

Aktuelle Befunde der Metaboliten von Tolyfluanid und Chloridazon in den zur Trinkwasserversorgung genutzten Grundwasservorkommen Baden-Württembergs

Wasserversorgung, Pflanzenschutzmittel, Metaboliten, Grundwasser, Tolyfluanid, Chloridazon, Monitoring

Sebastian Sturm, Joachim Kiefer, Dieter Kollotzek und Johann-Martin Rogg

Nachdem im Herbst 2006 in Baden-Württemberg erste Befunde von bislang nicht bemerkten Pflanzenschutzmittel-Abbauprodukten (Metaboliten) im Grund- und Trinkwasser bekannt wurden, setzte in Fachöffentlichkeit und Presse rasch eine intensive Diskussion um die Bewertung dieser Stoffe ein. Die vorliegende Arbeit beschreibt die Belastungssituation für die Metaboliten N,N-Dimethylsulfamid (DMS), Desphenylchloridazon und Methyl-desphenylchloridazon in den baden-württembergischen Trinkwasserressourcen auf Basis der Daten der Grundwasserdatenbank Wasserversorgung 2009. So ist erstmals eine umfassende Beurteilung aus Sicht der Wasserversorgung möglich. Die Auswertung der Ergebnisse zeigt ein weit verbreitetes Auftreten dieser Stoffe bis hin zur Überschreitung der gesundheitlichen Orientierungswerte in zahlreichen Wasserschutzgebieten.

Recent Findings of Metabolites of Tolyfluanide and Chloridazone in Groundwater Resources of Baden-Wuerttemberg (south-west Germany)

In autumn 2006 in the state of Baden-Wuerttemberg so far unknown or unnoticed metabolites of tolylfluanide and chloridazone have been found in groundwater and drinking water resources. To assess these findings from the point of view of the water supply, the situation in the water resources used for drinking water production had to be evaluated. Based on the data of the water suppliers' groundwater database from 2009, the presented paper describes the contamination with metabolites N,N-Dimethylsulfamide, Desphenylchloridazone and Methyl-desphenylchloridazone. The results show a wide-spread occurrence of these substances with levels partly higher than health-based parametric values.

1. Einführung

Im Herbst 2006 wurden in Baden-Württemberg erste Befunde von bislang nicht bekannten bzw. nicht nachweisbaren Pflanzenschutzmittel-Abbauprodukten (Metaboliten) im Grund- und Trinkwasser bekannt und rasch in der Fachöffentlichkeit und Presse intensiv diskutiert [1, 2, 3]. Dabei handelte es sich zum einen um N,N-Dimethylsulfamid (DMS) (CAS 3984-14-3), ein bis dahin unbekanntes Abbauprodukt des Fungizids Tolyfluanid (CAS 731-27-1), das in der Landwirtschaft vor allem im Obst-, Wein- und Hopfenanbau eingesetzt wurde, sowie um die Metaboliten Desphenylchloridazon (CAS 6339-19-1) und Methyl-desphenylchloridazon (CAS 17254-80-7) des Herbizids Chloridazon (CAS 1698-60-8), das vor allem im Rübenanbau eingesetzt wird.

Die Diskussion über diese Befunde in der Wasserversorgungswirtschaft und mit den zuständigen Behörden

war unter anderem deshalb so schwierig, weil die Stoffe zum Zeitpunkt ihres Nachweises im Grundwasser zum Teil noch nicht toxikologisch bewertet oder bewertbar waren. Zudem bestanden auch Unklarheiten darüber, wie die Bewertung eines Metaboliten als relevant oder nicht relevant im Sinne der pflanzenschutzrechtlichen Zulassung auf die trinkwasserhygienische Bewertung oder gar auf die Frage einer Grenzwertüberschreitung für Pflanzenschutzmittel (PSM) im Sinne der Trinkwasserverordnung 2001 (TrinkwV 2001) [4] anzuwenden ist. Dabei wurde eine Diskrepanz zwischen Trinkwasserverordnung und Pflanzenschutzrecht bzw. Unsicherheiten der entsprechenden Empfehlungen für den Vollzug deutlich [5, 6, 7]. Seitens der Wasserversorgungswirtschaft wurde dringender Handlungsbedarf bei der Zulassung von Pflanzenschutzmitteln sowohl national wie auch auf europäischer Ebene gesehen [8, 9].

Verschärfend kam bei der Debatte hinzu, dass die genannten Metaboliten sehr polar und damit mobil sind und sich bei der Trinkwasseraufbereitung als schwer entfernbar erwiesen haben. Aus DMS kann beim Einsatz einer Ozonung in der Trinkwasseraufbereitung darüber hinaus das kanzerogene wirkende Nitrosamin *N*-Nitrosodimethylamin (NDMA) gebildet werden [10], für welches das Umweltbundesamt einen gesundheitlichen Orientierungswert (GOW) von 10 ng/L festgelegt hat. Um die Bedeutung dieser neu erkannten anthropogenen Spurenstoffe aus Sicht der Wasserversorgung beurteilen zu können, sind nicht nur weitere Studien zum Verhalten nicht relevanter Metabolite bei der Trinkwasseraufbereitung erforderlich [7], sondern auch die Befundsituation in den als Rohwasser für die Trinkwassergewinnung genutzten Wasservorkommen muss sicher bekannt und ausgewertet sein.

2. Rechtliche Situation

Die Wirkstoffe von PSM werden in der EU auf Basis der Richtlinie 91/414/EWG bewertet [11]¹. Ein Stoff wird demnach u.a. nur zugelassen, wenn die zu erwartende Konzentration des Wirkstoffs oder seiner relevanten Metaboliten im Grundwasser die Konzentration von 0,1 µg/L nicht übersteigt. Als Kriterien zur Beurteilung der Relevanz von Metaboliten gelten nach dem entsprechenden EU-Guidance Document [12] eine pestizide Aktivität vergleichbar mit der Muttersubstanz, schwerwiegend zu beurteilende toxikologische Eigenschaften oder die Gefährdung von Grundwasser-Ökosystemen. Bei der Prüfung und Bewertung von Metaboliten im nationalen PSM-Zulassungsverfahren wird je nach Stoffeigenschaften eine Konzentration „nicht relevanter“ Metaboliten von bis zu 0,75 µg/L im Grundwasser als aus pflanzenschutzrechtlicher Sicht akzeptabel angesehen, ein Wert von 10 µg/L soll generell nicht überschritten werden [13]. Ein relevanter Metabolit wird hinsichtlich des Versickerungsrisikos bei der Zulassung wie der Wirkstoff selbst bewertet. Für relevante Metaboliten gilt wie für Wirkstoffe der Grenzwert von 0,1 µg/L nach Anlage 2, Teil I zu § 6 (2) TrinkwV 2001 [4].

Tolyfluanid wurde hauptsächlich im Obst-, Wein- und Hopfenanbau eingesetzt. Aufgrund der Befunde des Metaboliten DMS in Grundwässern wurde für Freilandanwendungen Anfang 2007 vom BVL (Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit) das Ruhen der Zulassung veranlasst [14]. Zwischenzeitlich hat die Europäische Kommission entschieden, dass die Zulassungen für tolyfluanidhaltige Pflanzenschutz-

mittel EU-weit bis zum 30. November 2010 widerrufen werden müssen [15].

Das baden-württembergische Ministerium für ländlichen Raum (MLR) hatte *N,N*-Dimethylsulfamid im Frühjahr 2007 als „relevanten Metaboliten“ eingestuft. In der Folge waren viele Wasserversorgungsunternehmen mit Konzentrationen über 0,1 µg/L im Trinkwasser gezwungen, Ausnahmegenehmigungen gemäß § 9 der TrinkwV [4] zu beantragen. Parallel dazu wurde in Baden-Württemberg der Einsatz von Tolyfluanid in Wasserschutzgebieten (WSG) ab 01.04.2007 in der Schutzgebiets- und Ausgleichsverordnung (SchALVO, [16]) verboten.

