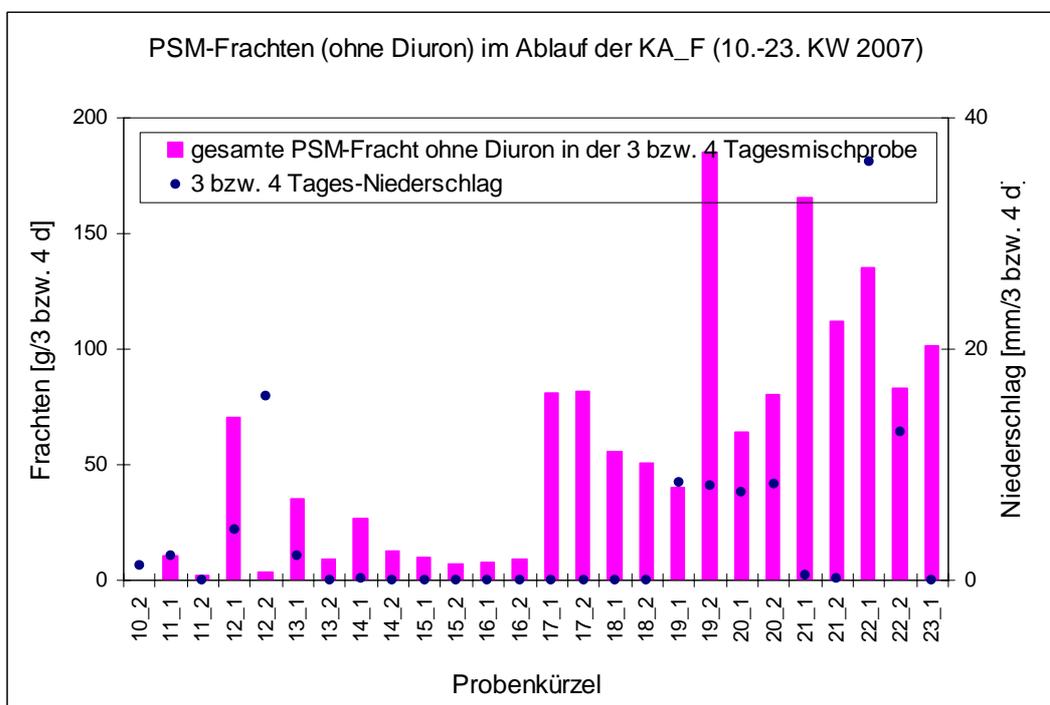


Abb. A-33. Summenfracht aller Wirkstoffe (26 Wirkstoffe und 2 Metabolite) im Ablauf der KA_F und Niederschlagssumme zum Zeitpunkt der Einzelproben (3- bzw. 4-Tages-Mischproben) im Beprobungszeitraum 10. - 23. KW 2007

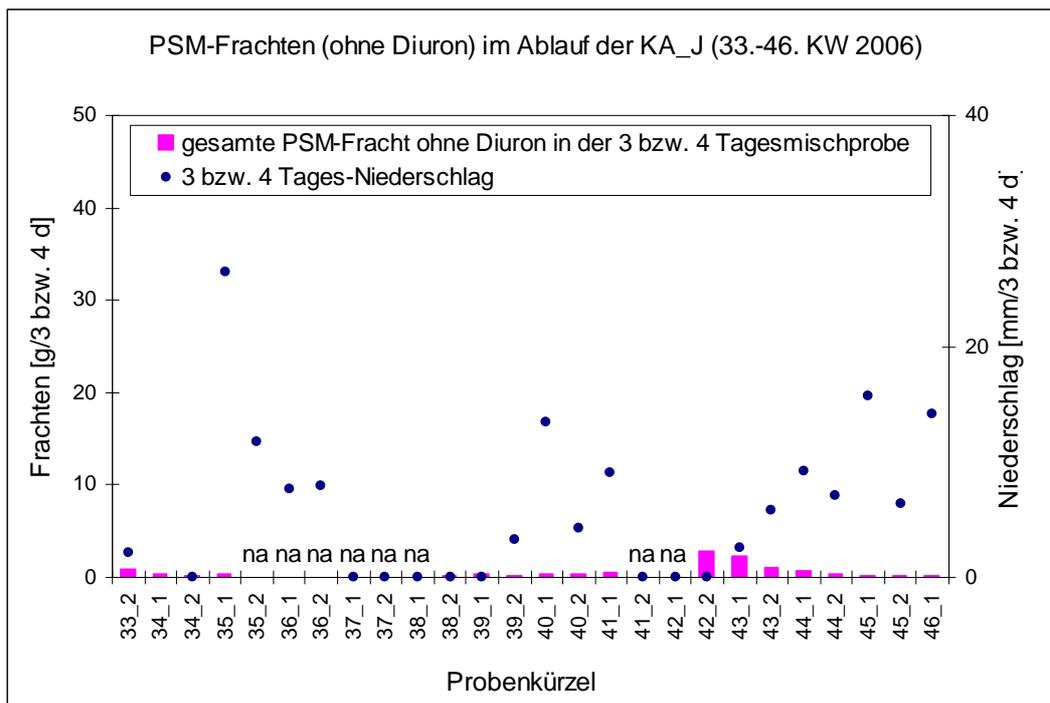


Abb. A-34. Summenfracht aller Wirkstoffe (26 Wirkstoffe und 2 Metabolite) im Ablauf der KA_J und Niederschlagssumme zum Zeitpunkt der Einzelproben (3- bzw. 4-Tages-Mischproben) im Beprobungszeitraum 33. - 46. KW 2006 (n.a.= nicht analysiert)

