

Pflanzenschutzmittel in Gewässern – Ansätze zur Feststellung signifikanter Belastungen nach WRRL

Pesticides in waters – identification of significant contamination according to the Water Framework Directive

Zusammenfassung

Die Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) erfordert eine Bewertung der Signifikanz von diffusen und Punktquellen auch bezüglich der Belastung mit Pflanzenschutzmitteln. Für das Gebiet der Bundesrepublik Deutschland werden hierzu erste Ansätze vorgestellt. Mit dem Modell DRIPS lassen sich die diffusen jährlichen PSM-Gewässereinträge über Drainagen, runoff und Spraydrift regional differenziert schätzen. Die Modellergebnisse sind unmittelbar als WRRL-Kriterium nutzbar, bedürfen jedoch der Aktualisierung und weiteren Validierung. Der größte Teil der PSM-Gewässerfrachten ist in vielen Regionen Deutschlands allerdings mutmaßlich auf Punkteinträge durch die landwirtschaftlichen Hofabläufe zurückzuführen. Als Bewertungskriterien käme dafür in erster Näherung die „Dichte der Spritz- und Sprühgeräte für Flächen- und für Raumkulturen“ innerhalb eines Flussgebietes in Betracht. Einträge in das Grundwasser durch die gegenwärtig zugelassenen Wirkstoffe stellen nach Stand der Kenntnis kein großräumiges Problem dar.

Summary

The implementation of the Water Framework Directive (WFD) demands determination of the significance of point and non-point contamination sources such as pesticides. A preliminary approach will be introduced here for Germany. The model-approach DRIPS estimates spatially differentiated yearly surface water inputs of pesticides via leaching, runoff and spraydrift. Model results can be used directly for WFD requirements, but are in need of update and further validation. For many regions of Germany the largest fraction of pesticide loads contaminating surface waters results from point source inputs. As a first assessment criterion for point sources, “the density of boom sprayers for field crops and blast sprayers for orchards, vineyards and hop” could be taken into consideration. At present, groundwater inputs of licensed active ingredients are not considered to be significant on a larger scale in Germany.

1 Veranlassung

Mit der Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) wird erstmals ein EU-weiter Ansatz verfolgt, den Zustand der Gewässer zu erheben, Defizite aufzuzeigen und Maßnahmen zur Errei-

chung eines guten Zustandes abzuleiten. Die Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) erstellt dazu eine Arbeitshilfe mit dem Ziel, die Vorgehensweise von der Zustandsbeschreibung über die Defizitanalyse bis hin zur Aufstellung von Bewirtschaftungsplänen zu vereinheitlichen. Für die Ermittlung signifikanter stofflicher Belastungen durch diffuse Nährstoff-Einträge werden dazu von der LAWA flächennutzungs- bzw. intensitätsbezogene Kriterien wie bspw. Ackerflächenanteil bzw. Viehbesatzdichte vorgeschlagen. Bezüglich der Einträge von *Pestiziden*, die in der WRRL-Stoffliste (Anhang VIII) gleichrangig mit den Nährstoffen aufgeführt werden, liegen bislang keine vergleichbaren Überlegungen vor. Mit dem nachfolgenden Beitrag sollen daher der aktuelle Kenntnisstand zur Situation der Einträge von Pflanzenschutzmitteln (PSM) in Oberflächengewässer aus diffusen und punktuellen Quellen in Deutschland wiedergeben sowie erste Ansätze vorgestellt werden, wie diese Kenntnisse in die Umsetzung der WRRL einfließen können.

Anmerkung: *Diffuse Quellen* und *Punktquellen* werden in der Literatur unterschiedlich abgegrenzt (Bach 1996). Die WRRL ordnet Einleitungen von landwirtschaftlichen Betriebsflächen (d.h. die sog. Hofabläufe) den Punktquellen zu, unabhängig davon, ob sie über eine Kläranlage gefasst oder direkt dem Gewässer zugeführt werden. Die WRRL-Definition der Eintragsquellen steht somit im Gegensatz zum Sprachgebrauch bspw. des BMU (2001), das Hofabläufe den diffusen Quellen zurechnet. Im Sinne der WRRL gelangen somit PSM sowohl aus diffusen Quellen als auch aus Punktquellen in die Oberflächengewässer.