In einer Empfehlung des Umweltbundesamtes vom April 2008 wurde DMS dann jedoch als toxikologisch und ökotoxikologisch unkritisch und somit als nicht relevanter Metabolit („nrM“) eingestuft und ein gesundheitlicher Orientierungswert (GOW) von 1,0 µg/L als trinkwasserhygienisch bis auf weiteres (vorerst dauerhaft) hinnehmbar erachtet (aktuelle Liste der GOW für nrM in [17]). Konzentrationen im Trinkwasser von mehr als 10 µg/L (Vorsorge-Maßnahmewert) gelten für alle nicht relevanten Metaboliten als grundsätzlich nicht hinnehmbar. Im November 2009 erfolgte auch vom MLR eine Neueinstufung von DMS als nicht relevant im Sinne der TrinkwV 2001 [4].

PSM mit dem Wirkstoff Chloridazon sind als Herbizide beim Rübenanbau zugelassen. Chloridazon wird im Boden relativ schnell zu den nicht relevanten Metaboliten Desphenylchloridazon und Methyl-desphenylchloridazon abgebaut. In den Bewertungen aus dem EU-Zulassungsverfahren wird für Desphenylchloridazon ein hohes Versickerungspotential festgestellt. Bei Lysimeterstudien im Zulassungsverfahren wurden Sickerwasserkonzentrationen zwischen 4 und 41 µg/L beobachtet [18]. Nach den ersten vorliegenden Ergebnissen wurden in Trink- und Rohwässern Desphenylchloridazon-Gehalte bis zu 21 µg/L gemessen [2]. Der GOW für die beiden Chloridazon-Metaboliten liegt nach UBA/BfR-Empfehlung [16] bei 3,0 µg/L. Chloridazon wurde in der Zulassung bisher noch nicht eingeschränkt, mit der chemischen Industrie wurde lediglich eine freiwillige Empfehlung u.a. zum Verzicht auf den Einsatz in WSG vereinbart [19].

3. Bisheriger Kenntnisstand zur Befundsituation

Nach den ersten Messungen von Wasserversorgern und Forschungsarbeiten des TZW Karlsruhe haben auch die Fachbehörden in Baden-Württemberg und Bayern ab Herbst 2006 begonnen, in ihren Gewässergütemessnetzen Messstellen auf die hier betrachteten Metaboliten zu untersuchen.

Seitens der LUBW (Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg) wurden im Dezember 2006 und Januar 2007 – 41 Grundwassermessstellen in Rübenanbaugebieten und 101 Mess-

¹ Am 24. November 2009 wurde im Amtsblatt der EU die neue EU-Verordnung Nr. 1107/2009 über das Inverkehrbringen von Pflanzenschutzmitteln bekannt gemacht. Sie trat am 14. Dezember 2009 in Kraft und wird am 14. Juni 2011 gültig. Sie löst dann die Richtlinie 91/414/EWG ab.

stellen in Obst- und Weinbaugebieten untersucht. Für DMS und die beiden Metaboliten von Chloridazon wurden dabei an vielen Messstellen Konzentrationen von über 1 µg/L festgestellt. Dieser erste Kenntnisstand wurde durch Untersuchungen der LUBW vom Oktober 2008 ergänzt. Dabei wurden 238 „Verdachtsmessstellen“ untersucht, in deren Einzugsgebieten Kulturen liegen, die üblicherweise mit den betreffenden Wirkstoffen behandelt werden. Die hohen Befunde für DMS und Desphenylchloridazon wurden hierbei bestätigt. Die Maximalkonzentrationen lagen bei 21 µg/L bzw. 8,1 µg/L [20]. Die Wirkstoffe selbst wurden nicht oder nur vereinzelt nachgewiesen. Die oben genannten GOW wurden für DMS an 12,2% der Messstellen und für Desphenylchloridazon an 2,5% bzw. für Methyl-desphenylchloridazon an 0,4% der untersuchten Messstellen überschritten [21].

In Bayern wurden 2007 vom Landesamt für Umweltschutz (LfU) ähnliche Untersuchungen veranlasst. Die je nach Parameter zwischen 121 und 165 Messstellen zur Untersuchung der Metaboliten im Grund-/Rohwasser wurden risikobasiert, entsprechend den betroffenen Kulturen ausgewählt. Dabei wurden ebenfalls hohe Belastungen mit den drei hier betrachteten Metaboliten festgestellt. Die Messstellenauswahl für die Untersuchungen bis Ende 2008 erfolgte überwiegend flächendeckend, wobei insgesamt 92 Grundwasser-Messstellen untersucht wurden. Dabei wurden die bei den vorangegangenen Untersuchungen gefundenen Konzentrationsbereiche trotz des gegenüber 2007 mehr flächendeckenden als risikobasierten Untersuchungsansatzes bestätigt [5].

Die Grundwasserdatenbank Wasserversorgung (GWD-WV) hatte bereits im Januar 2007 ein Informationsschreiben an die Wasserversorgungsunternehmen in Baden-Württemberg verschickt und über die neuen Erkenntnisse informiert. Um einen Überblick über die Belastungssituation zu erhalten, wurde denjenigen Wasserversorgungsunternehmen, die Rohwässer aus Einzugsgebieten mit entsprechenden Nutzungen gewinnen, empfohlen, Analysen ihrer Wässer auf Desphenylchloridazon bzw. auf DMS durchführen zu lassen [22]. Aus den daraufhin übermittelten Untersuchungsergebnissen aus dem Jahr 2008 lagen der GWD-WV somit überwiegend Daten aus Verdachtsgebieten vor. Von 199 auf Desphenylchloridazon untersuchten Messstellen überschritten über 60% den Wert von 0,1 µg/L. Vergleichbar stellte sich die Situation für DMS dar: 44% der 283 untersuchten Messstellen überschritten den Wert von 0,1 µg/L. Die Maximalwerte lagen bei 6,7 µg/L für Desphenylchloridazon und 8,7 µg/L für DMS [23].

4. Ziele der Arbeit

Die bisherigen Monitoringergebnisse machen deutlich, dass ein weit verbreitetes Auftreten dieser Metaboliten anzunehmen ist. Die Ergebnisse der bisher meist

schwerpunktmäßig oder nur an einer begrenzten Messstellenzahl durchgeführten Untersuchungen können jedoch nicht für eine Bewertung der Gesamtsituation herangezogen werden. Um die Bedeutung aus Sicht der Wasserversorgung beurteilen zu können, muss die Befundsituation in den als Rohwasser für die Trinkwassergewinnung genutzten Wasservorkommen sicher bekannt und ausgewertet sein. Daher sah das PSM-Monitoring der GWD-WV eine erstmalige, flächenhafte Untersuchung auf diese Metaboliten im Jahr 2009 an allen Messstellen vor, die nach der baden-württembergischen SchALVO für die Einstufung der WSG maßgebend sind. Deren Ergebnisse sollen in vorliegender Arbeit vorgestellt und ausgewertet werden. Das Ziel war es, die Belastungssituation der baden-württembergischen Trinkwasserressourcen erstmals verlässlich zu beschreiben und flächenhaft für die WSG in Baden-Württemberg zu bewerten.

