

Auswirkungen von antikoagulanten Rodentiziden auf die aquatische Umwelt

Julia Regnery¹ (regnery@bafg.de), Hannah Schmiege² (hannah.schmiege@lfu.bayern.de), Hannah Schrader² (hannah.schrader@lfu.bayern.de), Julia Schwaiger² (julia.schwaiger@lfu.bayern.de), Georg Reifferscheid¹ (reifferscheid@bafg.de), Anton Friesen³ (anton.friesen@uba.de)

¹ Referat Biochemie, Ökotoxikologie, Bundesanstalt für Gewässerkunde

² Referat 73 – Aquatische Toxikologie, Betrieb Wielenbach, Bayerisches Landesamt für Umwelt

³ Fachgebiet IV 1.2 – Biozide, Umweltbundesamt

Zusammenfassung

Der vielfache Nachweis von Rattengift in Fischen hat gezeigt, dass nicht nur terrestrische, sondern auch aquatische Nicht-zieltiere diesen problematischen Spurenstoffen ausgesetzt sind. Im Rahmen des hier vorgestellten Forschungsprojekts wurden unter anderem die Auswirkungen einer Exposition mit gerinnungshemmenden Rodentiziden der zweiten Generation auf die Gesundheit von Fischen anhand der Regenbogenforelle (*Oncorhynchus mykiss*) untersucht. Zudem fand ein umfangreiches Biotamonitoring (n = 330) statt. Die häufigen Nachweise der Wirkstoffe Brodifacoum, Difenacoum und Bromadiolon in geschützten Arten wie Fischotter (*Lutra lutra*) und Kormoran (*Phalacrocorax carbo*) belegen erstmals zweifelsfrei, dass sich antikoagulante Rodentizide der zweiten Generation über die aquatische Nahrungskette in fisch-fressenden Spitzenprädatoren anreichern.

Hintergrund

Nagetierbekämpfungsmittel (Rodentizide) unterliegen in der Europäischen Union (EU) einer Zulassungspflicht nach Biozidverordnung (EU) Nr. 528/2012, wenn sie zum Material-, Hygiene- oder Infektionsschutz eingesetzt werden. Die meisten zur Bekämpfung von Wanderratten (*Rattus norvegicus*) oder Hausmäusen (*Mus musculus*) in Siedlungsbereichen oder auf landwirtschaftlichen Betrieben eingesetzten Rodentizide enthalten blutgerinnungshemmende Wirkstoffe (Antikoagulantien). Bisher wurden acht antikoagulante Wirkstoffe gemäß Biozidverordnung bewertet und zur Verwendung in Rodentiziden in der EU genehmigt: Warfarin, Chlorophacinon und Coumatetralyl zählen zur ersten Generation von Antikoagulantien, Bromadiolon, Difenacoum, Brodifacoum, Difethialon und Flocoumafen zur wirksameren zweiten Generation. Die Wirkstoffgenehmigung von Warfarin ist am 30.06.2024 ohne eine beantragte Verlängerung ausgelaufen. Bei der obligatorischen Umweltrisikobewertung im Rahmen der Biozidzulassung wurden antikoagulante Rodentizide der zweiten Generation als persistent, bioakkumulierend und toxisch identifiziert. Zudem wurden hohe Vergiftungsrisiken für Nichtzieltiere durch die Verwendung dieser Biozidprodukte festgestellt. Ihre Genehmigung als Biozidwirkstoffe in der EU und die anschließende Zulassung als Biozidprodukte in Deutschland erfolgte unter strengen Auflagen aus Mangel an Alternativen zur wirksamen Bekämpfung von Schädigern [1]. Für Antikoagulantien gilt deswegen eine kürzere Genehmigungsfrist von sieben Jahren, in der sie neu bewertet werden müssen. Für die Produkte

