



CHLOROTHALONIL-METABOLITEN IN BERNER OBERFLÄCHENGEWÄSSERN

Untersuchungen im Jahr 2020 zeigen, dass Chlorothalonil-Metaboliten in mittelgrossen und grösseren Oberflächengewässern des Kantons Bern zum Teil in relativ hohen Konzentrationen nachweisbar sind. Im Auslauf des Bielersees, welcher der Trinkwassernutzung dient, lagen die Werte für einen Metaboliten regelmässig über 0,1 Mikrogramm pro Liter. Zudem sind die gemessenen Konzentrationen über den ganzen Beobachtungszeitraum nicht rückläufig, obschon der Wirkstoff Chlorothalonil seit dem 1. Januar 2020 verboten ist und nicht mehr angewendet werden darf.

Claudia Minkowski; Matthias Ruff; Rico Ryser,
Gewässer- und Bodenschutzlabor, Kt. BE*

RÉSUMÉ

MÉTABOLITES DU CHLOROTHALONIL DANS LES EAUX DE SURFACE BÉRNOISES

Des études réalisées de février à décembre 2020 ont montré que les deux métabolites du chlorothalonil R417888 et R471811 peuvent être détectés dans des eaux de surface moyennes et grandes dans le canton de Berne, parfois dans des concentrations assez élevées. La proportion de la superficie agricole utile dans le bassin versant et le volume des eaux jouent un rôle déterminant à cet égard. Les concentrations les plus élevées ont été mesurées dans l'Ösch et dans l'Önz en Haute-Argovie, où la moyenne des métabolites du chlorothalonil additionnés R417888 et R471811 s'élevait à respectivement 0,9 µg/l et 1,0 µg/l. Dans l'Aar près de Murgenthal, la moyenne de cette somme s'élevait à 0,17 µg/l. Cela correspond à une charge annuelle de plus d'une tonne quittant le canton de Berne avec l'Aar. À la sortie du lac de Biene, qui sert à l'utilisation de l'eau potable, la valeur maximale de 0,1 µg/l pour les métabolites pertinents pour R471811 prescrite dans l'ordonnance du Département fédéral de l'intérieur DFI sur l'eau potable et l'eau des installations de baignade et de douche accessibles au public est régulièrement dépassée. Des mesures supplémentaires ont montré que la plus grande part n'est pas entraînée par l'Aar, mais par les lacs de Morat et de Neuchâtel. De plus, les concentrations mesurées des deux métabolites du

EINLEITUNG

Chlorothalonil ist ein Wirkstoff, der in Pflanzenschutzmitteln in den 1970er-Jahren als Fungizid gegen Pilzbefall zugelassen und seither häufig und in grossen Mengen im gewerbsmässigen Getreide-, Gemüse-, Wein- und Zierpflanzenbau eingesetzt wurde. Da Chlorothalonil im Verdacht steht, krebserregend zu sein, hat das Bundesamt für Landwirtschaft (BLW) den Wirkstoff per Ende 2019 mit sofortiger Wirkung verboten. Die Herstellerfirma des Pestizids hat daraufhin gegen dieses Verbot Beschwerde eingereicht, das Verfahren ist derzeit beim Bundesverwaltungsgericht hängig.

Nach der Anwendung wird Chlorothalonil schnell in unterschiedliche Abbauprodukte umgewandelt (Metaboliten/Transformationsprodukte), darunter einige, die sehr langlebig und mobil sind [1] und ebenfalls im Verdacht stehen, gesundheitsschädlich zu sein [2]. Das Gewässer- und Bodenschutzlabor (GBL) des Amts für Wasser und Abfall (AWA) kann vor allem zwei dieser Metaboliten, die Chlorothalonil-Sulfonsäuren Typ R417888 und R471811, an vielen Grundwassermessstellen im Kanton Bern nachweisen. Dies vorwiegend in Gebieten, in denen Ackerbau betrieben wird [3]. Demzufolge sind viele Trinkwasserfassungen in landwirtschaftlich intensiv genutzten Gebieten

* Kontakt: claudia.minkowski@be.ch

von erhöhten Konzentrationen der Chlorothalonil-Metaboliten betroffen. Das GBL hat zudem in kleinen Oberflächengewässern sehr hohe Werte an Chlorothalonil-Metaboliten gemessen, z.T. im Bereich von 2-4 µg/l (R471811). Deshalb wurde 2020 neben der permanenten Grundwasseruntersuchung auch eine Messkampagne in mittelgrossen und grösseren Oberflächengewässern durchgeführt.

AUSGEWÄHLTE MESSSTELLEN

Der Fokus der Untersuchungen lag auf der Aare und ihren Hauptzuflüssen. Monatliche Stichproben wurden im Zeitraum von Februar bis Dezember 2020 in regional bedeutsamen Fliessgewässern genommen. Zusätzlich wurden die Ausläufe des Thunersees (Aare, Thun) des Bielersees (Aare, Biel) sowie des Neuenburgersee (Zihlkanal als Verbindung zum Bielersee) in die Messkampagne

mit einbezogen. Insgesamt wurden an 15 Standorten Wasserproben genommen (Fig. 1). Dadurch lässt sich ein grossflächiger Überblick über die Belastungssituation der Oberflächengewässer im Kanton Bern abschätzen. Es ist jedoch zu beachten, dass Stichproben bei organischen Spurenstoffen nicht geeignet sind, um die numerischen Anforderungen in der Gewässerschutzverordnung zu überprüfen. Dafür sind aufwendigere Probenahmestrategien erforderlich.

