



DAS FEHLEN VON BACHFLOHKREBSSEN

IN-SITU-VERSUCHE IN DER WYNA IM KANTON AARGAU

Das gänzliche oder teilweise Fehlen von Bachflohkrebsen in Bächen des Kantons Aargau ist nicht selten. So kommen an 33% von 613 untersuchten Gewässerstellen keine oder höchstens vereinzelt Bachflohkrebs vor. Daher wurden in der Wyna und in verschiedenen Zuflüssen *In-situ*-Versuche mit Bachflohkrebsen (*Gammarus* sp.) durchgeführt mit dem Ziel, das Auftreten von akuter und chronischer Toxizität zu eruieren.

Sarah Fässler*, AquaPlus Elber Hürlimann Niederberger

Arno Stöckli, Departement Bau, Verkehr und Umwelt des Kantons Aargau, Abteilung für Umwelt

RÉSUMÉ

LA PÉNURIE DE GAMMARE

ESSAIS *IN SITU* DANS LA WYNA DANS LE CANTON D'ARGOVIE

Malgré un espace de vie adapté, l'on trouve de moins en moins, voire même des gammares morts dans le canton d'Argovie dans les cours d'eau de petite et moyenne taille. Parmi les 613 points analysés au cours des années 2006 à 2010, 11% des sites ne présentaient aucun gammarus et 22% des sites seulement quelques spécimens. Le phénomène s'est étendu sur les différents bassins versants du canton, mais est particulièrement marquant dans les régions très agricoles. Après des analyses ciblées, la cause de cette pénurie n'a toutefois pas pu être expliquée. Les pesticides (et notamment les insecticides) étaient toutefois à l'avant-plan des causes possibles. Dans la Wyna, qui selon des analyses de pesticides dans le canton d'Argovie présente le plus fort taux de pollution aux pesticides, avec ses différents affluents, une surveillance active (essais *in situ*) a été réalisée avec des gammares. Ces derniers ont été placés dans plusieurs sites dans des cages avec des couronnes de feuilles d'aulne comme nourriture et le nombre d'animaux morts (mortalité, effet léthal) ainsi que la défoliation (effet subléthal) ont été déterminés chaque semaine.

Au cours d'une première phase, le méthodisme des essais *in situ* a été testé sur six points du cours d'eau au début de l'été 2011 (mi-mai – début juin). Une deuxième phase a été réalisée au printemps 2012 (mi-mars – mi-mai) pendant la période de pulvérisation prin-

EINLEITUNG

Im Unterlauf der Wyna im Kanton Aargau wurden im Frühjahr 2003 im Rahmen von periodisch durchgeführten Bestandsaufnahmen der Wasserlebewesen massenhaft tote Bachflohkrebsse (*Gammarus* sp.) festgestellt. Das beobachtete Phänomen beschränkte sich auf Bachflohkrebsse. Insekten, wie Larven von Eintagsfliegen oder Steinfliegen, waren nicht betroffen (Box 1). Der damals naheliegende Verdacht, dass die Abwasserreinigungsanlage Mittleres Wynental die Ursache sei, konnte durch weitere Abklärungen nicht bestätigt werden. In den Jahren 2004 bis 2006 fanden im gesamten Einzugsgebiet der Wyna (Kantone Aargau und Luzern) Erhebungen zum Vorkommen von Bachflohkrebsen und der auf organische Belastung empfindlich reagierenden Insektengruppen Eintagsfliegen, Steinfliegen und Köcherfliegen (EPT) statt [1]. Im Oberlauf der Wyna und den Seitenbächen, die durch landwirtschaftlich genutztes Gebiet fliessen, fehlte *Gammarus* vollständig. In umliegenden Quellbächen im Wald waren sie jedoch häufig vertreten. Im Unterlauf der Wyna waren Bachflohkrebsse in mässiger Zahl vorhanden. In den Seitenbächen in diesem Abschnitt ist *Gammarus* gut vertreten, dadurch kann die Wyna nach Belastungsschüssen rasch wieder besiedelt werden. EPT-Taxa waren mit Ausnahme der Steinfliegen mit einer ansprechenden Artenvielfalt im gesam-

* Kontakt: sarah.faessler@aquaplus.ch

BACHFLOHKREBSE (GAMMARUS SP.)**Systematik und Verbreitung**

Bachflohkrebse (*Gammarus sp.*) sind Krustentiere und werden systematisch in die Ordnung der Amphipoda (Flohkrebse) eingeteilt. Sie gehören nicht zu den Insekten. Neben typischen morphologischen Unterschieden zu den Insekten weisen Bachflohkrebse auch ein anderes Reaktionsverhalten gegenüber Insektiziden, Herbiziden und weiteren Chemikalien auf. Nördlich der Alpen ist die Familie mit drei morphologisch unterscheidbaren Arten vertreten. Häufig und weit verbreitet sind in der Schweiz *Gammarus fossarum* (Bachflohkrebs) und *Gammarus pulex* (gemeiner Flohkrebs).