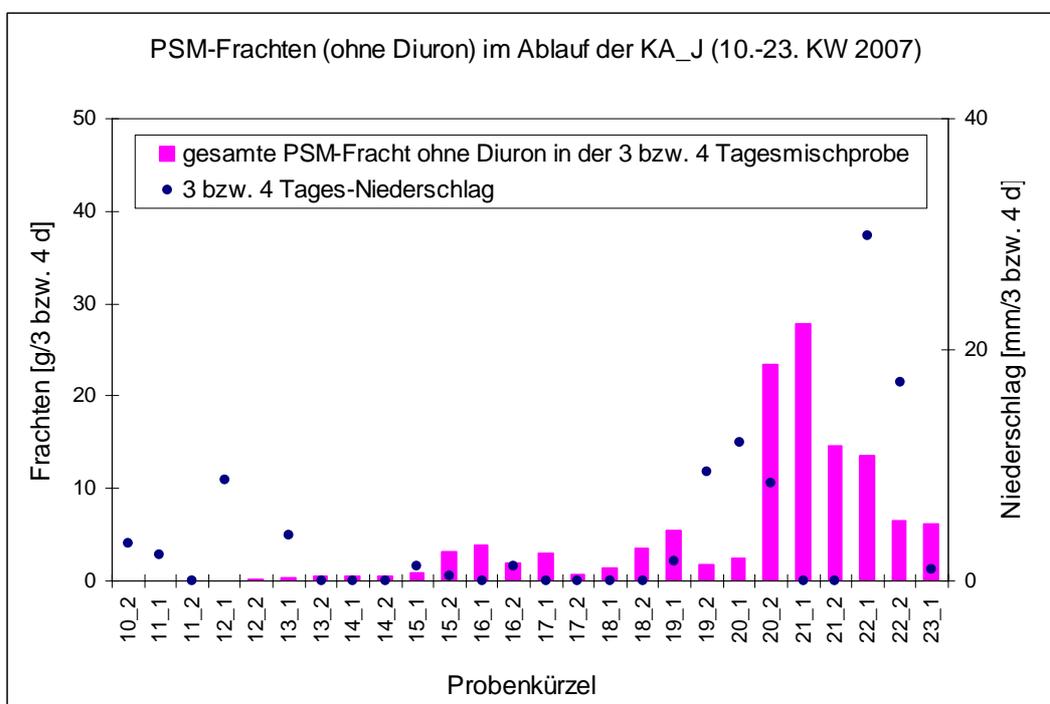


Abb. A-35. Summenfracht aller Wirkstoffe (26 Wirkstoffe und 2 Metabolite) im Ablauf der KA_J und Niederschlagssumme zum Zeitpunkt der Einzelproben (3- bzw. 4-Tages-Mischproben) im Beprobungszeitraum 10. - 23. KW 2007 (n.a.= nicht analysiert)