In einer zusätzlichen Messkampagne im März 2020 wurde der gesamte Seeverbund Bieler-, Neuenburger- und Murtensee, inklusive der Verbindungsgewässer, untersucht.

GEMESSENE PARAMETER

Die Messungen wurden mit einem hochauflösenden Massenspektrometer nach flüssig-chromatografischer Auftrennung (LC-HRMS) durchgeführt. Damit lassen

sich verschiedene Chlorothalonil-Metaboliten messen. Der Fokus in diesem Artikel liegt jedoch auf den beiden Chlorothalonil-Metaboliten R417888 und R471811. Seit dem Aufkommen der Diskussionen rund um Chlorothalonil haben landesweite Studien [4] sowie zahlreiche eigene Messungen im Kanton Bern gezeigt, dass diese Metaboliten weit verbreitet sind, verlässlich bestimmt werden können und zur Einschätzung der Belastungssituation ausreichen. Andere Metaboliten werden, verglichen mit den beiden oben genannten, selten oder nur in vernachlässigbaren Konzentrationen detektiert. Chemisch handelt es sich bei den Metaboliten R417888 und R471811 um zwei Sulfonsäuren, die im Boden schnell aus Chlorothalonil gebildet werden. Sie sind ausreichend mobil und stabil, um mit dem Regenwasser in die Grundwasserkörper zu gelangen und sich dort anzureichern. Die Metaboliten enthalten mit drei Cl-Atomen einen hohen Halogenanteil,

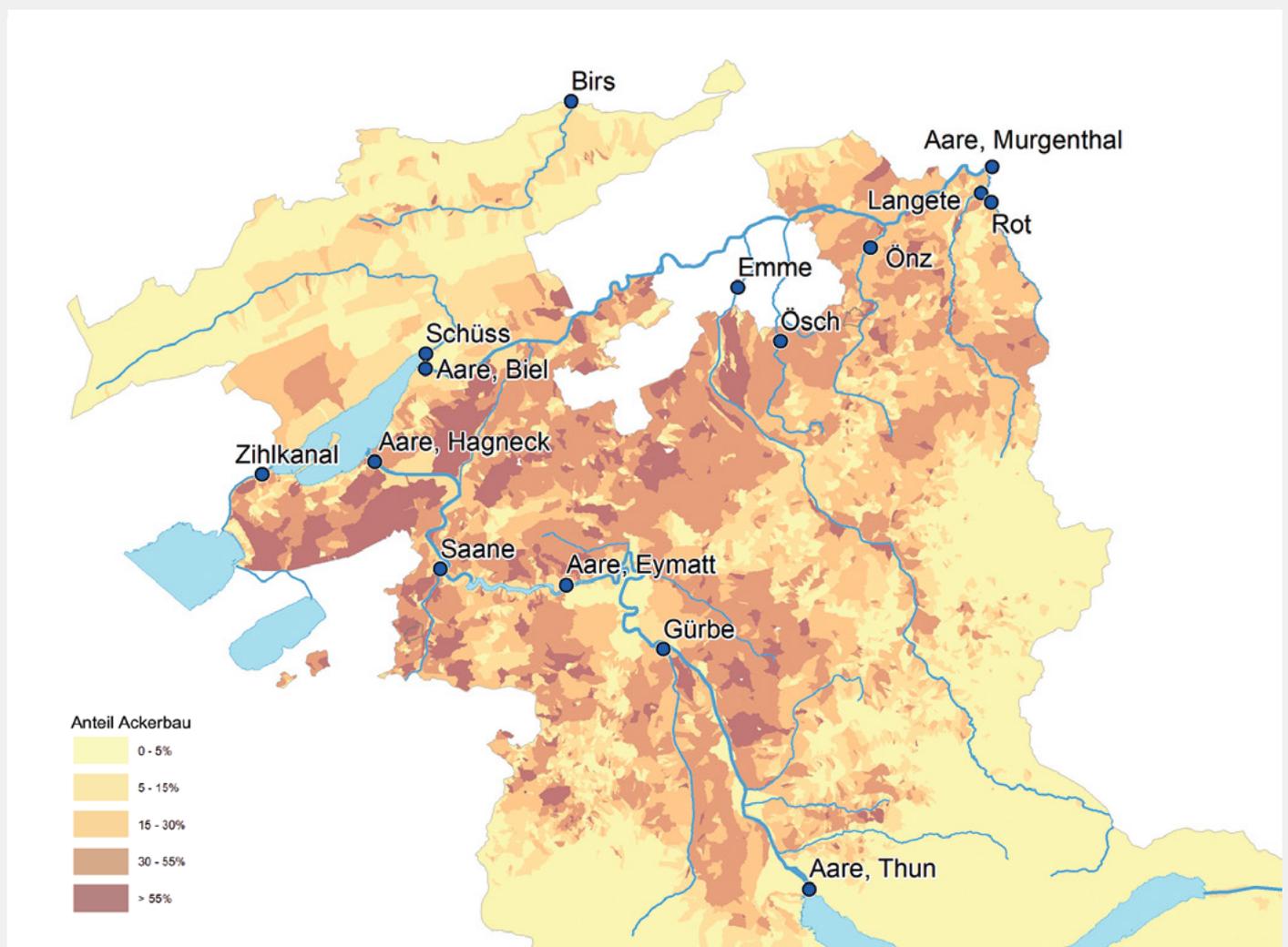


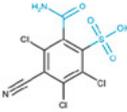
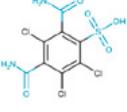
Fig. 1 Darstellung der untersuchten Oberflächengewässer und Probenahmestandorte im Kanton Bern, bei denen 2020 anhand monatlicher Stichproben die beiden Chlorothalonil-Metaboliten R417888 und R471811 gemessen wurden.