2 Modellierung diffuser PSM-Einträge für das Gebiet der Bundesrepublik

Im Rahmen eines UBA-Forschungsvorhabens ist mit dem Modell DRIPS (Drainage, runoff und Spraydrift Input of Pesticides in Surface waters) ein erster Ansatz entwickelt worden, den diffusen PSM-Gewässereintrag auf Jahresbasis flächendeckend für das Bundesgebiet (Auflösung 1 km²) zu schätzen (Bach et al. 2000). Das GIS-basierte Modell benötigt als Eingangsdaten erstens einen Satz digitaler Karten Deutschlands, u.a. zu Verwaltungsgrenzen, Landnutzung, Naturräumlicher Gliederung, Bodeneinheiten, Jahresniederschlag, Häufigkeit von Starkniederschlägen und Gewässernetz; zweitens physiko-chemische Wirkstoff-Daten (k_{oc} , dt_{50}), sowie drittens Angaben zu Aufwandmengen und Applikationsterminen der PSM-Wirkstoffe, die aus einer Markterhebung abgeleitet wurden (Huber et al. 1998). Die

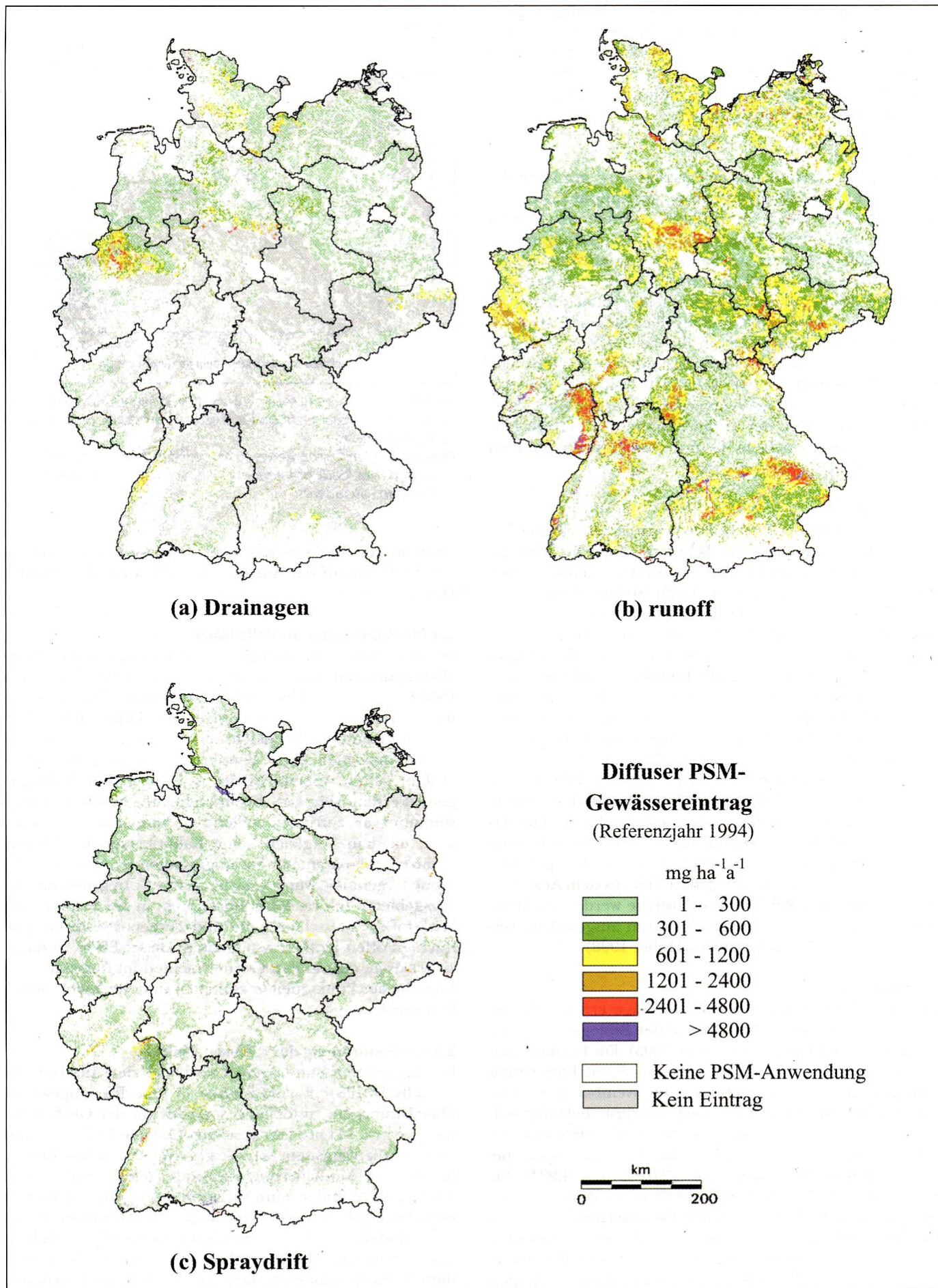


Bild 1 Geschätzte jährliche diffuse Pflanzenschutzmitteleinträge in Oberflächengewässer über (a) Drainagen, (b) Oberflächenabfluss (runoff), und (c) Spraydrift nach Modellrechnung (Bezugsjahr 1994, Huber 1998, Bach et al. 2000).