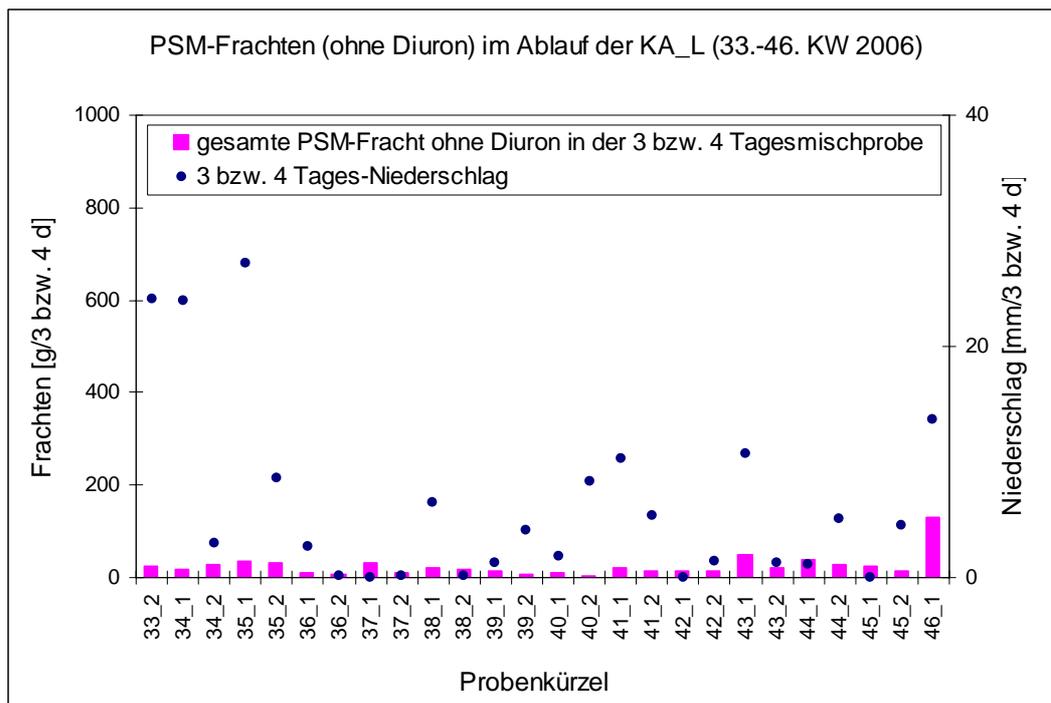


Abb. A-36. Summenfracht aller Wirkstoffe (26 Wirkstoffe und 2 Metabolite) im Ablauf der KA_L und Niederschlagssumme zum Zeitpunkt der Einzelproben (3- bzw. 4-Tages-Mischproben) im Beprobungszeitraum 33. - 46. KW 2006

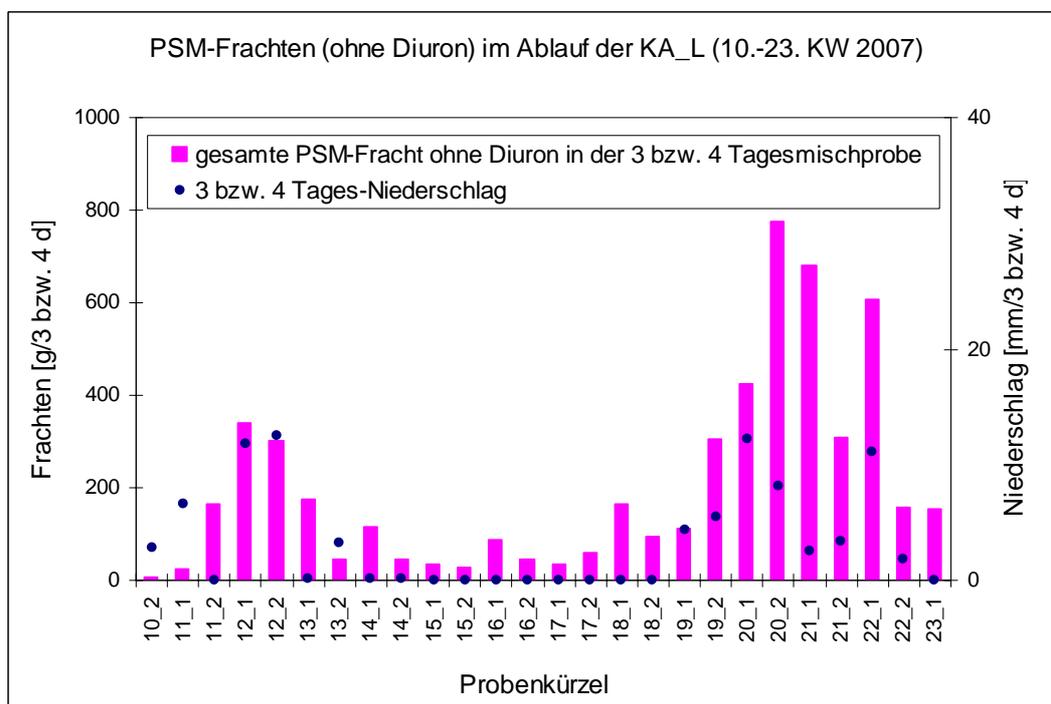


Abb. A-37. Summenfracht aller Wirkstoffe (26 Wirkstoffe und 2 Metabolite) im Ablauf der KA_L und Niederschlagssumme zum Zeitpunkt der Einzelproben (3- bzw. 4-Tages-Mischproben) im Beprobungszeitraum 10. - 23. KW 2007