5. Methoden

Die Wasserversorgungsunternehmen Baden-Württembergs betreiben eine Grundwasserdatenbank zur flächendeckenden Qualitätsüberwachung der Grund- und Quellwasservorkommen, die in Baden-Württemberg für die Trinkwasserversorgung genutzt werden. Seit 1992 werden hier die von den Wasserversorgungsunternehmen bereitgestellten Rohwasserbeschaffungsdaten zusammengeführt und ausgewertet. Die Daten werden außerdem als Kooperationsbeitrag der Wasserversorgungsunternehmen zur landesweiten Grundwasserüberwachung dem Land Baden-Württemberg weitergegeben und dienen als Grundlage für die Einstufung der WSG im Hinblick auf die Nitrat- und PSM-Belastung. Aufgrund des bisherigen guten Erfolgs dieser Vorgehensweise verzichtet das Land auf die Erhebung der Daten auf dem Wege einer Rohwasseruntersuchungsverordnung [24].

Untersuchungen auf PSM sind für die zur Einstufung der Wasserschutzgebiete relevanten Messstellen (SchALVO-Messstellen) regelmäßig im Rahmen von Monitoringprogrammen vorgesehen. Aufgrund der aktuellen Befunde der Metaboliten von Tolyfluanid und Chloridazon wurden diese ab 2009 in das neue Programm aufgenommen. Da es bislang kaum Befunde von Tolyfluanid selbst im Grundwasser gab, wurde auf die flächendeckende Untersuchung dieses Wirkstoffs verzichtet. Der Wirkstoff Chloridazon selbst war im Untersuchungsprogramm 2009 enthalten, wurde aber in keiner der untersuchten Messstellen nachgewiesen [25]. DMS, Desphenylchloridazon und Methyl-desphenylchloridazon wurden im Beprobungsjahr 2009 durch die baden-württembergischen Wasserversorgungsunternehmen weitgehend flächendeckend untersucht. Die Ergebnisse sind im Jahresbericht 2009 der GWD-WV dokumentiert [25]. Zunächst wird ein landesweiter Überblick über die Belastungs-

Tabelle 1. Ergebnisübersicht der Beprobung 2009: Anzahl der Messstellen und prozentualen Anteile (Datenquelle [25]).

	N,N-Dimethylsulfamid (DMS)	Desphenylchloridazon	Methyl-desphenylchloridazon
Werte ≤ 0,05 µg/L	1189 (73,1 %)	942 (57,4%)	1289 (79,4 %)
Werte > 0,05–0,1 µg/L	166 (10,2 %)	157 (9,6%)	157 (9,7%)
Werte > 0,1 µg/L – 50 % GOW ¹⁾	163 (10,0 %)	472 (28,7%)	172 (10,6 %)
Werte > 50 % GOW – GOW ¹⁾	44 (2,7 %)	49 (3,0%)	5 (0,3 %)
Werte > GOW ¹⁾	64 (3,9%)	22 (1,3 %)	0 (0 %)
Maximalwert ²⁾	13,0 µg/L	11,0 µg/L	2,4 µg/L
Anzahl beprobte Messstellen	1626 (100 %)	1642 (100 %)	1623 (100 %)

¹⁾ GOW der UBA Empfehlung vom April 2008 [17]:

DMS: GOW = 1,0 µg/L (50 % GOW = 0,5 µg/L); Metaboliten von Chloridazon: GOW = 3,0 µg/L (50 % GOW = 1,5 µg/L)

²⁾ Auf Grundlage der Messstellenmedianwerte des Jahres 2009

situation in den Rohwässern Baden-Württembergs wiedergegeben.

Um aus den teilweise mehreren Messwerten je Messstelle eine Aussage für das jeweilige WSG zu ermöglichen, wurde für alle Messstellen, für die Ergebnisse mehrerer Beprobungen vorlagen, ein Medianwert der jeweiligen Metabolitenkonzentration berechnet. Dieser Messstellenmedian ging dann in die weiteren Auswertungen ein. Unter der Annahme, dass die Rohwässer der beprobten Gewinnungsanlagen die integrale Beschaffenheit des Grundwassers im jeweiligen WSG repräsentieren, konnte eine theoretische, mediane Metabolitenkonzentration je WSG berechnet werden. Dieser bewusst vereinfachende Ansatz wird beispielsweise analog auch in der baden-württembergischen SchALVO [16] herangezogen, um etwa WSG anhand der Nitratkonzentration im Rohwasser der jeweiligen Brunnen in Sanierungs- oder Problemgebiete einzustufen.

Auf dieser Grundlage wurden die nachfolgend vorgestellten schutzgebiets- bzw. flächenbezogenen Auswertungen vorgenommen. Wenn mehrere Rohwasserfassungen in einem Gebiet sehr unterschiedliche Konzentrationsniveaus aufweisen, kann diese Vorgehensweise die Belastungssituation sowohl über- als auch unterschätzen. Um eine repräsentative Beurteilung des Einzelfalls vorzunehmen, wären andere Herangehensweisen, wie etwa fördermengengewichtete Mittelwertbildungen zu wählen. Da die entsprechenden Daten jedoch nicht für alle Wasserfassungen der Grundwasserdatenbank Wasserversorgung vorliegen, erscheint die gewählte Herangehensweise für einen landesweiten Überblick angemessen.

In einem weiteren Schritt wurde geprüft, ob sich durch die Korrelation der Metabolitenkonzentrationen mit Angaben zur Landnutzung weitergehende, quantifizierbare Hinweise auf die Belastungsursache ableiten lassen. Für einen ersten Ansatz wurde hierzu auf einen Datensatz zurückgegriffen, der der GWD-WV von der LUBW zur Verfügung gestellt worden war [26]. Darin sind für jedes WSG die Flächensummen und Anteile der

Nutzungsarten Acker, Grünland, Wald und Sonstige aufgeführt.

6. Ergebnisse

6.1 Befunde 2009

Aus der Beprobung 2009 liegen Werte von über 1600 Rohwassermessstellen vor. **Tabelle 1** enthält einen statistischen Überblick über die Ergebnisse und die Konzentrationsverteilung der Werte. Die Konzentrationsklassen darin orientieren sich zum einen an der analytischen Bestimmungsgrenze (diese lag bei den verschiedenen Laboratorien bei oder unter 0,05 µg/L), dem Wert von 0,1 µg/L, der nach TrinkwV 2001 [4] und bei der Zulassung von Pflanzenschutzmitteln als Grenzwert für die Wirkstoffe und relevanten Metaboliten gilt, sowie an den oben genannten jeweiligen gesundheitlichen Orientierungswerten von UBA und BfR. Als Schwellenwert wurde im Beirat der Grundwasserdatenbank Wasserversorgung eine Konzentration in Höhe von 50 % des GOW diskutiert, weshalb die entsprechende Klasse in der Tabelle ebenfalls unterschieden wurde.²

Für DMS liegen die Gehalte in 1189 der in 2009 untersuchten 1626 Messstellen unter den jeweiligen Bestimmungsgrenzen der Untersuchungslaboratorien oder unter 0,05 µg/L. In rund 27 % der Messstellen wurden DMS-Positivbefunde über 0,05 µg/L festgestellt. Der GOW von 1 µg/L für DMS wird in 64 Fällen überschritten. Der Maximalwert lag zudem über dem Vorsorge-Maßnahmewert von 10 µg/L.

² Die Betrachtung von 50 % des GOW als Schwellenwert entspricht dem Ansatz aus dem „Grundwassermemorandum 2004“, im dem acht Verbände der Wasserversorgungswirtschaft (IAWR, BGW, DVGW, IAWD, ÖVGW, SVGW, VKU, VDG) international gemeinsam Forderungen an einen nachhaltigen Grundwasserschutz und Schwellenwerte für Handlungsbedarf definiert haben. Der Schwellenwert soll auch die langen Zeiten berücksichtigen, bis Maßnahmen greifen und laufende Langzeittrends gestoppt werden.