der zu einem langsameren natürlichen Abbau führt. *Tabelle 1* zeigt die chemische Struktur der beiden Substanzen sowie deren analytische Bestimmungsgrenze.

In der aquatischen Umwelt gemessene Substanzen werden durch das Ökotoxizentrum in Dübendorf ökotoxikologisch eingestuft. Dabei wird ihre Wirkung auf die Flora und Fauna in den Schweizer Gewässern beurteilt und Werte zum Schutz vor akuten und chronischen Auswirkungen – sogenannte Qualitätskriterien – abgeleitet [5]. Werden diese Qualitätskriterien überschritten, stellt die Substanz ein relevantes Risiko für die Organismen dar. Über die ökotoxikologischen Auswirkungen der Chlorothalonil-Metaboliten auf Organismen in Oberflächengewässern ist bisher allerdings wenig bekannt. Der Fokus liegt hauptsächlich beim Grund- und Trinkwasser, weshalb die Langlebigkeit und humantoxikologische Auswirkungen im Vordergrund stehen. Untersuchungen haben aber gezeigt, dass die Muttersubstanz Chlorothalonil bereits bei sehr tiefen Konzentrationen negative Auswirkungen auf die Gewässerorganismen hat [6]. Unterschiedliche taxonomische Gruppen wie Algen, Krebse, Insekten oder Fische weisen dabei eine ähnliche Sensitivität auf. Aus diesen Angaben lässt sich gemäss Auskunft des Ökotoxizentrums ein chronisches Qualitätskriterium von $0,035\mu\text{g/l}$ und ein akutes Qualitätskriterium von $0,36\mu\text{g/l}$ für Chlorothalonil ableiten. Die Metaboliten sind vermutlich wesentlich weniger toxisch, für R417888 liegt ein *Ad-hoc*-Wert für das chronische Qualitätskriterium von $>100\mu\text{g/l}$ vor, für R471811 gibt es aktuell keine Angaben.

RESULTATE

In *Figur 2* sind die in den monatlichen Stichproben von Februar bis Dezember 2020 gemessenen Konzentrationen der beiden Chlorothalonil-Metaboliten R417888 und R471811 als Boxplots dargestellt. Es zeigt sich, dass R471811 in den Oberflächengewässern – gleich wie im Grundwasser – stets in höheren Konzentrationen vorkommt als R417888. Das Verhältnis R471811 zu R417888 der gemittelten Werte ist dabei jedoch unterschiedlich, der Faktor variiert bei den meisten Messstellen zwischen fünf und zehn, kann aber auch höher sein. So ist die Konzentration von R471811 im Zihlkanal elfmal höher als die von R417888,

	Chlorothalonil-Sulfonsäure R417888
	Bestimmungsgrenze LC-HRMS = $0,01\mu\text{g/l}$
	Chlorothalonil-Sulfonsäure R471811
	Bestimmungsgrenze LC-HRMS = $0,05\mu\text{g/l}$

Tab. 1 Struktur der beiden Chlorothalonil-Sulfonsäuren R417888 und R471811 sowie deren Bestimmungsgrenze mittels LC-HRMS. Die blauen Molekülteile der Strukturformeln wurden während des Abbaus von Chlorothalonil chemisch verändert. Formeln gemäss [4].

in der Gürbe 13-mal höher und in der Rot sogar 17-mal höher. Die Konzentrationen beider Metaboliten liegen beim Auslauf des Thunersees noch unter den Bestimmungsgrenzen, nehmen

aber, der Aare-Fließrichtung folgend, stetig zu. Dabei sind vor allem die Zuflüsse für die Konzentrationszunahmen verantwortlich, wie Saane, Emme, Ösch oder Önz. Letztere beide sind die Gewässer, in