erfolgt eine auf fünf Jahre beschränkte Zulassung. Dabei wird durch die zuständigen Behörden geprüft, ob die Produkte durch risikoärmere bzw. weniger umweltgefährliche Alternativen ersetzt werden können (vergleichende Bewertung) oder ob ihre Zulassung verlängert wird (Wiederzulassung). Neue wissenschaftliche Erkenntnisse (beispielsweise aus Forschungsprojekten), neue Bewertungsgrundlagen, sowie die Verfügbarkeit und Eignung technischer Innovationen zur Risikominderung fließen regelmäßig in die Gesamtabwägung für die Verlängerung einer Zulassung mit ein. Dies kann wiederum zu einer Anpassung bestehender Anwendungsbestimmungen und Risikominderungsmaßnahmen führen.

Zielsetzung des Forschungsvorhabens

Aufbauend auf den Ergebnissen eines vorangegangenen Forschungsvorhabens zur Erforschung der Ursachen für die weitreichende Belastung von Fischen mit antikoagulantem Rodentiziden (FKZ 3716 67 403 0) [2], wurde im hier dargestellten Forschungsprojekt untersucht, welche Auswirkungen die Einträge von antikoagulantem Rodentiziden auf die aquatische Umwelt haben (FKZ 3720 64 409 0; Juni 2020 – November 2023) [3]. Ein wichtiger Bestandteil war die Untersuchung der ökotoxikologischen Relevanz der nachgewiesenen Rodentizidrückstände in Fischen und anderen Tieren des aquatischen Nahrungsnetzes. Im Fokus der Forschung stand die Fragestellung, ab welcher Dosis antikoagulante Rodentizide der zweiten Generation auf Fische wirken und wie hoch die korrespondierende Rodentizidkonzentration in der Leber der Fische ist. Da die Belastung von wildlebenden Fischen durch die Messung von Rodentizidrückständen in ihrer Leber erfasst wird, ermöglicht die Aufklärung des Zusammenhangs zwischen den beobachteten Effekten und der korrespondierenden Leberkonzentration Rückschlüsse auf die Bedeutung vorhandener Umweltbelastungen auf die Fischgesundheit. Bisherige und zukünftige Monitoringdaten zu Rodentizidrückständen in Fischen können auf dieser Grundlage somit erstmals hinsichtlich ihrer Umweltrelevanz bewertet werden.



Abb. 1: Ökotoxikologische Versuchsanlage des Bayerischen Landesamt für Umwelt, Betrieb Wielenbach (Quelle: LfU)

Fütterungsstudien mit Regenbogenforellen

Zu diesem Zweck wurden am Bayerischen Landesamt für Umwelt drei tierexperimentelle Versuche mit Regenbogenforellen (*Oncorhynchus mykiss*) durchgeführt (Abbildung 1) [3, 4]. Es wurden jeweils eine Kontrollgruppe und sieben mit einem Rodentizid der zweiten Generation exponierte Versuchsgruppen betrachtet. Im ersten Versuch wurden die Fische in Einzelhaltung einmalig zu Versuchsbeginn mit Brodifacoum versetztem Futter gefüttert (zwischen 0,64 bis 10 000 µg/kg Körpergewicht; 10 Individuen je Versuchsgruppe) und über einen Zeitraum von 15 Tagen beobachtet. Bei dem zweiten Versuch mit einer Laufzeit von 60 Tagen bekamen die Forellen in Gruppenhaltung (22 Individuen je Becken; Duplikate) alle sieben bis acht Tage mit Brodifacoum versetztes Futter (zwischen 0,78 bis 50 µg/kg Körpergewicht). Im dritten Experiment wurden die Auswirkungen einer einmaligen Exposition mit Bromadiolon (zwischen 3,2 bis 50 000 µg/kg Körpergewicht) nach einem Beobachtungszeitraum von 30 Tagen untersucht (Gruppenhaltung mit 5 Individuen je Becken; Duplikate). Neben der Sterblichkeit wurden in den Versuchen von jedem Fisch die Rodentizidkonzentration in der Leber sowie im Blutserum, die Blutgerinnung und weitere Blutparameter bestimmt. Bei pathologisch veränderten Organen wurden exemplarisch histologische Untersuchungen durchgeführt.