Bei Desphenylchloridazon liegen die Gehalte in 942 Messstellen de 1642 untersuchten Messstellen unter den jeweiligen Bestimmungsgrenzen der Untersuchungslaboratorien oder unter 0,05 µg/L. In 43 % der Messstellen wurde Desphenylchloridazon in Konzentrationen über diesem Wert festgestellt. Der GOW der UBA-Empfehlung von 3 µg/L wurde bei 22 Messstellen

überschritten. Auch hier lag der Maximalwert über dem Vorsorge-Maßnahmewert von 10 µg/L.

Die Belastungen durch den Metaboliten Methyl-desphenylchloridazon fallen hinsichtlich Häufigkeit und Höhe der Belastung deutlich niedriger aus. Nur in rund 21% der Messstellen wurde Desphenylchloridazon in Konzentrationen über 0,05 µg/L festgestellt, eine Überschreitung des GOW wurde nicht beobachtet.

Tabelle 2. Übersicht über die Verteilung der Median-Konzentrationen von *N,N*-Dimethylsulfamid (DMS) je Wasserschutzgebiet (Beprobung 2009): Anzahl der WSG, WSG-Fläche und Flächenanteil je Konzentrationsklasse.

Konzentrationsklasse	Anzahl WSG	WSG-Fläche [ha]	Flächenanteil [%]
≤ 0,05 µg/L	889	317 378	69,2
> 0,05 – 0,1 µg/L	111	80 019	17,4
> 0,1 – 0,5 µg/L	121	44 801	9,8
> 0,5 – 1,0 µg/L	32	7 489	1,6
> 1,0 µg/L	50	8 943	2,0
Summe	1203	458 631	100,0
Maximalwert	13,0 µg/L		

Tabelle 3. Übersicht über die Verteilung der Median-Konzentrationen von Desphenylchloridazon je Wasserschutzgebiet (Beprobung 2009): Anzahl der WSG, WSG-Fläche und Flächenanteil je Konzentrationsklasse

Konzentrationsklasse	Anzahl WSG	WSG-Fläche [ha]	Flächenanteil [%]
≤ 0,05	733	200 331	40,1
> 0,05 - 0,1	115	56 543	11,3
> 0,1 - 1,5	316	225 667	45,1
> 1,5 – 3,0	31	14 396	2,9
> 3,0	19	3 111	0,6
Summe	1214	500 048	100,0
Maximalwert	11,0 µg/L		

Tabelle 4. Übersicht über die Verteilung der Median-Konzentrationen von Methyl-desphenylchloridazon je Wasserschutzgebiet (Beprobung 2009): Anzahl der WSG, WSG-Fläche und Flächenanteil je Konzentrationsklasse.

Konzentrationsklasse	Anzahl WSG	WSG-Fläche [ha]	Flächenanteil [%]
≤ 0,05	981	314 077	63,9
> 0,05 - 0,1	112	78 768	16,0
> 0,1 - 1,5	104	98 284	20,0
> 1,5 – 3,0	3	570	0,1
> 3,0	–	–	0,0
Summe	1200	491 700	100,0
Maximalwert	2,2 µg/L		

6.2 Situation der Wasserschutzgebiete

Aus den Ergebnissen der beprobten Messstellen wurden mediane Konzentrationen für das jeweilige Wasserschutzgebiet berechnet. Da in verschiedenen WSG mehrere Fassungsanlagen beprobt werden, ergaben sich aus der Medianberechnung von rund 1600 Messstellen etwa 1200 Angaben zu medianen WSG-Konzentrationen. Die so ermittelten Konzentrationsangaben beziehen sich somit nicht mehr auf die Messung an einer Messstelle, sondern auf die Situation in einem theoretischen Rohmischwasser und damit eines gesamten WSG. Die Ergebnisse sind als statistischer Überblick zur Konzentrationsverteilung der Werte für DMS in **Tabelle 2**, für Desphenylchloridazon in **Tabelle 3** und für Methyl-desphenylchloridazon in **Tabelle 4** dargestellt. Die Klassengrenzen darin wurden analog zu den o.g. Kriterien gewählt.

7. Diskussion der Ergebnisse

Für 50 Wasserschutzgebiete ergaben sich Konzentrationen über dem GOW für DMS und für 19 WSG über dem GOW für Desphenylchloridazon. Zwei WSG davon

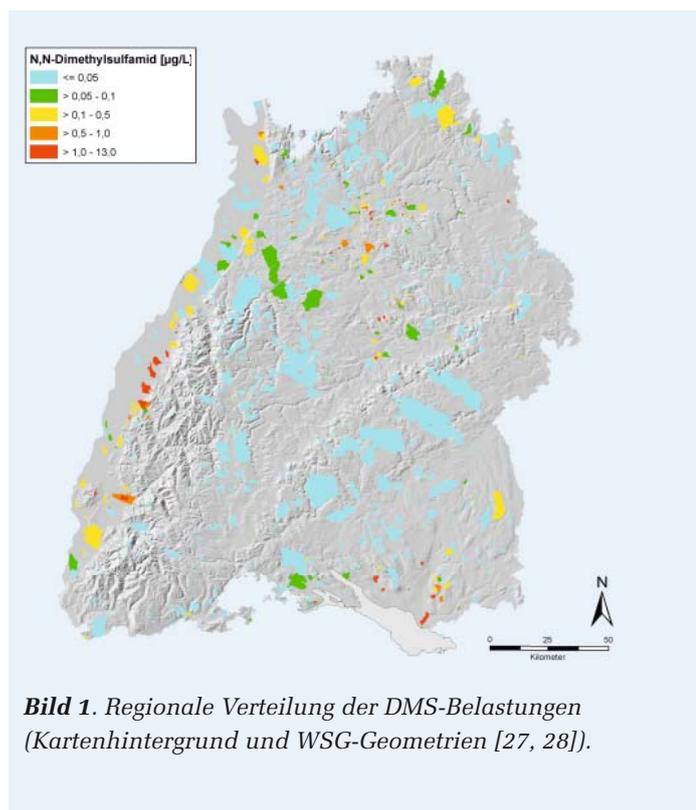


Bild 1. Regionale Verteilung der DMS-Belastungen (Kartenhintergrund und WSG-Geometrien [27, 28]).

sind sowohl mit DMS als auch mit Desphenylchloridazon über dem jeweiligen GOW belastet. Insgesamt werden nach den Ergebnissen 2009 bei 67 WSG in Baden-Württemberg die GOW der betrachteten Metaboliten in den genutzten Rohwässern überschritten. Die im Beirat der Grundwasserdatenbank Wasserversorgung diskutierte Schwelle von 50% des GOW wird in 63 weiteren WSG überschritten (s. **Tabelle 2** und **Tabelle 3**). Darin enthalten sind auch die drei WSG, in denen die Methyl-desphenylchloridazon-Konzentration über 1,5 µg/L liegt. Aus Sicht der Wasserversorgung soll nicht unerwähnt bleiben, dass die Maximalwerte für DMS und Desphenylchloridazon in jeweils einem WSG über dem Vorsorgemaßnahmewert von 10 µg/L lagen.

Bild 1 zeigt die beprobten WSG, klassifiziert nach ihren Mediankonzentrationen von DMS. Dabei zeigen sich die Belastungsschwerpunkte entlang der Vorbergzone am Schwarzwaldrand, am Kaiserstuhl, an der Badischen Bergstraße, am mittleren Neckar und in der Region Bodensee-Oberschwaben. In den genannten Regionen liegen die klassischen Obst-, Wein- und Hopfenanbaugebiete Baden-Württembergs. Da die frühere Zulassung für Tolyfluanid die Anwendung in Weinreben, Obst, Beeren, Gemüse, Salate, Hopfen und Zierpflanzen umfasste, sind die Belastungsschwerpunkte für DMS in diesen Regionen durch Einträge aus den genannten Nutzungen in der Vergangenheit erklärbar.

Die regionale Zuordnung der WSG zu den Konzentrationsklassen zeigt **Bild 2** für Desphenylchloridazon und **Bild 3** für Methyl-desphenylchloridazon.