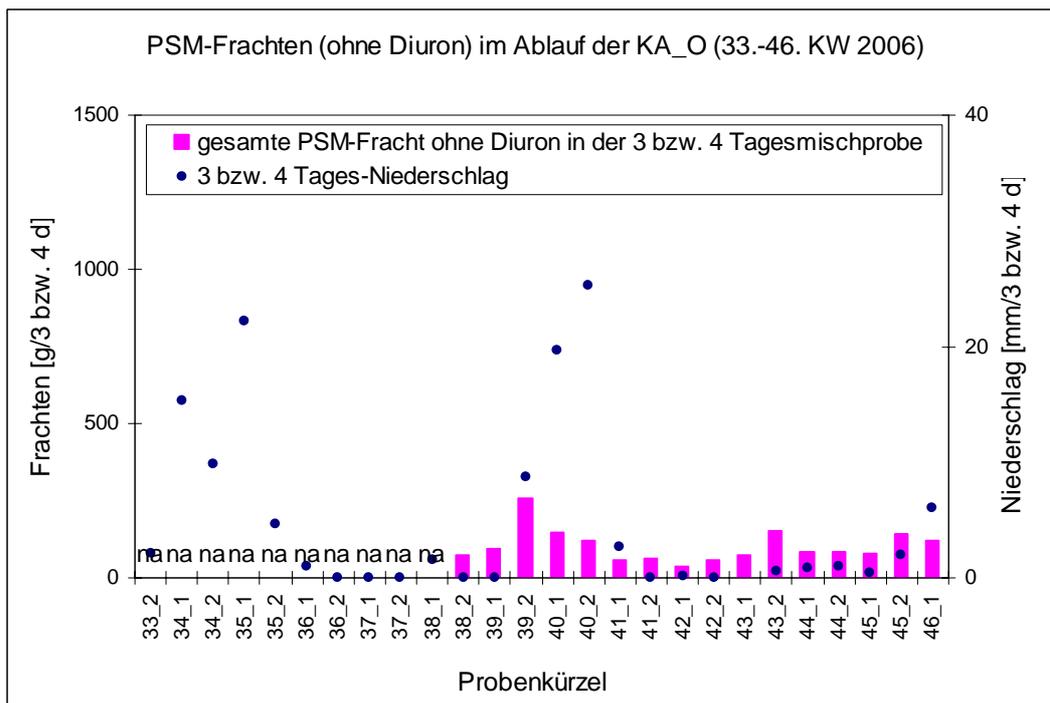


Abb. A-38. Summenfracht aller Wirkstoffe (26 Wirkstoffe und 2 Metabolite) im Ablauf der KA_O und Niederschlagssumme zum Zeitpunkt der Einzelproben (3- bzw. 4-Tages-Mischproben) im Beprobungszeitraum 33. - 46. KW 2006 (n.a.= nicht analysiert)

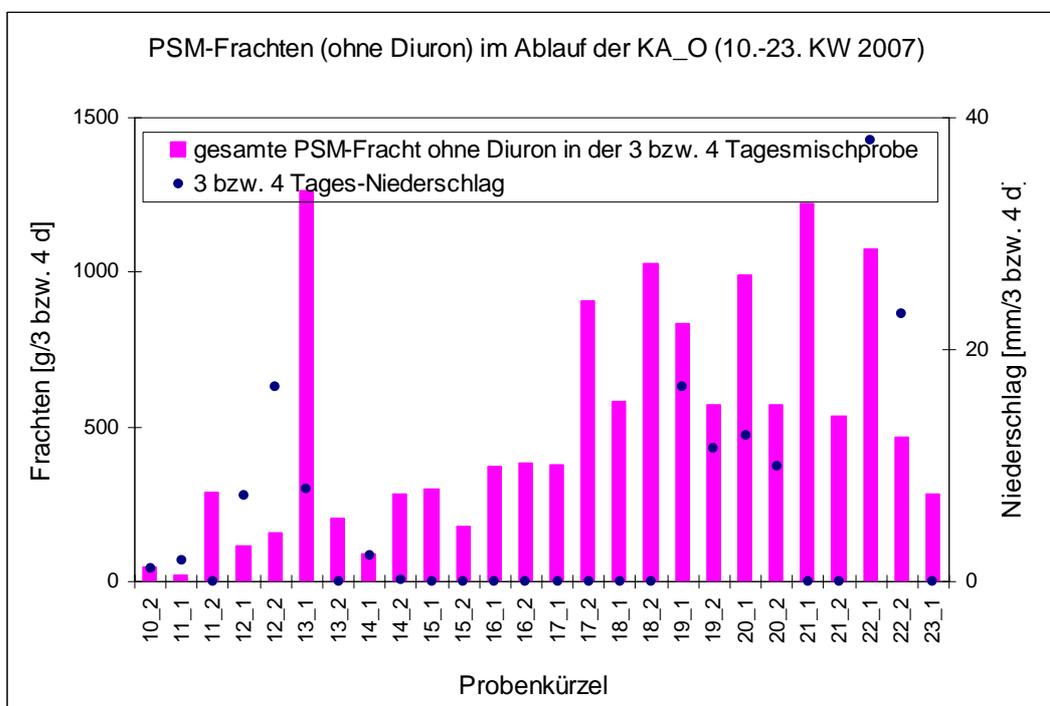


Abb. A-39. Summenfracht aller Wirkstoffe (26 Wirkstoffe und 2 Metabolite) im Ablauf der KA_O und Niederschlagssumme zum Zeitpunkt der Einzelproben (3- bzw. 4-Tages-Mischproben) im Beprobungszeitraum 10. - 23. KW 2007