Die Untersuchungen ergaben, dass eine Exposition der Fische gegenüber Brodifacoum und Bromadiolon zeitverzögert (ca. 12 - 15 Tage) zu einer Hemmung der Blutgerinnung führte, welche innere und äußere Blutungen und letztendlich ein Versterben der Fische verursachte. In den Versuchen mit dem Wirkstoff Brodifacoum wurden Effekte auf die Blutgerinnung ab einer Dosis von 75 µg/kg Körpergewicht beobachtet („lowest observed adverse effect level“ LOAEL). Die Leberkonzentration in Regenbogenforellen nach Erhalt einer Brodifacoumdosis von 75 µg/kg Körpergewicht betrug 0,084 – 0,178 mg Brodifacoum/kg Leber (Nassgewicht). Somit traten erste statistisch signifikante Effekte auf die Blutgerinnung im Mittel bei einer Leberkonzentration von 0,123 mg Brodifacoum/kg Leber (Nassgewicht) auf. Sterblichkeit wurde ab einer Brodifacoumdosis von 100 µg/kg Körpergewicht beobachtet. Die verstor-

benen Regenbogenforellen wiesen eine Leberkonzentration von 0,071 – 0,826 mg Brodifacoum/kg Leber (Nassgewicht) auf [4]. In der Umwelt wurde Brodifacoum in Wildfischen aus zwei Fließgewässern mit einer Konzentration von 0,068 und 0,096 mg/kg Leber (Nassgewicht) nachgewiesen [5]. An diesen Fließgewässern wurden laut öffentlicher Pressemitteilungen kurz vor den jeweiligen Beprobungen in angrenzenden Kommunen großräumige Rattenbekämpfungsmaßnahmen mittels ungeschützter Köderausrüstung am Draht in der Kanalisation durchgeführt.

Die einmalige Exposition der Versuchsfische mit Bromadiolon und einem anschließenden 30-tägigen Beobachtungszeitraum führte bei umweltrelevanten Konzentrationen nicht zu statistisch signifikanten Auswirkungen auf die untersuchten Endpunkte [3]. Dies kann mit einer schnelleren Verstoffwechslung (Metabolisierung) von Bromadiolon im Vergleich zu Brodifacoum und den unterschiedlichen Versuchsdurchführungen zusammenhängen. Im Gegensatz dazu verursachten hohe Bromadiolonkonzentrationen (LOAEL 10 000 µg Bromadiolon/kg Körpergewicht) bei einzelnen Regenbogenforellen teilweise tödliche (letale) Effekte auf das Gerinnungssystem. Die Ergebnisse einer in-vitro-Studie zum Metabolismus von Antikoagulanzen in Regenbogenforellen wiesen ebenfalls darauf hin, dass Bromadiolon im Gegensatz zu Brodifacoum weniger persistent ist [6]. Weitere Experimente zum Auftreten von Effekten bei einer chronischen Exposition (Mehrfachgabe von Bromadiolon) werden aufgrund der kumulativen Wirkweise von Antikoagulanzen als notwendig erachtet, um die Umweltauswirkungen von Bromadiolon auf Fische abschließend einordnen zu können.

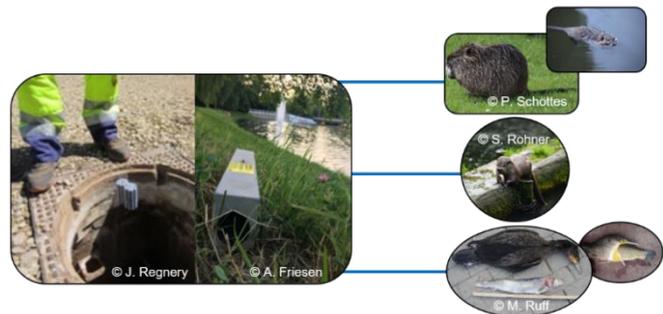


Abb. 2: Untersuchung von Rodentizidrückständen in Tieren des aquatischen Nahrungsnetzes zur Abschätzung ihres Expositionsrisikos gegenüber antikoagulanten Rodentiziden