Der Schwerpunkt der Belastung mit den Chloridazon-Metaboliten liegt demnach im nördlichen Landes- teil von Baden-Württemberg. Die meisten WSG mit erhöhten Konzentrationen der Chloridazon-Metaboliten befinden sich im Naturraum der Neckar- und Tauber-Gäuplatten, insbesondere im Bereich der Hohenloher Ebene, Kocher-Jagst-Ebene, im Tauberland und Neckarbecken sowie im östlichen Kraichgau. In diesen Regionen liegt auch das Hauptanbaugebiet für Zuckerrüben [20].

Die Belastungsschwerpunkte konzentrieren sich räumlich zum einen in einem Radius von rund 30 km um Offenau (Landkreis Heilbronn), wo die einzige Zuckerfabrik Baden-Württembergs ansässig ist, sowie an der nordöstlichen baden-württembergischen Landesgrenze, etwa 30 km vom bayerischen Ochsenfurt (Landkreis Würzburg) entfernt, in dem eine weitere große Zuckerfabrik angesiedelt ist [29]. Flächenhaft bedeutende, wenn auch von Belastungsniveau leicht geringere Befunde, treten auch im Bereich der Schwäbischen Alb auf.

Bei der Beurteilung der Befundsituation ist jedoch zu beachten, dass der Anbau von Zuckerrüben und Futterrüben in der Vergangenheit wesentlich stärker verbreitet war und der nahezu flächendeckende Nachweis von Abbauprodukten des Rübenanbauherbizids Chloridazon im Grundwasser auch auf Einträge aus der Zeit des dezentralen Futterrübenanbaus zurückzuführen ist. Darauf weisen auch die Auswertungen der baden-württembergischen LUBW und des bayerischen LfU hin [5, 20, 21].

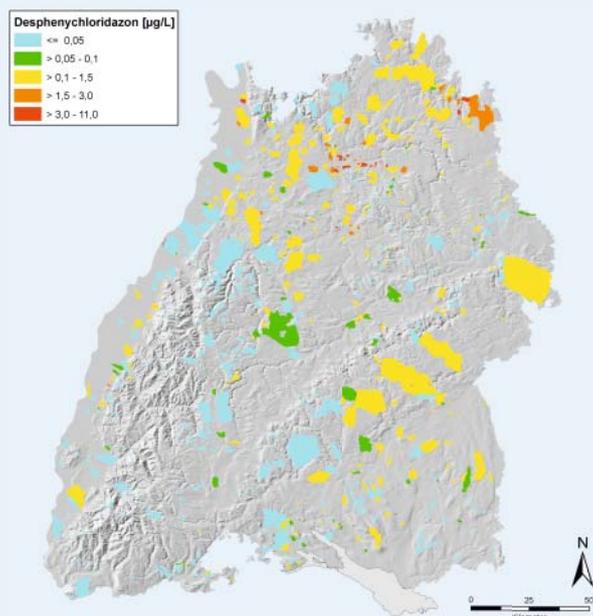


Bild 2. Regionale Verteilung der Desphenylchloridazon-Belastungen (Kartenhintergrund und WSG-Geometrien [27, 28]).

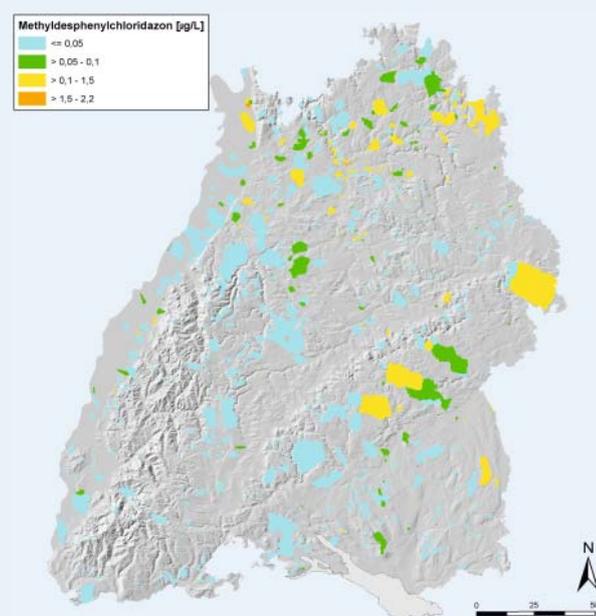


Bild 3. Regionale Verteilung der Methyl-desphenylchloridazon-Belastungen (Kartenhintergrund und WSG-Geometrien [27, 28]).

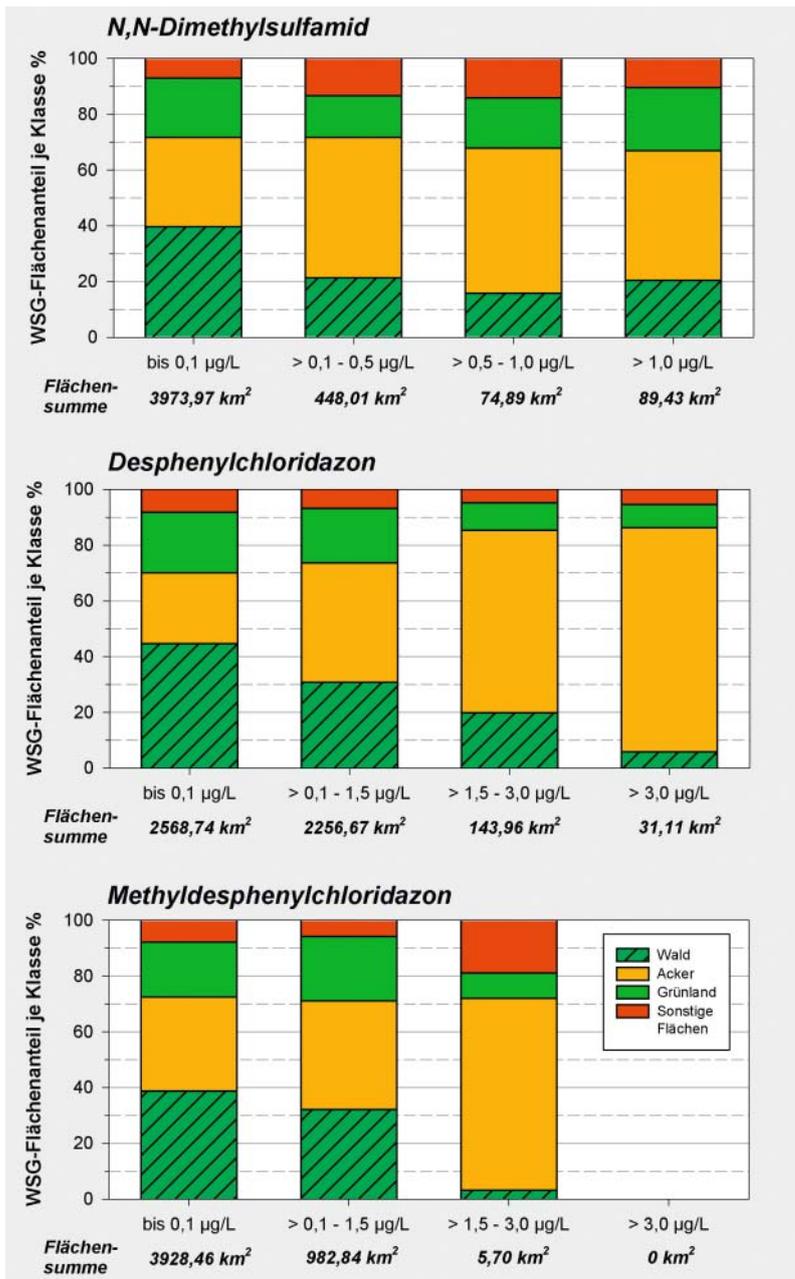


Bild 4. Anteile der einzelnen Nutzungsklassen an den Wasserschutzgebietsflächen je Metabolitenkonzentrationsklasse.