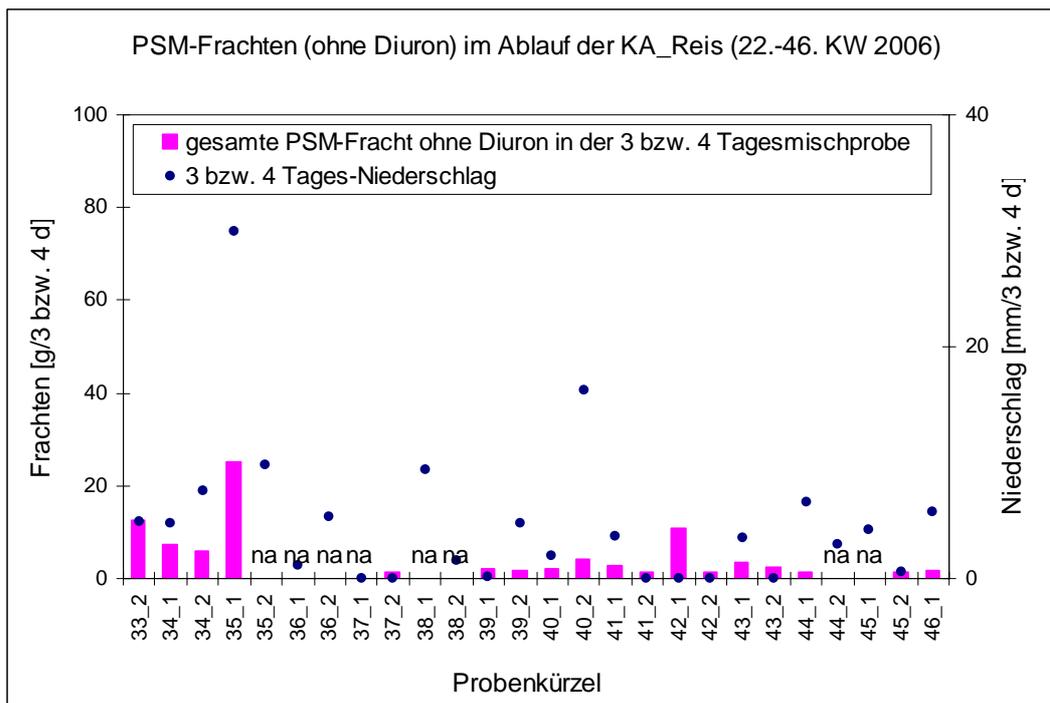


Abb. A-40. Summenfracht aller Wirkstoffe (26 Wirkstoffe und 2 Metabolite) im Ablauf der KA_Reis und Niederschlagssumme zum Zeitpunkt der Einzelproben (3- bzw. 4-Tages-Mischproben) im Beprobungszeitraum 33. - 46. KW 2006 (n.a.= nicht analysiert)

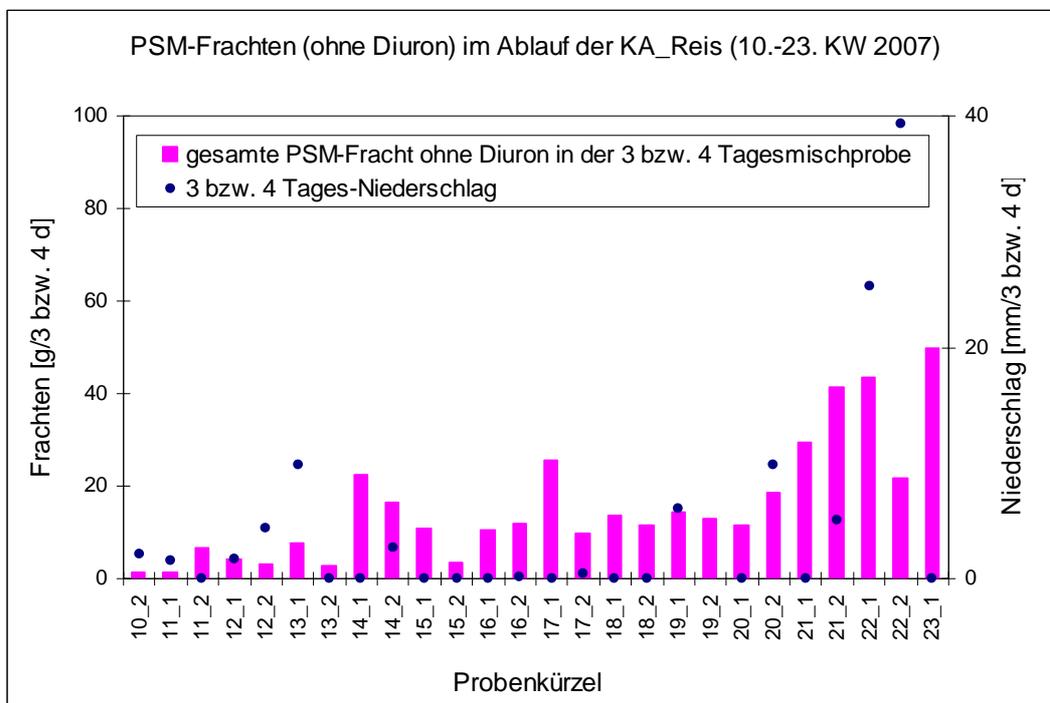


Abb. A-41. Summenfracht aller Wirkstoffe (26 Wirkstoffe und 2 Metabolite) im Ablauf der KA_Reis und Niederschlagssumme zum Zeitpunkt der Einzelproben (3- bzw. 4-Tages-Mischproben) im Beprobungszeitraum 10. - 23. KW 2007