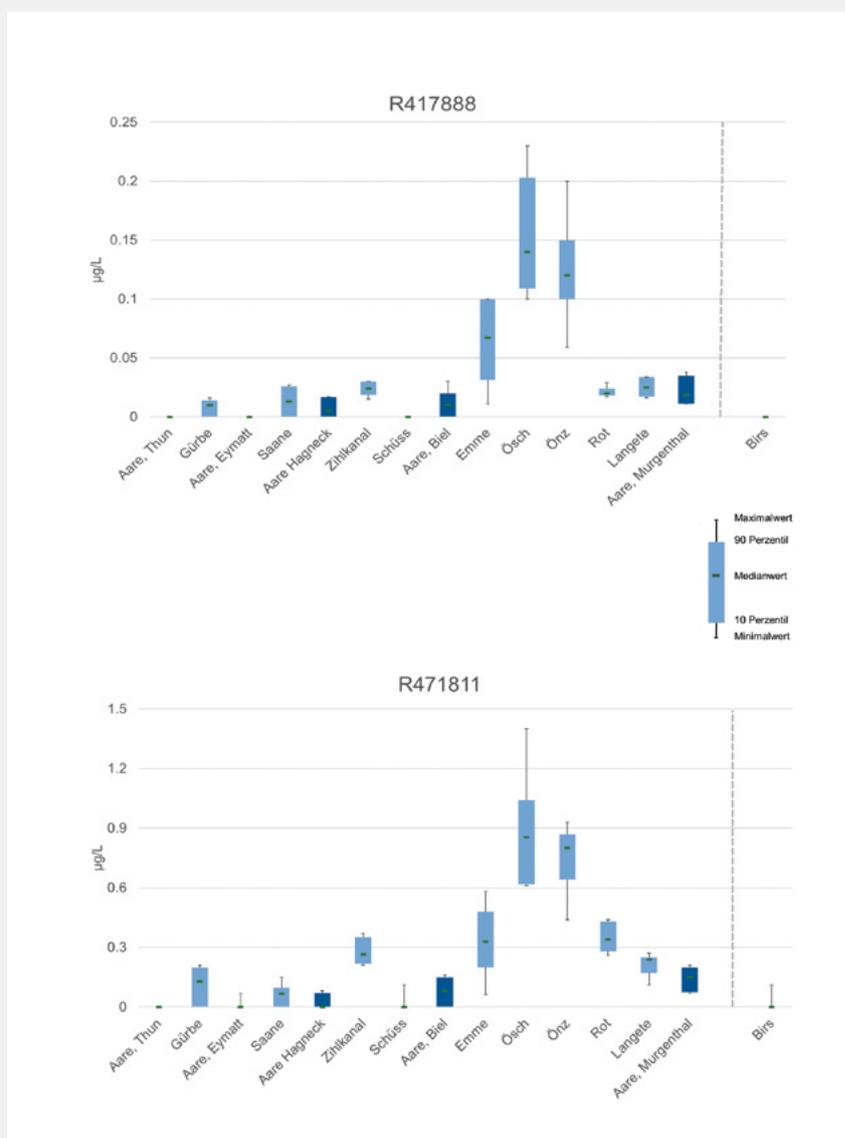


Fig. 2 Gemessene Konzentrationen der Chlorothalonil-Metaboliten R417888 (oben) und R471811 (unten). Die Messstellen wurden entlang der Fließrichtung der Aare angeordnet. Die fünf Aare-Messstellen sind in Dunkelblau dargestellt, die übrigen Gewässer in Hellblau. Die Konzentrationen auf den y-Achsen sind unterschiedlich skaliert.

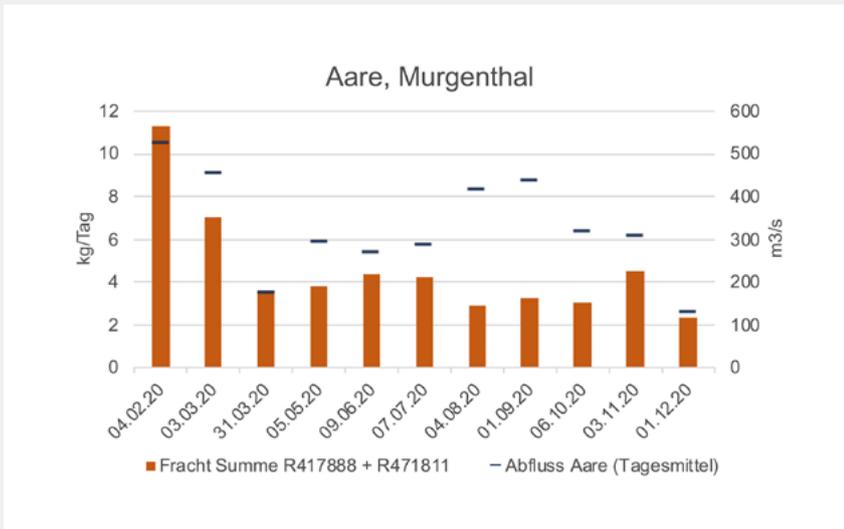


Fig. 3 Tagesfracht der Summe der Chlorothalonil-Metaboliten R417888 und R417811 in der Aare bei Murgenthal. Als blauer Balken dargestellt ist der Abfluss der Aare (Tagesmittel) zum Zeitpunkt der Probenahme.

denen die höchsten Konzentrationen an Metaboliten gemessen wurden. Die Birs und die Schüss im Berner Jura zeigen über den ganzen Beobachtungszeitraum sehr tiefe Konzentrationen. In der Aare bei Murgenthal an der Kantonsgrenze liegen die Konzentrationen (Median aus elf Messungen) für R417888 mit 0,067 µg/l und für R417811 mit 0,15 µg/l im deutlich messbaren Bereich. Anhand der monatlichen Stichproben sowie des jeweiligen Tagesabflusses lässt sich daraus in der Summe eine gemittelte Tagesfracht beider Metaboliten von rund 4,5 kg hochrechnen. Dies entspricht mehr als 100 kg

pro Monat oder gar über eine Tonne pro Jahr an Chlorothalonil-Metaboliten, die den Kanton Bern mit der Aare verlassen (Fig. 3).