Für eine weitergehende Auswertung wurden die medianen WSG-Konzentrationen in Beziehung zur Landnutzung in den jeweiligen WSG gesetzt, um gegebenenfalls quantifizierbare statistische Zusammenhänge zwischen der Belastungshöhe und dem Flächenanteil der unterschiedlichen Nutzungsarten abzuleiten.

In **Bild 4** sind die Anteile der einzelnen Nutzungsklassen an den WSG-Flächen je Metabolitenkonzentrationsklasse dargestellt. Tendenziell zeigte sich beim Vergleich der Zusammensetzung der Konzentrationsklassen, insbesondere bei Desphenylchloridazon, dass vor allem der Flächenanteil von Acker mit zunehmender Konzentrationsklasse ansteigt, während der Waldanteil abnimmt.

Bild 5 und **Bild 6** zeigen exemplarisch für Desphenylchloridazon den Zusammenhang zwischen der medianen WSG-Konzentration und dem Flächenanteil an Acker bzw. Wald im jeweiligen WSG.

Daraus lassen sich visuell nur tendenzielle Zusammenhänge ableiten, die statistisch allerdings nicht signifikant sind. Eine verlässliche statistische Auswertung ist hier ohnehin problematisch, da der Anteil von Werten unter der analytischen Bestimmungsgrenze (BG) bei bis zu 60% liegt. Je nach mathematischer Behandlung der Werte unterhalb der Bestimmungsgrenze ($< BG = 0 \mu\text{g/L}$, $= \frac{1}{2} BG$ oder $= BG$) wirken sich diese dann signifikant auf das Ergebnis aus (vgl. [30]).

Zu erkennen war bei entsprechenden Darstellungen für alle Metaboliten, dass der Ackeranteil am jeweiligen WSG der einzige Faktor ist, der positiv mit steigenden Desphenylchloridazonkonzentrationen korreliert war. Nur bei DMS war ein ähnlicher Trend auch bei der Rubrik „Sonstige Nutzungen“ vorhanden. Ein negativ korrelierter Trend trat bei der Nutzung Wald und abgeschwächt auch bei Grünland auf. Auf die Darstellung der Regressionsgerade wird jedoch wegen der fehlenden statistischen Signifikanz verzichtet. Generell zeigt sich in den gezeigten Darstellungen für Desphenylchloridazon auch, dass Werte über dem GOW erst ab einem überwiegenden Anteil an Ackerfläche auftraten, bzw. dass ab einem nennenswerten Waldanteil von rund 25% keine GOW-Überschreitungen mehr festzustellen waren. Die Darstellung kann auch als Hinweis dafür gewertet werden, dass schon ein geringer Ackeranteil – die entsprechende problematische Nutzung vorausgesetzt – schon zu messbaren und teils deutlichen Metabolitenkonzentrationen in den Rohwässern der jeweiligen WSG führen kann.

Eine plausible Erklärung für die nicht befriedigende statistische Signifikanz der Korrelation zur Nutzung und Metabolitenkonzentration ist sicher in der Unschärfe der verwendeten Daten zur Landnutzung zu sehen. Gerade bei Sonderkulturen wie Erdbeeren oder beim Beerenobstanbau sind die Bewirtschaftungseinheiten in den teils sehr kleinparzelligen landwirtschaftlichen Strukturen in Süddeutschland oft nur wenige Meter breit. Eine derartige Nutzung kann nicht zutreffend in den Nutzungsklassen „Acker“ oder „Sonstige“ abgebildet werden.

Weitere Aspekte, die eine statistisch abgesicherte Korrelation zwischen Nutzung und Metabolitenkonzentration zwangsläufig erschweren, sind, dass selbst durch theoretisch parzellenscharfe stationäre Aufnahmen der Landnutzung wechselnde Fruchtfolgen nicht abgebildet werden können. Zudem ist der natürlich gegebene, gebietspezifische Zeitverzug zwischen den (eventuell früheren) Einträgen in den Boden und dem Auftreten im Rohwasser über die Sickerstrecke und die Verweilzeit im Grundwasser in der Regel nicht bekannt. In vielen Fällen deckt zudem das WSG nicht das gesamte

Einzugsgebiet ab, so dass auch Einträge von außerhalb zu Belastungen des Rohwassers führen können.

8. Bewertung und Ausblick

Die Auswertung der Daten der baden-württembergischen Grundwasserdatenbank Wasserversorgung zu den Befunden der Metaboliten von Tolyfluanid und Chloridazon zeigte ein weit verbreitetes Auftreten dieser Stoffe. Insgesamt treten Positivbefunde von DMS in Rohwässern auf, die 30% der Wasserschutzgebiete in Baden-Württemberg repräsentieren. Desphenylchloridazon ist in Rohwässern von über 60% der WSG-Fläche Baden-Württembergs nachweisbar.

Für 50 WSG ergaben sich Konzentrationen über dem gesundheitlichen Orientierungswert (GOW) für DMS und für 19 WSG über dem GOW für Desphenylchloridazon. Insgesamt werden nach den Ergebnissen 2009 in 67 WSG in Baden-Württemberg die GOW in den genutzten Rohwässern überschritten. Die im Beirat der GWD-WV diskutierte Schwelle von 50% des GOW wird in 63 weiteren WSG überschritten. Aus Sicht der Wasserversorgung ist auch die Tatsache von Bedeutung, dass die Maximalwerte für DMS und Desphenylchloridazon über dem Vorsorgemaßnahmewert von 10 µg/L lagen.

Die baden-württembergische SchALVO sieht vor, WSG, bei denen der Trinkwassergrenzwert von 0,1 µg/L für PSM-Wirkstoffe oder an deren Abbauprodukten im Rohwasser überschritten wird, als PSM-Sanierungsgebiete einzustufen. In diesen Gebieten kann der Einsatz der entsprechenden Wirkstoffe verboten werden. Legt man als Beurteilungsmaßstab im Sinne des Minimierungsgebotes der TrinkwV 2001 [4] den GOW als maximal tolerierbare Grenze für die Konzentrationen nicht relevanter Metabolite an, ab der Maßnahmen zur Verringerung der Belastung ergriffen werden sollten, so wären nach der in vorliegender Arbeit vorgenommenen Auswertung in Baden-Württemberg 50 WSG wegen der hohen DMS-Konzentrationen und 19 WSG wegen der Desphenylchloridazon-Befunde als Sanierungsgebiete einzustufen.

Für Tolyfluanid sind gegenwärtig keine weiteren Maßnahmen zur Verringerung der Einträge im Einzugsgebiet denkbar, da die Zulassung für Freilandanwendungen seit 2007 ruht und Zulassungen EU-weit bis zum 30. November 2010 widerrufen werden müssen. Chloridazon hingegen ist bis auf freiwillige Vereinbarungen mit dem Hersteller bisher nicht mit Anwendungsbeschränkungen in WSG belegt.