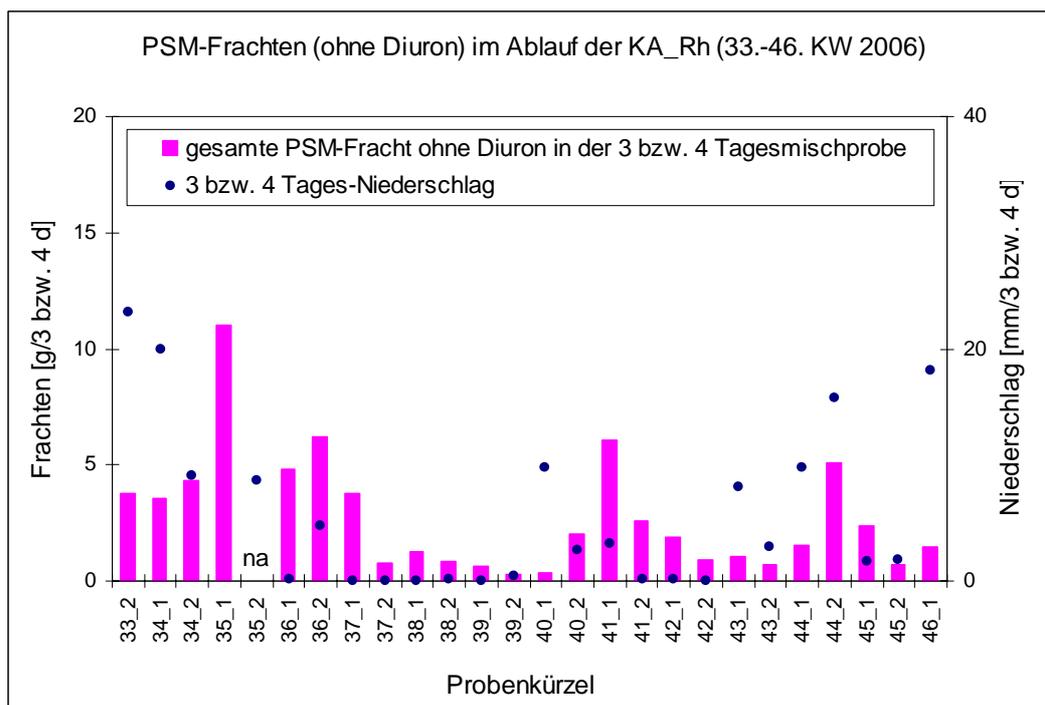


Abb. A-42. Summenfracht aller Wirkstoffe (26 Wirkstoffe und 2 Metabolite) im Ablauf der KA_Rh und Niederschlagssumme zum Zeitpunkt der Einzelproben (3- bzw. 4-Tages-Mischproben) im Beprobungszeitraum 33. - 46. KW 2006 (n.a.= nicht analysiert)

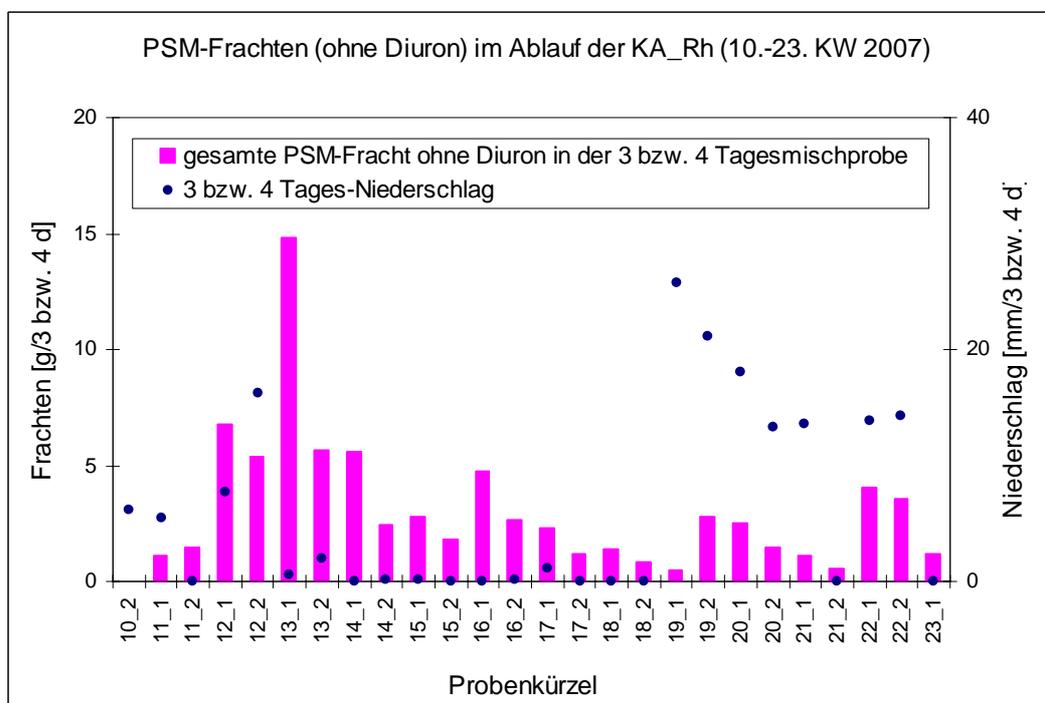


Abb. A-43. Summenfracht aller Wirkstoffe (26 Wirkstoffe und 2 Metabolite) im Ablauf der KA_Rh und Niederschlagssumme zum Zeitpunkt der Einzelproben (3- bzw. 4-Tages-Mischproben) im Beprobungszeitraum 10. - 23. KW 2007

11. Anhang - Tabellen

Tab. A-1. Maximalkonzentrationen [µg/l] von PSM-Wirkstoffen in Einzelproben im Ablauf von sieben Ackerbau-Kläranlagen, Herbst 2006 (33. - 46. KW 2006)