In den ausgewählten Aare-Zuflüssen wurden in allen Stichproben von Februar bis Dezember 2020 jeweils verhältnismässig hohe Konzentrationen beider Metaboliten gemessen (Fig. 4). Dabei spielen zwei Faktoren eine entscheidende Rolle. Einerseits ist dies die landwirtschaftliche Nutzung im Einzugsgebiet. Je höher der Anteil an Ackerbau (Fig. 1), desto höher sind die möglichen Einträge der Chlorothalonil-Metaboliten. Diese gelangen durch Aus-

waschung der im Boden gespeicherten Chlorothalonil-Rückstände in die Gewässer. Andererseits hat die Gewässergrösse einen Einfluss auf die Konzentrationen. Je mehr Wasser geführt wird, desto besser können die Einträge verdünnt werden und umgekehrt. Achtet man bei den Messungen auf die Verhältnisse von R417888 und R417811, so bestätigt sich, wie bereits erwähnt, dass R417811 stets in den höheren Konzentrationen auftritt, das Verhältnis zu R417888 aber von Gewässer zu Gewässer leicht variiert. In der Emme, die durch stark landwirtschaftlich geprägte Gebiete strömt, aber im Unterlauf von Grundwasseraufstössen beeinflusst wird, ist der Anteil an R417888 am höchsten resp. der Verhältnissfaktor (R417811 zu R417888, gemittelt) mit fünf am kleinsten. Auch in der Ösch und der Önz ist der Anteil an R417888 eher hoch, hier liegt der Faktor zwischen sechs und sieben. In der Langete wurde ein Faktor von zehn berechnet und in der Gürbe und Rot sind die Anteile an R417888 am tiefsten mit Faktoren 13 resp. 17.

Im Gegensatz zum Grundwasser, das aufgrund seiner teilweise sehr langen Aufenthaltszeit im Untergrund gerne als träge bezeichnet wird, gelten Fließgewässer insbesondere hinsichtlich der diffusen Schadstoffeinträge aus der Landwirtschaft als dynamisch. Im Allgemeinen können während der Hauptapplikationszeit von Pflanzenschutzmitteln (April bis Juni) in Gewässern, welche im Ein-

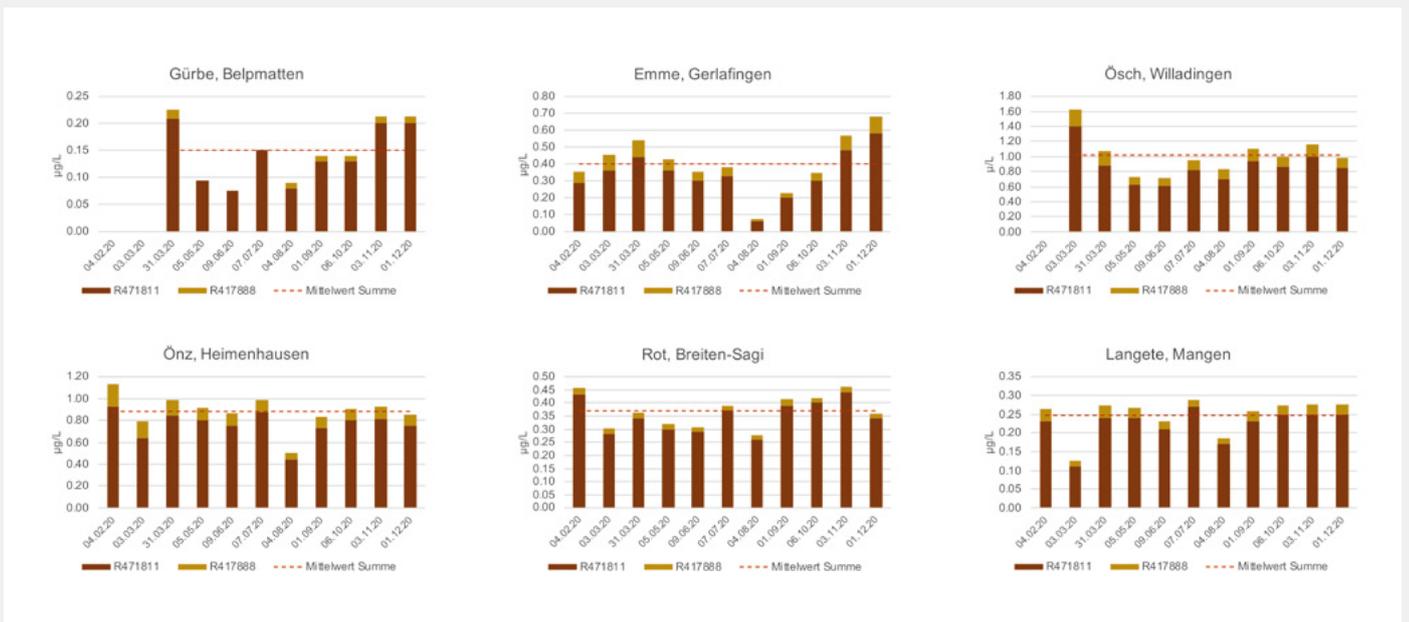


Fig. 4 Gemessene Konzentrationen der Chlorothalonil-Metaboliten R417888 (orange) und R417811 (dunkelrot) in den Aare-Zuflüssen. Dargestellt ist zudem der jeweilige Mittelwert der Konzentrationssumme beider Metaboliten über die gesamte Messperiode (gestrichelte Linie). In der Gürbe wurde die Probenahme erst Ende März, in der Ösch Anfang März gestartet. Unterschiedliche Skalierung der Konzentrationen auf den y-Achsen.