Monitoring von Spitzenprädatoren

Des Weiteren beinhaltet das Forschungsprojekt die Untersuchung von Rodentizidrückständen in Tieren des aquatischen Nahrungsnetzes (Abbildung 2). Ziel war es, mit experimentellen Mitteln die Frage zu klären, ob die Anreicherung von Antikoagulanzen in fischfressenden Spitzenprädatoren über die aquatische Nahrungskette einen realen Expositionspfad darstellt. Zu diesem Zweck wurden zwei Biotamonitoring-Studien durchgeführt. In der ersten Studie wurden insgesamt 122 zwischen 2005 und 2021 in drei Regionen Deutschlands tot aufgefundene Individuen des Eurasischen Fischotters (*Lutra*

lutra) auf Rodentizidrückstände in der Leber untersucht [7]. Insgesamt enthielten 67% (82 von 122) der analysierten Fischotterleberproben mindestens einen Rodentizidwirkstoff oberhalb seiner jeweiligen Bestimmungsgrenze. Die bei mehreren Fischottern gemessenen erhöhten Gesamtkonzentrationen an Rodentizidrückständen in der Leber mit max. 0,92 mg/kg (Nassgewicht) deuteten auf eine Anreicherung von antikoagulanten Rodentiziden der zweiten Generation im aquatischen Nahrungsnetz hin (Biomagnifikation). Zudem waren Fischotter aus Regionen mit einem ausgeprägten Einsatz von Antikoagulantien bei Nagetierbekämpfungsmaßnahmen sehr viel häufiger mit antikoagulantem Rodentiziden belastet als solche aus weniger anthropogen beeinflussten Gebieten. Die gemessene Rodentizidbelastung in fünf Fischottern überstieg den für Wildtiere häufig genannten potenziell tödlichen Konzentrationsbereich von 0,1 bis 0,2 mg/kg Leber (Nassgewicht). Da Fischotter sich überwiegend von Fischen ernähren und eine Belastung von verschiedenen Fischarten mit Antikoagulantien der zweiten Generation bereits in verschiedenen Fließgewässern nachgewiesen wurde, ist vorrangig von einer Aufnahme der Stoffe über Beutefische und somit von einer Anreicherung über die aquatische Nahrungskette auszugehen. Jedoch kann die Nahrungszusammensetzung von Fischottern im Vergleich zu Spitzenprädatoren, die sich ausschließlich von Fisch ernähren, variieren. So konnte eine zusätzliche Exposition der Fischotter über den Fraß von mit Rodentiziden belasteten terrestrischen Arten (Singvögel, Kleinsäuger, Wirbellose) – sowie Amphibien und Krebsen – nicht ausgeschlossen werden. Im Rahmen des Projekts durchgeführte Laborversuche mit zwei in Deutschland vorkommenden Schabenarten (Deutsche Schabe *Blattella germanica*, Orientalische Schabe *Blatta orientalis*) stützen die Hypothese, dass Wirbellose zur diffusen Verteilung von Rodentiziden in der Umwelt beitragen können [8]. Daher wurden in einer zweiten Biotamonitoring-Studie Leberproben von 96 Kormoranen (*Phalacrocorax carbo*) und 29 Gänseägern (*Mergus merganser*) – zwei fischfressenden Raubvögeln – hinsichtlich einer Belastung mit Rodentiziden analysiert. Darüber hinaus wurden 41 Leberproben verschiedener Fischarten aus Binnengewässern sowie 42 Leberproben von Nutria (*Myocastor coypus*) auf Rodentizidrückstände untersucht [5]. Während keine durch aquatische Einträge verursachte Exposition der pflanzenfressenden Nutria feststellbar war, wurden bei knapp der Hälfte der 125 untersuchten Kormorane und Gänseäger Rückstände von antikoagulantem Rodentiziden in der Leber nachgewiesen (max. 0,035 mg/kg Leber [Nassgewicht]). Mit Brodifacoum, Difenacoum und Bromadiolon wurden fast ausschließlich Wirkstoffe der zweiten Generation in den Wasservögeln detektiert. Es ist somit davon auszugehen, dass die Exposition der beiden fischfressenden Wasservogelarten eindeutig durch die Aufnahme von mit Rodentiziden kontaminierten Wildfischen erfolgte. Diese Mutmaßung basiert auch auf den in den Fischen nachgewiesenen Rodentizidrückständen, die mit Befunden früherer Untersuchungen übereinstimmen.