Figure 1 Spatial distribution of diffuse pesticide losses to German surface waters via (a) tile drains, (b) runoff and (c) spray drift according to the DRIPS model (reference year 1994, Huber 1998, Bach et al. 2000).

Modellierung der diffusen PSM-Gewässereinträge erfolgt für die drei Haupteintragspfade Drainagen, Oberflächenabfluss (runoff) und Spraydrift getrennt. Die hier vorgestellten Berechnungen wurden für die im Jahr 1994 meist-verkauften 41 Wirkstoffe durchgeführt, die auf Landwirtschaftsflächen ausgebracht werden.

2.1 Drainagen

Zur Schätzung der Drainagen-Austräge wird mit Hilfe des Modells PELMO (aktuelle Version zum Zeitpunkt der Untersuchung: 2.01, Klein 1995) für alle auftretenden Kombinationen von Boden, Klima und Wirkstoffapplikationen im Bundesgebiet kalkuliert, welcher Anteil eines Wirkstoffs bis in eine Bodentiefe von 80 cm verlagert wird. Weiterhin wird der Anteil dräniertes Ackerflächen in den Naturräumen geschätzt. Der PSM-Gewässereintrag über Dränagen berechnet sich aus der Multiplikation der beiden Werte. Bild 1a zeigt die räumliche Verteilung der kalkulierten Einträge. Von den 41 betrachteten Wirkstoffen wird nach diesem Ansatz nur für sechs ein nennenswerter Gewässereintrag über Dränagen kalkuliert, der in der Summe rd. 1,4 t pro Jahr entspricht. Der mögliche Grundwassereintrag von PSM wird vom Modell nicht behandelt.

2.2 Runoff

Die Abschätzung des Wirkstoffaustrags im Oberflächenabfluss (runoff) erfolgt in vier Schritten. Zunächst wird die mittlere Eintrittswahrscheinlichkeit von runoff-auslösenden Starkniederschlägen ermittelt. Dafür stehen Rasterkarten der Niederschlagshöhen-Dauer-Beziehung des deutschen Wetterdienstes (DWD) zur Verfügung. Die mittlere Zeitspanne zwischen Applikation und Starkniederschlag ergibt sich aus der Überlagerung der Eintrittswahrscheinlichkeiten des Niederschlagsereignisses mit den Applikationsterminen. Das runoff-Volumen wird nach dem Verfahren von Lutz (1984) zur Berechnung von Hochwasserabflüssen geschätzt. Die mittlere Wirkstoff-Konzentration im runoff wird schließlich nach den Ansätzen des GLEAMS-Modells (Mills und Leonard 1984) berechnet. Das Modell berechnet nur Wirkstoffausträge in der gelösten Phase. Für das gesamte Bundesgebiet werden nach diesem Modellansatz runoff-Einträge von insgesamt rd. 9,0 t Wirkstoff pro Jahr kalkuliert, wovon der weitaus größte Teil aus dem Ackerbau stammt (Bild 1b). Relativ hohe Austräge werden für Wirkstoffe berechnet, die in Reihenkulturen ausgebracht werden, insbesondere Zuckerrüben (Huber 1998).

2.3 Spraydrift

Die Modellierung der Spraydrift-Einträge erfolgt auf der Grundlage der Spraydrift-Eckwerte der Biologischen Bundesanstalt (nach Ganzelmeier et al. 1995). Für Feldkulturen wird bei der Applikation mit einer mittleren Entfernung zum Gewässer von 2 m gerechnet, für Weinbau und Obstbau von 5 m. Die mittleren Spraydriftverluste belaufen sich dann auf 0,58 % der ausgebrachten Wirkstoffmenge für Feldkulturen, 0,75 % bzw. 2,68 % für frühe bzw. späte Behandlungen im Weinbau, sowie 12,02 % bzw. 4,92 % für frühe bzw. späte Behandlungen im Obstbau. Weiterhin werden Annahmen über die mittlere Gewässernetzdichte und Gewässerbreite in den Landschaftseinheiten in Deutschland sowie die Anteile von gewässerangrenzenden Acker- und Sonderkulturflächen einbezogen. Insgesamt betragen die Spraydrifteinträge nach Modellschätzung aus dem Ackerbau nur rd. 90 kg und aus dem Weinbau rd. 120 kg pro Jahr in der gesamten Bundesrepublik (Bild 1c). Im Gegensatz dazu werden für die Spraydrift-Gewässereinträge aus dem