zugsgebiet einen hohen Anteil an Landwirtschaftlichen Nutzflächen aufweisen, kurzzeitig sehr hohe Konzentrationen gemessen werden. Im Herbst und Winter nehmen die Konzentrationen in der Regel wieder deutlich ab [7, 8]. Betrachtet man nun die einzelnen Stichproben der Chlorothalonil-Metaboliten (Fig. 4), so fällt auf, dass über den ganzen Beobachtungszeitraum in keinem der untersuchten Gewässer eine Abnahme der Konzentrationen ersichtlich ist. Dies obschon der Wirkstoff Chlorothalonil seit dem 1. Januar 2020 nicht mehr angewendet werden darf. Das deutet stark darauf hin, dass sich im Boden über die vielen Jahre, in denen der Wirkstoff angewendet werden durfte, beachtliche Depots gebildet haben, die nur langsam, doch kontinuierlich durch den Regen ausgewaschen und ins Grundwasser oder in die Oberflächengewässer eingetragen werden [9].

Ein besonderes Augenmerk wurde im Rahmen dieser Kampagne auch auf den Bielersee gerichtet, aus dem das Trinkwasser für die Versorgung der umliegenden Gemeinden gewonnen wird. Gemäss Verordnung des Eidgenössischen Departements des Innern (EDI) über Trinkwasser sowie Wasser in öffentlich zugänglichen Bädern und Duschanlagen (TBDV) gilt für Trinkwasser ein Höchstwert von $0,1 \mu\text{g/l}$ für relevante Metaboliten. Dieser Wert wurde für R471811¹ in den Stichproben der Aare beim Auslauf des Bielersees regelmässig überschritten (Fig. 5).

Die Konzentrationssummen liegen in der Aare beim Auslauf des Bielersees bei vollständiger Durchmischung während der kalten Jahreszeit zwischen $0,12$ und $0,2 \mu\text{g/l}$ (Fig. 5). In dieser Zeit weist die Aare bei Hagneck (Einfluss Bielersee) deutlich tiefere Konzentrationssummen im Bereich von $<0,05$ bis $0,08 \mu\text{g/l}$ auf, weshalb es weitere Eintragspfade der Metaboliten geben muss. Die Schüss aus dem Berner Jura, die ebenfalls in den Bielersee mündet, leistet weder einen signifikanten Beitrag zur Wassermenge noch zu den Konzentrationen. Hingegen wurden

¹ Im Frühjahr 2020 hat das Bundesamt für Lebensmittelsicherheit und Veterinärmedizin (BLV) alle Chlorothalonil-Metaboliten als relevant eingestuft. Aufgrund des hängigen Verfahrens gegen das Anwendungsverbot hat das Bundesverwaltungsgericht jedoch mittels Zwischenverfügung vier Metaboliten, darunter R417888 und R471811, wiederum als nicht relevant bezeichnet. Dies zumindest solange das Verfahren noch nicht abgeschlossen ist [10].

im Zihlkanal, dem Verbindungsgewässer des Neuenburgersees zum Bielersee, über den ganzen Beobachtungszeitraum Konzentrationssummen beider Metaboliten zwischen $0,2$ und $0,4 \mu\text{g/l}$ gemessen. Aus diesem Grund wurde in einer zusätzlichen Messkampagne im März 2020 der gesamte Seeverbund Bieler-, Neuenburger- und Murtensee untersucht. Dabei wurden auch die Verbindungsgewässer Broyekanal (Murtensee-Neuenburger-

see) sowie erneut der Zihlkanal (Neuenburgersee-Bielersee), der Aare-Zu- und -abfluss des Bielersees mit einbezogen.

Figur 6 zeigt, dass der Zihlkanal mit $0,29 \mu\text{g/l}$ eine knapp doppelt so hohe Konzentrationssumme aufwies wie der Bielersee mit $0,17 \mu\text{g/l}$ (0–20 m Mischprobe). Im Neuenburgersee ergab die Messung eine Konzentrationssumme von $0,24 \mu\text{g/l}$ (0–40 m Mischprobe). Im Murtensee wurde mit $0,38 \mu\text{g/l}$ (0–15 m Mischprobe) eine gar