	KA_B	KA_F	KA_J	KA_L	KA_O	KA_Reis	KA_Rh
	Maximalwert [µg/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 Ackerbau-Kläranlagen, Frühjahr 2007 (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 [µg/l] von PSM-Wirkstoffen in Einzelproben im Ablauf von sieben Ackerbau-Kläranlagen, Herbst 2006 (33. - 46. KW 2006)

	KA_B	KA_F	KA_J	KA_L	KA_O	KA_Reis	KA_Rh
	Mittelwert [µg/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		
Terbuthylazin	0,1			0,1			

Tab. A-4. Mittelwerte der Konzentrationen [µg/l] von PSM-Wirkstoffen in Einzelproben im Ablauf von sieben Ackerbau-Kläranlagen, Frühjahr 2007 (10. - 23. KW 2007)

	KA_B	KA_F	KA_J	KA_L	KA_O	KA_Reis	KA_Rh
	Mittelwert [µg/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	
Terbuthylazin	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 Ackerbau-Kläranlagen, Herbst 2006 (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 Ackerbau-Kläranlagen, Frühjahr 2007 (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
Terbuthylazin	9,4	36,9	2,3	74,6	267,7	42,1	8,6

Tab. A-7 Gesamtfrachten [g] von PSM-Wirkstoffen im Ablauf von drei Ackerbau-Kläranlagen, Herbst 2007 (33. – 48. KW)

	KA_B	KA_L	KA_O
	Gesamtfracht [g]		
	n=16	n=32	n=32
2,4-D		18,2	176,6
2,4-DP		12,6	17.715,5
Amidosulfuron			
Atrazin		4,2	19,0
Desethyl-Atrazin			
Azoxystrobin			6,5
Bentazon	10,5	47,1	75,1
Bromacil			
Clomazone			
Diflufenican	7,2	11,4	53,6
Dimethoat	19,6	0,2	1,4
Diuron	89,0	160,8	51,5
Epoxiconazole		2,1	8,7
Ethofumesat		84,0	158,4
Fenpropidin		4,2	2,7
Fenpropimorph	9,0		
Flufenacet		6,7	5,8
Fluoroxypyr		6,0	31,0
Flurtamone	75,4		74,6
Ioxynil	10,5	12,0	196,2
Isoproturon	79,6	1.025,3	3.548,8
MCPA	29,2	57,9	1.137,2
MCPP	5,8	49,2	197,4
Mesosulfuron			
Metamitron		3,7	49,0
Desamino-Metamitron		93,6	296,9
Metazachlor	19,1	7,0	71,2
Metribuzin		4,0	4,0
Propiconazol	22,4	48,4	26,9
Propoxycarbazone			
Prothiocanazole			
Quinmerac	9,0	10,2	3,2
S-Metolachlor			7,6
Spiroxamine		3,5	7,5
Tebuconazol	104,8	14,2	42,7
Terbuthylazin		18,0	35,0

Tab. A-8. Gesamtfrachten [g] von PSM-Wirkstoffen im Ablauf von drei Ackerbau-Kläranlagen, Frühjahr 2008 (KA_B: 8.-33. KW, KA_L und KA_O: 10.-23. KW)

	KA_B	KA_L	KA_O
	Gesamtfracht [g]		
	n=20	n=28	n=28
2,4-D	33,4	10,0	59,4
2,4-DP	150,4	23,3	652,4
Amidosulfuron	47,0		78,6
Atrazin	7,9	26,8	136,3
Desethyl-Atrazin			
Azoxystrobin		12,7	8,0
Bentazon	59,1	17,5	339,0
Bromacil	31,1	10,7	34,6
Clomazone			
Diflufenican	31,1	8,0	34,6
Dimethoat			
Diuron	94,6	166,1	276,8
Epoxiconazole	36,3	41,1	70,5
Ethofumesat	52,5	468,4	596,1
Fenpropidin		2,0	3,6
Fenpropimorph	31,1	9,0	34,6
Flufenacet			
Fluoroxypyr			
Flurtamone			
Ioxynil			
Isoproturon	328,9	2.478,7	1260,3
MCPA	90,3	279,0	1.227,1
MCPP	46,1	114,5	444,1
Mesosulfuron			
Metamitron	346,5	1.574,2	2.757,8
Desamino-Metamitron	287,7	913,2	2.572,3
Metazachlor		1,8	5,0
Metribuzin		290,9	145,2
Propiconazol	12,3	22,5	19,5
Propoxycarbazone			
Prothiocanazole			
Quinmerac		84,5	189,4
S-Metolachlor	31,1	8,0	34,6
Spiroxamine	31,1	26,1	51,1
Tebuconazol	49,0	61,7	17,9
Terbuthylazin	26,5	16,6	60,6

Tab. A-9. Einzelwirkstoff-Frachten [g] pro Spritzgerät im Ablauf von sieben Ackerbau-Kläranlagen, Herbst 2006 (33. - 46. KW 2006)

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

Tab. A-10. Einzelwirkstoff-Frachten [g/Spritzgerät] im Ablauf von sieben Ackerbau-Kläranlagen, Frühjahr 2007 (10. - 23. KW 2007)