Umfrage zur Praxis der Kanalbeköderung

Eine im Rahmen des Forschungsprojekts durchgeführte bundesweite Umfrage zu Einsatzmengen von Rodentiziden und der Art und Weise ihrer Verwendung bei der kommunalen Rattenbekämpfung in der Kanalisation in Deutschland bestätigte, dass sich die Praxis der kommunalen Rattenbekämpfung noch immer nicht grundlegend verändert hat [9]. 83% der 288 teilnehmenden Kommunen bekämpften im Jahr 2022 Ratten in der Kanalisation, überwiegend mit Formködern mit Antikoagulantien der zweiten Generation, die am Draht in Kanalschächte gehängt wurden. Der vermehrte Einsatz von Köderschutzstationen und die von ca. 70 % der rattenbekämpfenden Kommunen angegebene Durchführung einer vorherigen Befallserhebung – sowie einer abschließenden Erfolgskontrolle – wurden auf die verschärften, rechtsverbindlichen Anwendungsbestimmungen und Risikominderungsmaßnahmen für Rodentizide aus der Biozidproduktzulassung zurückgeführt. Insgesamt wurden bei den teilnehmenden Kommunen 23,5 t Köder bzw. 1,7 kg Wirkstoff zur Kanalbeköderung eingesetzt. Hochgerechnet auf das gesamte Bundesgebiet entsprach dies rund 148 t Köder bzw. 12 kg Wirkstoff und stellte eine Verringerung der Einsatzmengen gegenüber Daten aus den Jahren 2008 und 2017 dar.

Fazit

Zusammenfassend belegen die Ergebnisse sowohl eine weiträumige Exposition der aquatischen Umwelt mit antikoagulantem Rodentiziden, als auch die Anreicherung dieser Wirkstoffe entlang der aquatischen Nahrungskette. Davon zeugen erstmalig die häufigen Nachweise von antikoagulantem Rodentiziden in fischfressenden Spitzenprädatoren wie dem Fischotter (67% der 122 untersuchten Individuen), dem Kormoran (48% der 96 untersuchten Individuen) und dem Gänseäger (45% der 29 untersuchten Individuen) und nicht zuletzt die erneuten Nachweise in verschiedenen wildlebenden Fischarten (73% der 41 untersuchten Leberproben). Zudem konnte experimentell gezeigt werden, dass Brodifacoum bei umweltrelevanten Konzentrationen Effekte auf die Gesundheit von Regenbogenforellen hervorruft. In Gewässern mit hohem Abwasseranteil und wiederkehrenden Rodentizideinträgen ist daher mit negativen Auswirkungen durch Brodifacoum auf wildlebende Fische zu rechnen. Vor diesem Hintergrund gilt es weiterhin, alle verfügbaren und geeigneten Risikominderungsmaßnahmen zu ergreifen, um den Eintrag von antikoagulantem Rodentiziden in die Umwelt und speziell in Gewässer zu minimieren. Die bisher in Deutschland im Rahmen der Biozidproduktzulassung dazu veranlassten Risikominderungsmaßnahmen scheinen nicht auszureichen, um aquatische Nichtzieltierarten vor einer Exposition mit Rodentiziden zu schützen, unter anderem, weil sie nicht konsequent genug umgesetzt werden.