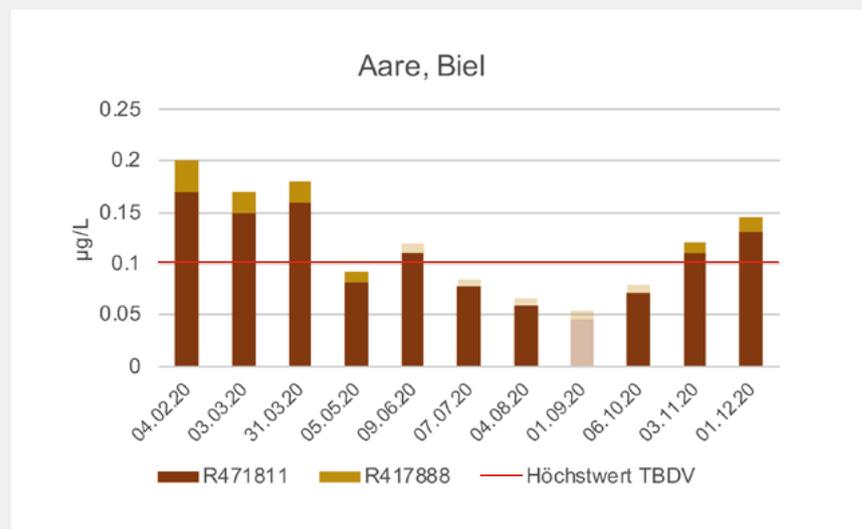


Fig. 5 Gemessene Konzentrationen der Chlorothalonil-Metaboliten R417888 (orange) und R471811 (dunkelrot) in der Aare beim Auslauf des Bielersees. Bei den transparent dargestellten Konzentrationen lagen die Werte knapp unter den festgesetzten Bestimmungsgrenzen gemäss Tab. 1, konnten jedoch trotzdem mit ausreichender Verlässlichkeit quantifiziert werden.

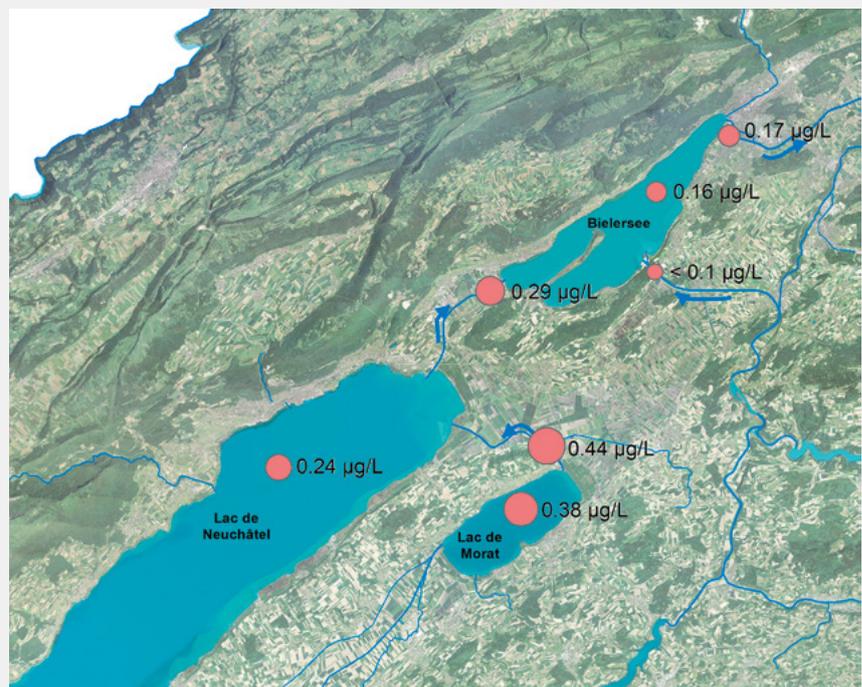


Fig. 6 Gemessene Konzentrationssummen (R417888 und R471811) im Seeverbund Bieler-, Neuenburger- und Murtensee der Stichproben vom März 2020. Die blauen Pfeile geben die Fliessrichtungen der Verbindungsgewässer an.

noch höhere Konzentrationsumme festgestellt, der Broyekanal lag bei 0,44 µg/l. Alle drei Seen waren zu diesem Zeitpunkt gemäss den Temperatur- und Sauerstoffprofilen noch vollständig durchmischt.

Daraus lässt sich schliessen, dass die Konzentrationen im Bielersee vorwiegend auf Eintragspfade unabhängig vom Aare-Einzugsgebiet zurückzuführen sind. Das flache Gebiet zwischen Murten- und Neuenburgersee sowie die südliche Uferregion des Neuenburgersees sind landwirtschaftlich stark geprägt. Die steilen Nordwestuferhänge des Bieler- und Neuenburgersees werden vom Rebbau dominiert, während in den Ebenen weiter nördlich vorwiegend Ackerbau betrieben wird. Aufgrund der grossflächigen Verteilung kann im Rahmen dieses Projektes nicht geklärt werden, welche Bewirtschaftungsform für die hohen Einträge verantwortlich ist.

Für den Bielersee bedeutet dies demzufolge, dass die Aare eher zu einer Verdünnung der hohen Konzentrationen beiträgt. In der kalten Jahreszeit ist der Anteil an Aarewasser im Auslauf des Bielersees verhältnismässig tief, in dieser Zeit werden auch höhere Konzentrationen an Chlorothalonil-Metaboliten gemessen. Hingegen steigt der Anteil an Aare-Wasser in den Sommermonaten, was zu einer Verdünnung und somit zu tieferen Konzentrationen im Auslauf des Bielersees führt (Fig. 5).

FAZIT UND AUSBLICK

Die Untersuchungen des GBL im Jahr 2020 haben gezeigt, dass Metaboliten des Fungizids Chlorothalonil auch in den Berner Oberflächengewässern nachgewiesen werden können. In Einzugsgebieten mit hohem Anteil an Ackerbau wurden in den Gewässern überwiegend Konzentrationen über 0,1 µg/l gemessen. Bei den untersuchten Gewässern führten mittelgrosse Bäche in landwirtschaftlich intensiv genutzten Gebieten, wie die Ösch oder die Önz, die höchsten Konzentrationen. Die Daten, welche 2020 über einen Zeitraum von elf Monaten erhoben wurden, zeigen dabei für keinen der Standorte eine rückläufige Tendenz, obwohl die Anwendung des Fungizids seit Jahresbeginn verboten war.