Wenn der GOW allerdings als entsprechender Maßstab für die Trinkwasserversorgung herangezogen werden soll, so sind auch Konsequenzen im Zulassungsverfahren für PSM, bei der Überwachung und dem Vollzug der pflanzenschutzrechtlichen Regelungen unausweichlich. Andernfalls würde ein Eintrag von Metaboliten in das Grundwasser in Konzentrationen toleriert, der anschließend die Gewinnung von Trinkwasser aus

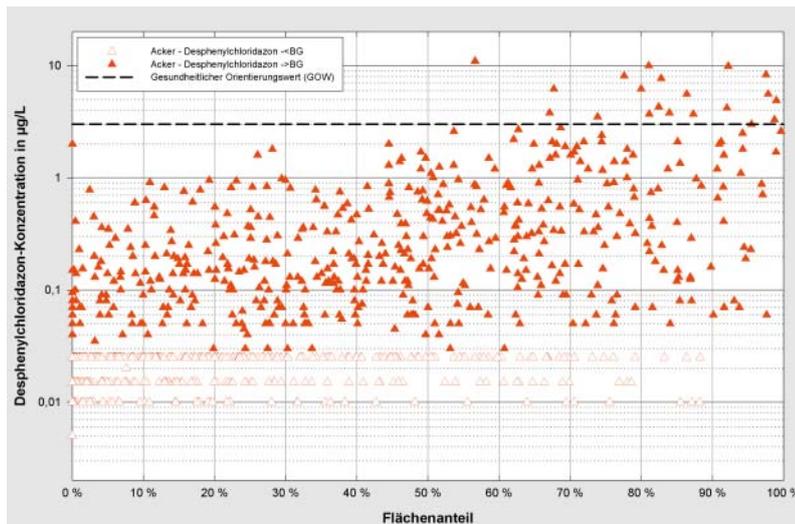


Bild 5. Desphenylchloridazon-Konzentration je WSG in Abhängigkeit vom Flächenanteil an Acker je WSG.

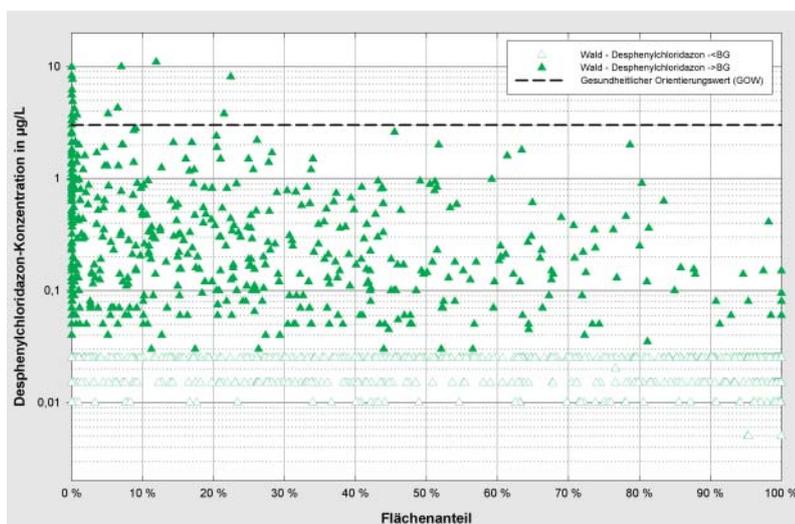


Bild 6. Desphenylchloridazon-Konzentration je WSG in Abhängigkeit vom Flächenanteil an Wald je WSG.

den entsprechenden Ressourcen ohne aufwändige Aufbereitungsmaßnahmen unmöglich macht.

Betrachtet man die Entwicklung der Diskussion in der Fachöffentlichkeit in den drei Jahren seit Bekanntwerden der ersten Befunde dieser nicht relevanten Metaboliten Ende 2006, zeigte sich eine sehr vielschichtige „Bewertungslandschaft“. So muss eine trinkwasserhygienische Bewertung zum einen über eine rein (öko-)toxikologische Stoffbetrachtung im Rohwasser hinaus auch das Verhalten bei der Trinkwasseraufbereitung berücksichtigen, zum anderen ist unter dem Gesichtspunkt des Verbrauchervertrauens auch der Aspekt der Akzeptanz der Anwesenheit von möglicherweise toxikologisch nicht relevanten Metaboliten im Trinkwasser zu beachten. Neben einer raschen fachlichen Bewertung kommt somit auch der Kommunikation und Vermittlung der Befunde eine maßgebliche Rolle zu.

Wie die Fortentwicklung der analytisch-messtechnischen Möglichkeiten auch bei anderen anthropogenen Spurenstoffen (Perfluorierte Verbindungen, synthetische Süßstoffe etc.) zeigt, ist in Zukunft von dem Bekanntwerden weiterer naturfremder Stoffe im Spurenbereich im Wasserkreislauf auszugehen. Die Wasserversorgungswirtschaft und die zuständigen Behörden müssen sich hinsichtlich der Bewertung und Kommunikation von Befunden „neuartiger“ Stoffe darauf einstellen.

Die flächendeckenden Befunde der polaren PSM-Metaboliten eröffnen auch die ungewollte Möglichkeit, diese Substanzen als neuartige Markierungsstoffe (Tracer) für den Einfluss der Landwirtschaft auf das Grundwasser heranzuziehen. Unabhängig von ihrer toxikologischen Relevanz lassen sich aus den Befunden so im Einzelfall auch Erkenntnisse für das Risikomanagement im Einzugsgebiet gewinnen.

Insgesamt unterstreichen die vorliegenden Ergebnisse einmal mehr den Stellenwert, der dem vorbeugenden Schutz der Ressource Grundwasser und damit auch der Trinkwasservorkommen vor weiträumigen Verunreinigungen mit persistenten, naturfremden Stoffen (Xenobiotika) zukommt. In diesem Zusammenhang sind auch Konsequenzen für das Zulassungsverfahren von PSM zu fordern, um vergleichbare Einträge künftig schon im Vorfeld zu verhindern oder zu begrenzen.