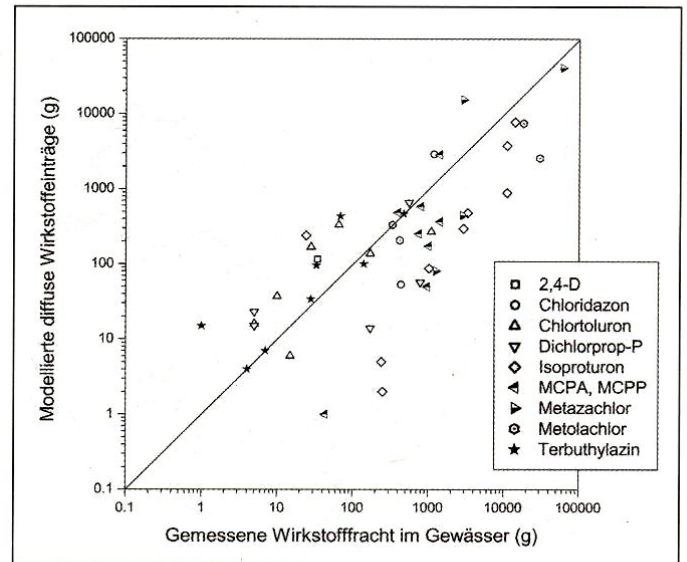


Bild 2 Vergleich gemessener Wirkstofffrachten im Gewässer und modellierter diffuser Einträge für einzelne Wirkstoffe in 13 Untersuchungsgebieten.

Figure 2 Comparison between modelled diffuse inputs and measured river loads of frequently analysed active ingredients in 13 German catchments.

Obstbau rd. 3,1 t pro Jahr kalkuliert, wobei der weitaus größte Anteil auf das Anbaugebiet „Altes Land“ (nördlich Hamburg) entfällt.

2.4 Plausibilität der Modellansätze

Die Plausibilität der Modellergebnisse zu diffusen PSM-Gewässereinträgen wurde anhand von Messergebnissen zur PSM-Fracht aus 13 kleinen bis mittelgroßen Einzugsgebieten überprüft (Bild 2, Detailangaben s. Huber 1998). Von den insgesamt 63 Vergleichswerten liegen 33, rund die Hälfte, innerhalb einer Bandbreite von 20 % bis 500 % (Faktor 5). In Anbetracht der vielfältigen Einschränkungen, die den Vergleich beeinträchtigen, ist die Übereinstimmung als zufrieden stellend zu bezeichnen, nicht zuletzt, da dem Vergleich keine Kalibrierung der Modellansätze bzw. -parameter vorausgegangen ist, das heißt die Modellergebnisse wurden nicht „gefittet“. In größeren Einzugsgebieten (ab ca. 400 g Jahresfracht in der Summe aller Wirkstoffe) unterschätzen die Modellergebnisse die Gesamtfrachten offensichtlich systematisch. Dieser Effekt ist damit zu erklären, dass in den Gesamtfrachten im Regelfall auch Einträge aus Punktquellen enthalten sind, die nicht modelliert wurden.

2.5 Größenordnung der diffusen Einträge

Für das gesamte Bundesgebiet wird nach den Ansätzen des Modells DRIPS ein PSM-Eintrag in Oberflächengewässer über Drainagen, runoff und spraydrift in der Größenordnung von ca. 14 t pro Jahr geschätzt (Tabelle 1). Dieser Wert reagiert allerdings sehr sensitiv gegenüber den Annahmen, die bei der Modellierung zugrunde gelegt werden. Beispielsweise verändert eine Variation des k_{oc} - bzw. dt_{50} -Wert eines Wirkstoffs um $\pm 50\%$ die Menge des Gewässereintrags nach Modellergebnis um ebenfalls etwa $\pm 50\%$. Die Fehlerstreuung der Modellergebnisse insgesamt, abgeschätzt mittels Maximummetrik, liegt in einem Bereich zwischen 2,0 t als Minimum bis 42 t pro Jahr als Maximalwert.