Auch in der Aare summieren sich über deren Verlauf hinweg unerwartet hohe Konzentrationen auf. Im Ausfluss des Bielersees, welcher der Trinkwassernutzung dient, wird der in der TBDV vorgeschriebene Höchstwert von 0,1 µg/l für relevante Metaboliten regelmässig vom Chlorothalonil-Metaboliten R471811 überschritten. Zudem konnte gezeigt werden, dass die Einträge in den Bielersee mehrheitlich aus den Gebieten des Murten- und Neuenburgersees stammen. Der Einfluss des Weinbaus an den Nordwestufern der Seen kann dabei nicht ausgeschlossen werden.

Chlorhaltige und dadurch langlebige Transformationsprodukte, wie beispielsweise die Metaboliten der Pestizide Chloridazon, Metolachlor, Metazachlor, Dichlobenil oder Atrazin, sind im Grundwasser bereits bekannt und weit verbreitet. Mit dem Fungizid Chlorothalonil kommen weitere langlebige Abbauprodukte hinzu. Die Problematik rund um diese Metaboliten wird uns den gezeigten Untersuchungen zufolge künftig aber nicht nur im Grundwasser beschäftigen. Das GBL wird daher die Situation im Grundwasser wie auch in den Oberflächengewässern weiterhin überwachen.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Kiefer, K. et al. (2019): Pflanzenschutzmittel-Metaboliten im Grundwasser, *Aqua & Gas* 11/19, p. 14–23
- [2] European Food Safety Authority EFSA (2018): Peer review of the pesticide risk assessment of the active substance chlorothalonil. *EFSA Journal*, Volume 16, Issue 1
- [3] Medienmitteilung des Kantons Bern vom 8. Juni 2020, Chlorothalonil-Metaboliten im Grundwasser: Belastungssituation im Kanton Bern. Verfügbar unter: https://www.be.ch/portal/de/index/mediencenter/medienmitteilungen/suche.assestref/dam/documents/portal/Medienmitteilungen/de/2020/06/2020-06-08-belastungssituation_chlorothalonil_de.pdf
- [4] Kiefer, K. et al. (2019): New Relevant Pesticide Transformation Products in Groundwater Detected Using Target and Suspect Screening for Agricultural and Urban Micropollutants with LC-HRMS. *Water Research*, Volume 165, 114972, pp. 11
- [5] Junghans, M. (2020): Qualitätskriterienvorschläge Oekotoxzentrum, Verfügbar unter: <https://www.oekotoxzentrum.ch/expertenservice/qualitaetskriterien/qualitaetskriterienvorschlaege-oekotoxzentrum/>

- [6] *Water Framework Directive (for consultation): Proposed EQS for Water Framework Directive Annex VIII substances: chlorothalonil*. Verfügbar unter: <https://www.wfdok.org/sites/default/files/Media/Chlorothalonil%20-%20UKTAG.pdf>
- [7] Ochsenbein, U. et al. (2015): Mikroverunreinigungen in Bernischen Gewässern. *Aqua & Gas*, 2/15, p. 56–66
- [8] Doppler, T. et al. (2017): Hohe Pflanzenschutzmittelbelastung in Schweizer Bächen, *Aqua & Gas* 4/17, p. 46–56
- [9] Niggli A. (2020): Verhalten von Chlorothalonil im Boden (Maturaarbeit, Gymnasium Oberaargau)
- [10] Bundesverwaltungsgericht (2021): Chlorothalonil: Zweite Zwischenverfügung. Verfügbar unter: <https://www.bvger.ch/bvger/de/home/medien/medienmitteilungen-2021/chlorothalonil2.html>

DANKSAGUNG

Wir bedanken uns herzlich bei *Reto Schaffner* (AWA) für die Probenahmen sowie bei *Christine Gauch* und *Daniel Schlüssel* (beide AWA) für die Messungen der Wasserproben mittels LC-HRMS. Ein grosses Dankeschön geht an *Jacques Ganguin* und *Kristina Rehberger* (beide AWA) für die wertvollen Kommentare beim kritischen Durchlesen des Manuskripts, an *Vinzenz Maurer* (AWA) für die fachliche Unterstützung, an *Marion Junghans* (Oekotoxzentrum) für die ökotoxikologische Einschätzung von Chlorothalonil und seinen Metaboliten wie auch an *Karin Kiefer* (Eawag) für zahlreiche Diskussionen rund um die Chlorothalonil-Analytik. Enfin, nous tenons à remercier nos collègues des cantons de Fribourg et de Neuchâtel pour la mise à disposition des échantillons d'eau et pour leur soutien lors de l'échantillonnage en mars 2020.

> SUITE DU RÉSUMÉ

chlorothalonil dans l'ensemble des échantillons analysés pendant toute la période d'observation ne sont pas en baisse. Et ce, bien que la substance active chlorothalonil soit interdite depuis le 1^{er} janvier 2020 et ne puisse plus être utilisée.