Literatur

- [1] Schmidt, C.K.: Neuer Fungizid-Metabolit: *N,N*-Dimethylsulfamid (DMS) – Ein Problemstoff mit zwei Gesichtern. TZW (DVGW-Technologiezentrum Wasser). TZW aktuell 22 (2007), S. 1.
- [2] MLR BW: Landesministerien informieren über aktuelle Untersuchungsbefunde bei Grund- und Trinkwasser. Pressemitteilung 484/2006 (2006).
- [3] Zweckverband Landeswasserversorgung: Pflanzenschutzmittel im Visier. Erneut landesweit Spuren in Gewässern entdeckt. LW Presseinformation 13/06 (2006) Stuttgart.
- [4] TrinkwV 2001: Verordnung über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch (Trinkwasserverordnung) vom 22. Mai 2001, BGBl. I, S. 959.
- [5] Gierig, M.: Ergebnisse der Untersuchungen von PSM-Metaboliten in Grund- und Oberflächenwasser Bayerns. Bayerisches Landesamt für Umwelt: Pflanzenschutzmittel-Metaboliten Vorkommen und Bewertung. Fachtagung des Bayerischen Landesamtes für Umwelt am 18. und 19.11.2008. UmweltSpezial (2009), S. 26–34.
- [6] Trinkwasserkommission: Zur regulatorischen Bewertung von pflanzenschutzrechtlich nicht als relevant bewerteten Metaboliten im Rohwasser für die Trinkwassergewinnung und im Trinkwasser. Stellungnahme der Trinkwasserkommission des Bundesministeriums für Gesundheit beim Umweltbundesamt (2006).
- [7] Dieter, H.H.: Toxikologische und trinkwasserhygienische Bewertung von relevanten und nicht relevanten Metaboliten von Pflanzenbehandlungs- und Schädlingsbekämpfungsmitteln im Grund- und Trinkwasser. Bundesgesundheitsblatt 52 (2009), S. 953–956.
- [8] Sturm, S., Kiefer, J. und Eichhorn, E.: Befunde von Pflanzenschutzmitteln in Grund- und Oberflächenwässern und deren Eintragspfade. Bedeutung für die Wasserwirtschaft und das Zulassungsverfahren. DVGW-Technologiezentrum Wasser (TZW) Karlsruhe: Pflanzenschutzmittel in Böden, Grund- und Oberflächenwasser – Vorkommen, Abbau und Zulassung. Veröffentlichungen aus dem Technologiezentrum Wasser Karlsruhe 31 (2007), S. 185–310.
- [9] Castell-Exner, C.: Bewertung des Vorkommens von PSM-Metaboliten aus Sicht des DVGW. Bayerisches Landesamt für Umwelt: Pflanzenschutzmittel-Metaboliten Vorkommen und Bewertung. Fachtagung des Bayerischen Landesamtes für Umwelt am 18. und 19.11.2008. UmweltSpezial (2009), S. 74–78.
- [10] Schmidt, C.K. and Brauch, H.-J.: *N,N*-Dimethylsulfamide as Precursor for *N*-Nitrosodimethylamine (NDMA) Formation upon Ozonation and its Fate During Drinking Water Treatment. Environ. Sci. Technol. 42 (2008), p. 6340–6343.
- [11] Richtlinie 91/414/EWG des Rates vom 15. Juli 1991 über das Inverkehrbringen von Pflanzenschutzmitteln. (1991) Amtsblatt der Europäischen Union L 230 vom 19.8.1991, S. 1–271.
- [12] European Commission: Guidance document on the assessment of the relevance of metabolites in groundwater of substances regulated under council directive 91/414/EEC. Sanco/221/2000 –rev.10- final (2003) http://ec.europa.eu/food/plant/protection/evaluation/guidance/wrkd21_en.pdf
- [13] Michalski, B. et al.: Beurteilung der Relevanz von Metaboliten im Grundwasser im Rahmen des nationalen Zulassungsverfahrens für Pflanzenschutzmittel. Nachrichtenbl. Deut. Pflanzenschutzd. 56 (2004) Nr. 2, S. 53–59, Eugen Ulmer Stuttgart.
- [14] BVL (Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit): BVL setzt die Anwendung tolylfluoridhaltiger Pflanzenschutzmittel im Freiland aus. Abbauprodukt des Wirkstoffs bildet bei der Trinkwasseraufbereitung mit Ozon gesundheitsschädliches Nitrosamin. Aktuelle Meldungen zur Zulassung von Pflanzenschutzmitteln und zur Wirkstoffprüfung. www.bvl.bund.de (2007)
- [15] Richtlinie 2010/20/EU der Kommission vom 9. März 2010 zur Änderung der Richtlinie 91/414/EWG des Rates hinsichtlich der Streichung von Tolyfluorid als Wirkstoff und zum Widerruf der Zulassungen für Pflanzenschutzmittel mit diesem Wirkstoff. Amtsblatt der Europäischen Union L 60 (2010), S. 20–21.
- [16] SchALVO: Verordnung des Ministeriums für Umwelt und Verkehr über Schutzbestimmungen und die Gewährung von Ausgleichsleistungen in Wasser- und Quellenschutzgebieten. Schutzgebiets- und Ausgleichsverordnung vom 20.02.2001. GBl., S. 145 (2001).
- [17] UBA (Umweltbundesamt) & BfR (Bundesinstitut für Risikobewertung): Gesundheitliche Orientierungswerte (GOW) für nicht relevante Metaboliten (nrM) von Wirkstoffen aus Pflanzenbehandlungs- und Schädlingsbekämpfungsmitteln. Empfehlung des Umweltbundesamtes vom 04.04.08 nach Anhörung der Trinkwasserkommission des Bundesministeriums für Gesundheit (2009) http://www.umwelt-daten.de/wasser/themen/trinkwassertoxikologie/tabelle_gow_nrm.pdf
- [18] DAR Chloridazon: Initial risk assessment provided by the rapporteur Member State Germany for the existing active substance CHLORIDAZON of the third stage (part A) of the review programme referred to in Article 8(2) of Council directive 91/414/EEC. EFSA (European Food Safety Authority) (2005).
- [19] UVM BW (Ministerium für Umwelt und Verkehr Baden-Württemberg): Vorsorgliche Einschränkungen bei der Anwendung des Pflanzenschutzmittelwirkstoffes Chloridazon. Vorbildliches Verhalten der Industrie. Landesportal Baden-Württemberg. <http://www.baden-wuerttemberg.de> (2007) <http://www.baden-wuerttemberg.de/sixcms/detail.php?id=164335>

- [20] *Schneider, B.*: Ergebnisse von Metaboliten im Grundwasser in Baden-Württemberg. Bayerisches Landesamt für Umwelt: Pflanzenschutzmittel-Metaboliten Vorkommen und Bewertung Fachtagung des Bayerischen Landesamtes für Umwelt am 18. und 19.11.2008. UmweltSpezial (2009), S. 35–40.
- [21] LUBW (Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg): Grundwasser-Überwachungsprogramm. Ergebnisse der Beprobung 2008. Grundwasserschutz 38 (2009).
- [22] Grundwasserdatenbank Wasserversorgung (Hrsg.): Aktuelle Befunde von Pflanzenschutzmittel-Abbauprodukten im Grund- und Trinkwasser Baden-Württembergs. Information der Grundwasserdatenbank Wasserversorgung an die Wasserversorgungsunternehmen in Baden-Württemberg (2007).
- [23] GWD-WV (Grundwasserdatenbank Wasserversorgung): Ergebnisse der Beprobung 2008. VfEW, DVGW, VKU, Städte- tag, Gemeindetag. CD-ROM / online (2009). <www.grundwasserdatenbank.de>
- [24] *Haakh, F. und Kollotzek, D.*: Die Grundwasserdatenbank der baden-württembergischen Wasserversorgungsunternehmen. gwf -Wasser|Abwasser 147 (2006) Nr. 12, S. 793–798.
- [25] GWD-WV (Grundwasserdatenbank Wasserversorgung): Ergebnisse der Beprobung 2009. VfEW, DVGW, VKU, Städte- tag, Gemeindetag. CD-ROM / online (2010). <www.grundwasserdatenbank.de>
- [26] LUBW (Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg): WSG Baden-Württemberg, Flächennutzungsdaten. Datensatz (2008).
- [27] LUBW (Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg): Wasserschutzgebiete. Daten aus dem Räumlichen Informations- und Planungssystem (RIPS); Abfrage Stand 10.03.2010 (2010).
- [28] Ministerium für Umwelt und Verkehr Baden-Württemberg & LfU Baden-Württemberg: Wasser- und Bodenatlas Baden-Württemberg (WaBoA). Stand: 3. Lieferung 2007 (2007).
- [29] Südzucker AG: Zuckerfabriken in Deutschland. <http://www.suedzucker.de/de/Unternehmen/Standorte/Zuckerfabriken-Deutschland/> (2010)
- [30] LfU (Landesanstalt für Umweltschutz) Baden-Württemberg: Atlas des Grundwasserzustandes in Baden-Württemberg. Grundwasserschutz 19 (2001) Karlsruhe.

Eingereicht: 21.05.2010
Korrektur: 27.08.2010
Im Peer-Review-Verfahren begutachtet

Autoren

Dipl.-Geoökol. **Sebastian Sturm**

E-Mail: sebastian.sturm@tzw.de

Dipl.-Geol. **Joachim Kiefer**

E-Mail: joachim.kiefer@tzw.de

DVGW-Technologiezentrum Wasser (TZW) |

Abteilung Grundwasser & Boden |

Karlsruher Straße 84 |

D-76139 Karlsruhe

Dr. **Dieter Kollotzek**

E-Mail: info@grundwasserdatenbank.de

Grundwasserdatenbank Wasserversorgung |

c/o Grundwasserinstitut Dr. Kollotzek |

Schurwaldstraße 22 |

D-73527 Schwäbisch Gmünd

Dipl.-Ing. (FH) **Johann Martin Rogg**

E-Mail: johann-martin.rogg@badenova.de

badenova AG & Co. KG |

Tullastraße 61 |

D-79108 Freiburg i. Br.