Auf verschiedenen landwirtschaftlichen Flächennutzungen stellen sich die flächenbezogenen diffusen Einträge sehr unterschiedlich dar (Tabelle 2). Die geringsten mittle-

Tabelle 1 Geschätzter Wirkstoffeintrag in Oberflächengewässer in Deutschland nach Modellansätzen (nach Bach et al. 2000, Bezugsjahr 1994)**Table 1** Estimated pesticide losses into German surface waters according to DRIPS model results (Bach et al. 2000, reference year 1994)

Eintragspfad	Gewässereintrag (Modellschätzung) kg	Anteil der Appli- kationsmenge ^a %
Drainagen	1420	ca. 0,006 %
runoff	9060	ca. 0,041 %
Spraydrift	3350	ca. 0,014 %
Summe (41 Wirkstoffe ^a)	13 800	ca. 0,060 %

^{a)} bezogen auf die Absatzmengen (nach Produkt und Markt, 1997) der 41 Wirkstoffe, für die diffuse Gewässereinträge modelliert wurden.

Tabelle 2 Flächenbezogener Wirkstoffeintrag in Oberflächengewässer für verschiedene Kulturarten nach Modellansätzen (Bezugsjahr 1994)**Table 2** Modelled crop-specific pesticide losses into German surface waters (reference year 1994)

Kulturart	Mittlerer Eintrag pro ha Anbaufläche g/ha	Wichtigste Eintragspfade
Getreide, Raps, Gemüse, Hülsenfrüchte Reihenkulturen (Zuckerrüben, Mais, Kartoffeln)	ca. 0,6	runoff, Drainage
Obst ^a	ca. 5 ^a	runoff spraydrift
Wein	ca. 6	runoff, spraydrift

^{a)} ohne Berücksichtigung der Fläche und der Eintragsmengen im Sondergebiet „Altes Land“!

ren Einträge von rd. 0,6 g/ha Wirkstoffe werden für Mähdruschfrüchte kalkuliert, Reihenkulturen weisen im Durchschnitt etwa die dreifache Menge auf. Für Obst- und Weinbau errechnen sich nach Modellannahmen mit etwa 5 bzw. 6 g/ha deutlich höhere spezifische Einträge. Mit Ausnahme des Obstanbaus sind bei allen Kulturen die runoff-Einträge der dominierende Eintragspfad.

3 Einträge aus Punktquellen

Ausgelöst durch die Untersuchung von Seel et al. (1994) sind in den vergangenen Jahren die PSM-Einträge aus Klär-

anlagen als relevante Quelle von PSM-Gewässerbelastungen fokussiert worden. Verschiedenen Untersuchungen zu PSM-Frachten aus Hofabläufen zufolge (Bach et al. 2000) variieren die mittleren Einleitungsmengen, bezogen auf die Zahl der Landwirtschaftsbetriebe, die jeweils an die untersuchte Kläranlage angeschlossen waren, in einer großen Spannweite. Als untere Grenze sind rd. 5 g Wirkstoffe pro angeschlossenen Landwirtschaftsbetrieb zu nennen (in der jeweiligen Untersuchungsperiode), als Höchstwert wurden rd. 80 g ermittelt. Für eine zutreffendere Schätzung der spezifischen PSM-Einleitungen aus Hofabläufen müsste eigentlich die Kläranlagenfracht auf die Anzahl der Spritzgeräte (statt auf die Zahl der Betriebe) bezogen werden, die von den Landwirtschaftsbetrieben mit Kläranlagenanschluss betrieben werden; diese Zahlen konnten in den Untersuchungen jedoch nicht zuverlässig ermittelt werden. In Anbetracht der großen Spannweite erscheint es nicht sinnvoll, aus den Untersuchungen einen Durchschnittswert der Einleitungen pro Betrieb bzw. pro Spritze zu bilden.

Die große Bedeutung der Hofabläufe für die PSM-Befrachtung der Oberflächengewässer wird weiterhin durch mehrere Messprogramme in kleineren Gewässern belegt, in denen die Einträge aus diffusen und punktuellen Quellen parallel ermittelt wurden, so dass ihr jeweiliger Anteil an der Gesamtfracht bestimmt werden kann. In fünf Einzugsgebieten (von 7 bis 1900 km²) in Hessen wurde auf diese Weise festgestellt, dass in diesen Flüssen zwischen 65 % und 95 % der gesamten PSM-Gewässerfracht während der Untersuchungsperioden aus punktuellen Quellen stammten (Seel et al. 1996, Fischer et al. 1996, 1998a, Müller et al. 2002).