Literatur

- [1] Umweltbundesamt (2018) Nagetierbekämpfung mit Anti-koagulanzen – Antworten auf häufig gestellte Fragen, aktualisierte 4. Auflage.
<https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/antworten-auf-haeufig-gestellte-fragen-zu>
- [2] Regnery, J., Brinke, M., Schäfer, S., Reifferscheid, G. (2020) Erforschung der Ursachen für die nachgewiesene Gewässerbelastung mit Rodentiziden (PBT-Stoffe) und Erarbeitung von Risikominderungsmaßnahmen zum Schutz der aquatischen Umwelt. Abschlussbericht (FKZ 3716 67 403 0). Texte 145/2020.
<https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/erforschung-der-ursachen-fuer-die-nachgewiesene-gwaesserbelastung-mit-rodentiziden>
- [3] Regnery, J., Schmieg, H., Schrader, H., Schwaiger, J., Reifferscheid, G. (2025) Erforschung der Auswirkungen von antikoagulanten Rodentiziden auf die aquatische Umwelt im Vorfeld ihrer Wiedertzulassung als Biozid-wirkstoffe in 2024. Abschlussbericht (FKZ 3720 64 409 0). Texte 66/2025.
<https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/erforschung-der-auswirkungen-von-antikoagulanten-rodentiziden>
- [4] Schmieg, H., Ferling, H., Bucher, K. A., Jacob, S., Regnery, J., Schrader, H., Schwaiger, J., Friesen, A. (2025) Brodifacoum causes coagulopathy, hemorrhages, and mortality in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) at environmentally relevant hepatic residue concentrations. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 289, 117629.
<https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2024.117629>
- [5] Regnery, J., Schmieg, H., Schrader, H., Zinke, O., Gethöffer, F., Dahl, S. A., Schaffer, M., Bachtin, J., Möhlenkamp, C., Friesen, A. (2024) Rodenticide contamination of cormorants and mergansers feeding on wild fish. *Environmental Chemistry Letters*, 22, 2611-2617.
<https://doi.org/10.1007/s10311-024-01762-y>
- [6] Regnery, J., Riegraf, C., Jacob, S., Friesen, A. (2022) New in-sights on in vitro biotransformation of anticoagulant rodenticides in fish. *Chemosphere*, 294, 133727.
<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.133727>
- [7] Regnery, J., Rohner, S., Bachtin, J., Möhlenkamp, C., Zinke, O., Jacob, S., Wohlsein, P., Siebert, U., Reifferscheid, G., Friesen, A. (2024) First evidence of widespread anticoagulant rodenticide exposure of the Eurasian otter (*Lutra lutra*) in Germany. *Science of the Total Environment*, 907, 167938.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.167938>
- [8] Regnery, J., Snelinski, B., Bachtin, J., Möhlenkamp, C., Schmolz, E., Friesen, A. (2025) Indirect contamination of cockroaches by anticoagulant rodenticides. *Environmental Chemistry Letters*, 23, 759-764.
<https://doi.org/10.1007/s10311-025-01821-y>
- [9] Regnery, J., Weber, R., Friesen, A. (2024) Aktuelle Praxis der kommunalen Rattenbekämpfung in der Kanalisation – Ergebnisse einer bundesweiten Umfrage. *Korrespondenz Abwasser, Abfall*, 71(6), 457-464.
<https://doi.org/10.3242/kae2024.06.001>

Korrespondenzadressen

Dr. Julia Regnery
Referat Biochemie, Ökotoxikologie
Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG)
Am Mainzer Tor 1, 56068 Koblenz
Email: regnery@bafg.de

Anton Friesen
Fachgebiet IV1.2 - Biozide
Umweltbundesamt
Wörlitzer Platz 1, 06844 Dessau-Roßlau
Email: anton.friesen@uba.de