	KA_B	KA_F	KA_J	KA_L	KA_O	KA_Reis	KA_Rh
	Einzelwirkstoff-Fracht [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		
2,4-DP	19,9	0,5		0,1	1,2		
Amidosulfuron		0,1			0,1		
Atrazin	2,1	0,3		3,5	0,1		
Azoxystrobin	0,7	0,1	0,2	0,2			
Bentazon	2,3	0,5	0,3		0,5		
Bromacil							
Desamino-Metamitron	2,1	1,5	3,2	9,6	4,8	0,1	
Desethyl-Atrazin							
Diflufenican							
Dimethoat	0,9			0,1			
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		
Ethofumesat	3,2	1,4	0,9	6,8	3,7	0,1	
Fenpropidin							
Fenpropimorph							
Flufenacet							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		0,1
MCPP	2,7	0,3		1,5	0,8	0,1	0,1
Metamitron	5,4	3,9	5,5	23,6	7,5	0,3	
Metazachlor	0,6	0,1				0,1	
Metribuzin	3,8	0,1		2,4			
Propiconazol	2,9		0,1	0,2	0,2		
S-Metolachlor				0,1	0,1	0,1	0,1
Spiroxamine	2,0	0,1			0,1		
Tebuconazol	5,6	0,5	1,3	1,1	0,8		
Terbuthylazin	1,7	0,3	0,3	1,2	0,6	0,1	0,1

Tab. A-11. Einzelwirkstoff-Frachten [g] pro Spritzgerät im Ablauf von drei Ackerbau-Kläranlagen, Herbst 2007 (33. - 48. KW)

	KA_B	KA_L	KA_O
	Gesamtfracht [g]		
	n=16	n=32	n=32
2,4-D		0,28	0,37
2,4-DP		0,20	36,75
Amidosulfuron			
Atrazin		0,07	0,04
Desethyl-Atrazin			
Azoxystrobin			0,01
Bentazon	2,09	0,74	0,16
Bromacil			
Clomazone			
Diflufenican	1,43	0,18	0,11
Dimethoat	3,93		
Diuron	17,79	2,51	0,11
Epoxiconazole		0,03	0,02
Ethofumesat		1,31	0,33
Fenpropidin		0,07	0,01
Fenpropimorph	1,80		
Flufenacet		0,10	0,01
Fluoroxypyr		0,09	0,06
Flurtamone	15,09		0,15
Ioxynil	2,09	0,19	0,41
Isoproturon	15,92	16,02	7,36
MCPA	5,85	0,90	2,36
MCPP	1,16	0,77	0,41
Mesosulfuron			
Metamitron		0,06	0,10
Desamino-Metamitron		1,46	0,62
Metazachlor	3,83	0,11	0,15
Metribuzin		0,06	0,01
Propiconazol	4,49	0,76	0,06
Propoxycarbazone			
Prothiocanazole			
Quinmerac	1,80	0,16	0,01
S-Metolachlor			0,02
Spiroxamine		0,05	0,02
Tebuconazol	20,96	0,22	0,09
Terbuthylazin		0,28	0,07

Tab. A-12. Einzelwirkstoff-Frachten [g/Spritzgerät] im Ablauf von drei Ackerbau-Kläranlagen, Frühjahr 2008 (KA_B: 8.-33. KW, KA_L und KA_O: 10.-23. KW)

	KA_B	KA_L	KA_O
	Gesamtfracht [g]		
	n=20	n=28	n=28
2,4-D	6,67	0,16	0,12
2,4-DP	30,08	0,36	1,35
Amidosulfuron	9,41		0,16
Atrazin	1,58	0,42	0,28
Desethyl-Atrazin			
Azoxystrobin		0,20	0,02
Bentazon	11,82	0,27	0,70
Bromacil	6,21	0,17	0,07
Clomazone			
Diflufenican	6,21	0,12	0,07
Dimethoat			
Diuron	18,93	2,59	0,57
Epoxiconazole	7,26	0,64	0,15
Ethofumesat	10,50	7,32	1,24
Fenpropidin			0,01
Fenpropimorph	6,21	0,14	0,07
Flufenacet			
Fluoroxypyr			
Flurtamone			
Ioxynil			
Isoproturon	65,77	38,73	2,61
MCPA	18,07	4,36	2,55
MCPP	9,22	1,79	0,92
Mesosulfuron			
Metamitron	69,31	24,60	5,72
Desamino-Metamitron	57,55	14,27	5,34
Metazachlor			0,01
Metribuzin		4,54	0,30
Propiconazol	2,45	0,35	0,04
Propoxycarbazone			
Prothiocanazole			
Quinmerac		1,32	0,39
S-Metolachlor	6,21	0,12	0,07
Spiroxamine	6,21	0,41	0,11
Tebuconazol	9,79	0,96	0,04
Terbutylazin	5,29	0,26	0,13

Tab. A-13. 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-14. 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-15. 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-16. 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-17. 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-18. 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-19. 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	MCPP	9,6
MCPP	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-20. 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-21. 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-22. 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
M CPP	2,9	M CPP	3,0
Diuron	1,5		
(Atrazin)	(0,4)	(Atrazin)	(0,5)
Summe	90,6 %	Summe	90,3 %

Tab. A-23. 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-24. 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-25. 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-26. 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 %