Um die Bedeutung der Punkteinträge für größere Flussgebiete abschätzen zu können, wurden nach kritischer Sichtung der verfügbaren PSM-Konzentrationsdaten in Oberflächengewässern in Deutschland diejenigen Stationen ausgewählt, deren Messdichte die Berechnung statistisch valider PSM-Jahresfrachten gestattet, d. h. die mindestens 40 mal pro Jahr (Stichproben) oder kontinuierlich (Mischproben) beprobt worden sind. Diesem Kriterium genügen nur vier Messstellen in Deutschland (Tabelle 3). Von der gemessenen Gewässerfracht dieser Stationen wurden die diffusen Eintragsmengen abgezogen, die für die analysierten Wirkstoffe im Einzugsgebiet bis zur Messstelle nach den DRIPS-Modellansätzen jeweils kalkuliert worden sind. Die Differenz wurde den Einträgen aus Punktquellen zugeschrieben. Punktquellen sind in diesem Zusammenhang nicht nur die Hofabläufe der Landwirtschaftsbetriebe via Kläranlage,

Tabelle 3 Wirkstoff-Frachten in Flussgebieten in Deutschland und geschätzte Anteile aus diffusen und punktuellen Quellen (Bezugsjahr 1994)**Table 3** Loads of active ingredients in German river basins and estimated percentages from diffuse and point sources (reference year 1994)

Flussgebiet	Rhein	Main	Nidda	Ruhr
Messstelle	Köln	Bischofsheim	Praunheim	Westhofen
Einzugsgebiet (km ²)	141 000 km ²	27 000 km ²	1900 km ²	1900 km ²
Anzahl analysierter Wirkstoffe ^a	17	7	6	21
	kg a ⁻¹	kg a ⁻¹	kg a ⁻¹	kg a ⁻¹
Wirkstoff ^a -Jahresfracht der an der Messstelle	14 900	1540	113	97
Abzgl. Fracht ^b aus diffusen Einträgen (nach Modellergebnis)	990 ^c	100	18	21
= Fracht aus punktuellen Einträgen ^a	13 900	1440	95	76
Anteil Punktquellen (rechnerisch) an der Gesamtfracht 1994 rd.	93 % ^c	93 %	82 %	72 %

^{a)} Im Untersuchungsjahr 1994 zugelassene Wirkstoffe zur Anwendung in der Landwirtschaft

^{b)} Eintragsmengen der berücksichtigten Wirkstoffe im Flussgebiet bis zur Messstelle, ohne Wirkstoffabbau im Gewässer

^{c)} ohne Berücksichtigung der diffusen Einträge im Einzugsgebiet außerhalb Deutschlands (rd. 28 000 km²)

sondern auch Regenentlastungen sowie Einleitungen aus PSM-Produktions- und Formulierungsanlagen.

Nach diesem Ansatz wird für die vier Flussgebiete ein Anteil der diffusen Einträge zwischen 28 % und 7 % an der gemessenen Gesamtfracht der jeweils berücksichtigten Wirkstoffe ausgewiesen. Der Anteil der Punktquellen reicht dem entsprechend von 72 % bis 93 %. Die Ergebnisse unterstreichen die Dominanz der Punktquellen beim PSM-Eintragsgeschehen auch für die größeren Flussgebiete.

4 Operationalisierung im Rahmen der WRRL

Eine Bestandsaufnahme nach Art. 5 der WRRL umfasst die Erfassung signifikanter anthropogener Belastungen, denen Gewässer unterliegen können. Verglichen mit der Nährstoffbelastung ist der Kenntnisstand hinsichtlich der PSM-Belastung von Oberflächengewässern wesentlich lückenhafter. Insgesamt werden in Deutschland an rd. 60 LAWA-Messstellen PSM in Oberflächengewässern analysiert. Die überwiegende Zahl dieser Messstellen liegen jedoch entlang der großen Flüsse (LAWA 1997), d. h. die Ergebnisse charakterisieren die Belastungssituation integrierend über ein großes Emissionsgebiet. Aus derartigen Messwerten lassen sich weder Aussagen über die spezifischen PSM-Emissionen der einzelnen Quellen (Eintragspfade) noch über die PSM-Immissionen in den verschiedenen Teilgebieten ableiten, für die keine Messungen vorliegen. Im Zusam-

menhang mit den diffusen Nährstoffbelastungen wird für die 1. Stufe der Bestandsaufnahme nach WRRL eine Beurteilung anhand einfacher Kriterien wie bspw. Ackerflächenanteil oder Viehbesatz vorgeschlagen. Für den Bereich der PSM-Belastungen von *Oberflächengewässern* lässt sich eine analoge Vorgehensweise skizzieren.

Diffuse Quellen: Kriterium „Geschätzter PSM-Gewässereintrag nach DRIPS-Modellierung“; ermittelt mit der Zielgröße jährlicher Wirkeintrag pro Hektar Acker- bzw. Sonderkulturfläche ($g\ ha^{-1}a^{-1}$). Ein alternativer Weg wäre die Nutzung der Daten der NEPTUN-Erhebung über die regionalen PSM-Applikationsmengen zu den einzelnen Feldfrüchten (Roßberg et al. 2002). In Kombination mit einem Ranking-System zur Bewertung des spezifischen Eintragsrisikos eines Wirkstoffs können daraus regionalisierte Gefährdungs-Indices ermittelt werden, mit denen sich die Belastung von Oberflächengewässern flussgebietsbezogen abschätzen ließe. Als derartige Ranking-Verfahren kommen u. a. SYNOPSIS (Gutsche und Roßberg 1997) oder IPEST (de Mol et al. 2000) in Frage; weitere Ranking-Systeme sind in Reus et al. (1999) zusammengestellt.

Punktquellen: Die wenigen bislang dazu durchgeführten Untersuchungen in Deutschland dokumentieren hohe Einträge aus Punktquellen für die Regionen mit kleinstrukturierter Landwirtschaft. Eine Übertragung quantitativer Werte auf andere, nicht untersuchte Regionen erscheint nach dem derzeitigen Stand des Wissens allerdings nicht gerechtfertigt. Es kann jedoch begründet angenommen wer-

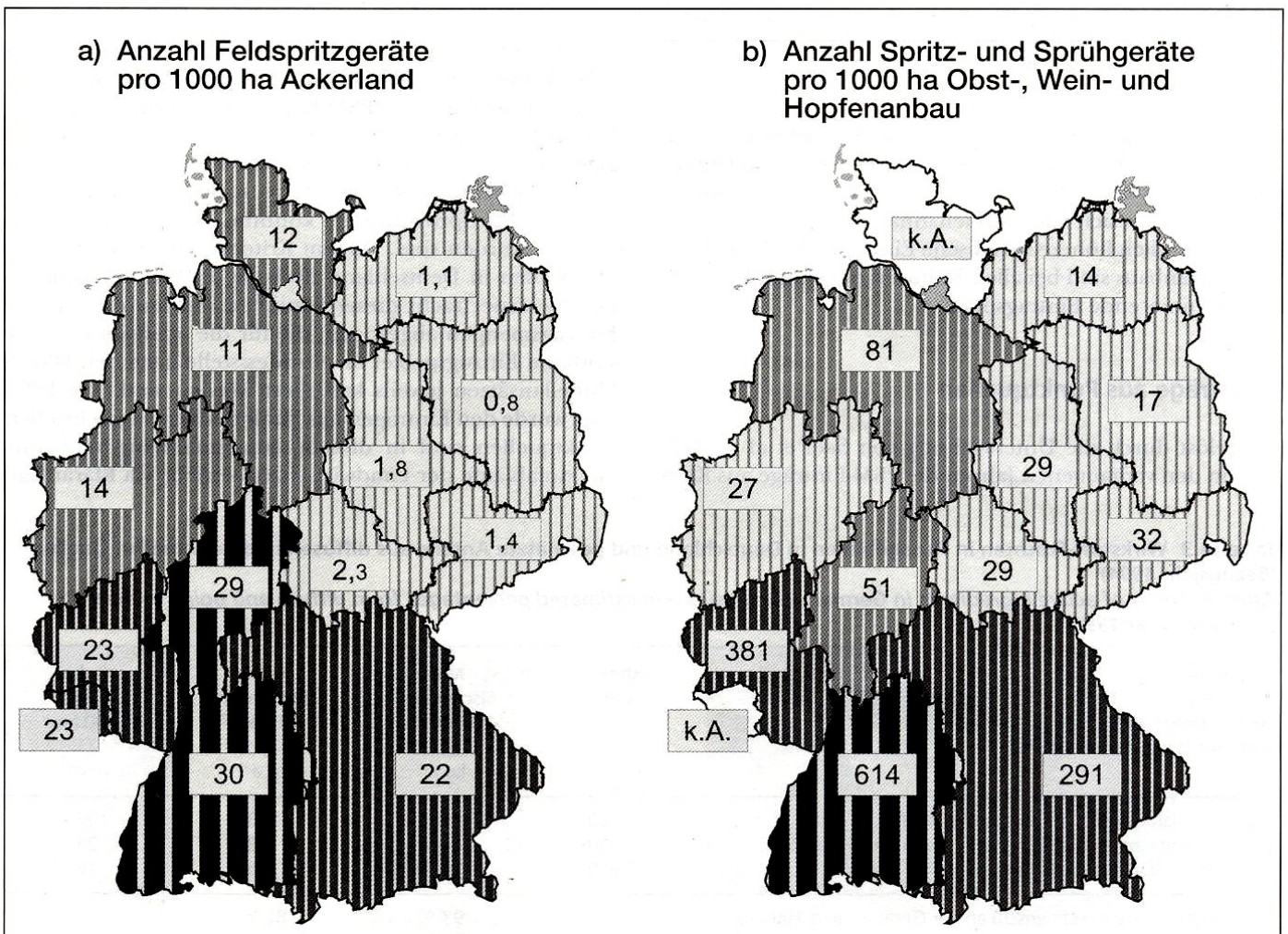


Bild 3 Dichte (a) der Feldspritzen sowie (b) der Spritz- und Sprühgeräte für Obst-, Wein- und Hopfenanbau in Deutschland 2001 (Rautmann 2002).

Figure 3 Densities of (a) field sprayers on cropland and (b) sprayers for vineyards, orchards and hop in Germany 2001 (Rautmann 2002).

den, dass das Problem punktueller Einträge sehr eng mit der Anzahl an Pflanzenschutzspritzen in einer Region gekoppelt ist. PSM-Einträge aus Punktquellen, i. e. Hofabläufen, gelangen bei der Reinigung von Spritzgeräten, infolge von Havarien (z. B. Überlaufen des Spritzbrühetanks beim Befüllen), oder durch das Ablassen der technischen Spritzbrüherestmenge zunächst auf die befestigten Hofflächen. Von dort werden die PSM-belasteten Schmutzwässer dann mit dem Waschwasser bzw. durch Regenfälle entweder in die Kanalisation oder direkt in einen Vorfluter eingeleitet. Die Häufigkeit derartiger Eintragsvorgänge ist mutmaßlich direkt proportional zur Gesamtzahl der Spritzgeräte. Als Kriterien kämen daher die „Dichte der Spritz- und Sprühgeräte für Flächen- und für Raumkulturen“ innerhalb eines Flussgebietes in Betracht. Zahlenwerte für derartige Kriterien sind auf Länderebene verfügbar (Rautmann 2002). Der Verteilung der Spritzendichte in Deutschland (Bild 3) zufolge ist davon auszugehen, dass PSM-Punkteinträge vor allem in den südlichen und südwestlichen Bundesländern ein Problem darstellen, in Norddeutschland und insbesondere in den östlichen Bundesländern sind die Spritzendichten deutlich geringer.

Aussagen zur PSM-Belastung der *Grundwasservorkommen* in Deutschland stützen sich auf eine sehr breite Basis von Analyseergebnissen. Für die Jahre 1996 bis 1998 liegen insgesamt rd. 231 000 Befunde aus mehreren Tausend Grundwassermessstellen vor (Domroese et al. 2001). Für die 24 Wirkstoffe und Abbauprodukte mit den größten Fundhäufigkeiten wiesen 1,21 % der Befunde Konzentrationen $>0,1 \mu\text{g/L}$ auf und überschritten somit den Grenzwert der

Trinkwasserverordnung. Unter diesen 24 insgesamt am häufigsten im Grundwasser detektierten Wirkstoffen und Abbauprodukten sind jedoch nur 9 landwirtschaftliche PSM vertreten, die gegenwärtig noch zugelassen sind. Bezogen auf diese aktuell eingesetzten PSM ergibt sich eine wesentlich geringere Belastung: nur 0,25 % der Befunde liegen über $0,1 \mu\text{g/L}$; in absoluten Zahlen 217 Befunde in drei Jahren. Hinsichtlich der Bewertung signifikanter Belastungen nach WRRL kann davon ausgegangen werden, dass keine großräumigen Belastungen von Grundwasservorkommen durch die heute eingesetzten PSM in Deutschland auftreten. Wenn sich im Einzelfall aus den Grundwasseranalysen Hinweise auf rezente Einträge ergeben, dann ist dem in lokalen Untersuchungen nachzugehen.

5 Diskussion

Die vorgestellten Resultate ermöglichen einen Überblick über die Situation der PSM-Einträge in Oberflächengewässern in Deutschland. Bei der Bewertung der Modellergebnisse sind gewisse Einschränkungen zu berücksichtigen; unter anderem konnten die PSM-Einträge mit erodiertem Bodenmaterial nicht geschätzt werden, da bislang kein hochauflösendes Erosionsmodell für das Bundesgebiet verfügbar ist. In Anbetracht der vergleichsweise großen Fehlerspannbreite sind die DRIPS-Modellergebnisse vorrangig als semi-quantitative Indikatorgrößen zu betrachten. Sie stellen Schätzwerte der zu erwartenden diffusen PSM-Gewässerbelastung in einem Flussgebiet dar, wobei der Schwer-