Lebensweise

Bachflohkrebse ernähren sich hauptsächlich von abgestorbenem Pflanzenmaterial (detritivor), fressen zum Teil aber auch andere Wasserwirbellose oder junge Artgenossen. Sie besetzen eine zentrale Stellung im Nahrungsnetz als Falllaubzersetzer und als Beute für Fische und andere Wasserwirbellose. Man findet sie ganzjährig in allen Entwicklungsstadien und Altersklassen im Gewässer. Bei guten Bedingungen können Bachflohkrebse massenhaft auftreten und dadurch hinsichtlich Biomasse und Individuenzahl die Artenzusammensetzung der Wasserwirbellosen-Lebensgemeinschaft dominieren.



Bachflohkrebs (*Gammarus sp.*), Länge ca. 1 cm
Gammare (*Gammarus sp.*), longueur env. 1 cm

Box 1

ten Einzugsgebiet vorhanden. Es gab jedoch Hinweise auf eine gewisse organische Belastung unterhalb der vier Abwasserreinigungsanlagen an der Wyna.

Aufgrund der gemachten Beobachtungen wurden diffuse Schadstoffquellen mit Schwerpunkt im Oberen Wynental vermutet. Der Verdacht fiel auf Pestizide, zumal Krebstiere wie *Gammarus* gegenüber deren toxischer Wirkung empfindlicher reagieren als Insektenlarven (Box 1).

Bereits in einer Übersichtsuntersuchung im Jahr 2000 zu Pestiziden in Aargauer Fließgewässern rangierte die Wyna unter den am stärksten belasteten Gewässern [2]. Im Rahmen von koordinierten Untersuchungen der grenzüberschreitenden Aargauer und Luzerner Gewässer 2002–2007 war die Wyna erneut

am stärksten mit Pestiziden belastet [3]. Auf der Liste nachgewiesener Stoffe fand sich aber kein Pestizid, das für das gefundene Schadensbild in der Wyna klar verantwortlich gemacht werden konnte.

VERBREITUNG VON GAMMARUS IM KANTON AARGAU

Parallel zu stofflichen Abklärungen fanden in den Jahren 2006 bis und mit 2010 im ganzen Kanton Aargau qualitative Erhebungen über das Vorkommen von Bachflohkrebsen in kleinen Fließgewässern mit geeigneten Lebensräumen statt. Die Aufnahmen wurden im Rahmen von Orientierungsuntersuchungen zu Gewässerbelastungen durchgeführt, um zu überprüfen, ob das im Wynental beobachtete Phänomen verbreitet auftritt. Insgesamt wurden 613 Stellen untersucht. An 67 Stellen (11%) fehlten die Bachflohkrebse ganz und an weiteren 165 Standorten (22%) traten höchstens vereinzelt Tiere auf (Fig. 1). An zwei Drittel der Stellen war *Gammarus* zahlreich oder sogar massenhaft vorhanden.

Gegliedert nach Regionen waren neben dem Wynental auch das Bünztal, Limmattal, Obere Fricktal, Reusstal und Surbtal überdurchschnittlich vom vollständigen Fehlen von *Gammarus* betroffen (mehr als 11% der Stellen ohne Tiere; Fig. 2). Seetal und Unteres Fricktal waren weniger stark betroffen (mehr als ein Drittel der Stellen mit keinen oder vereinzelt Bachflohkrebsen). Das Aaretal, das Mündungsgebiet von Aare und Rhein sowie das Wigger- und Suhretal zeigten hingegen an mehr als zwei Dritteln der Stellen ein zahlreiches oder massenhaftes Auftreten. Ein auffälliges Fehlen von *Gammarus* ist daher im Kanton Aargau verbreitet. Tendenziell sind Regionen mit viel Ackerbau stärker betroffen, wobei ein eindeutiger Zusammenhang mit der Nutzung im Einzugsgebiet nicht festgestellt werden konnte.

Der Kanton Aargau lancierte aufgrund dieser Beobachtungen 2010 eine Literaturstudie über den Rückgang oder das Fehlen von Bachflohkrebsen in Bächen [4]. Die Studie beinhaltete ökotoxikologische Daten aus Labortests zu der Empfindlichkeit von *Gammarus* gegenüber ausgewählten Schadstoffen (insbesondere Pestiziden), aufgeklärte Fallbeispiele mit akuter Vergiftung

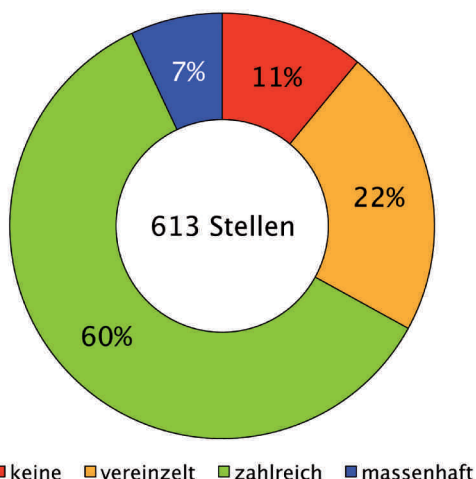


Fig. 1 Verbreitungshäufigkeit von Bachflohkrebsen im Kanton Aargau an 613 Stellen mit geeignetem Lebensraum. Untersuchungsperiode 2006 bis 2010

Fréquence d'apparition des gammarus dans le canton d'Argovie à 613 endroits avec un espace de vie adéquat. Période d'analyse 2006 à 2010

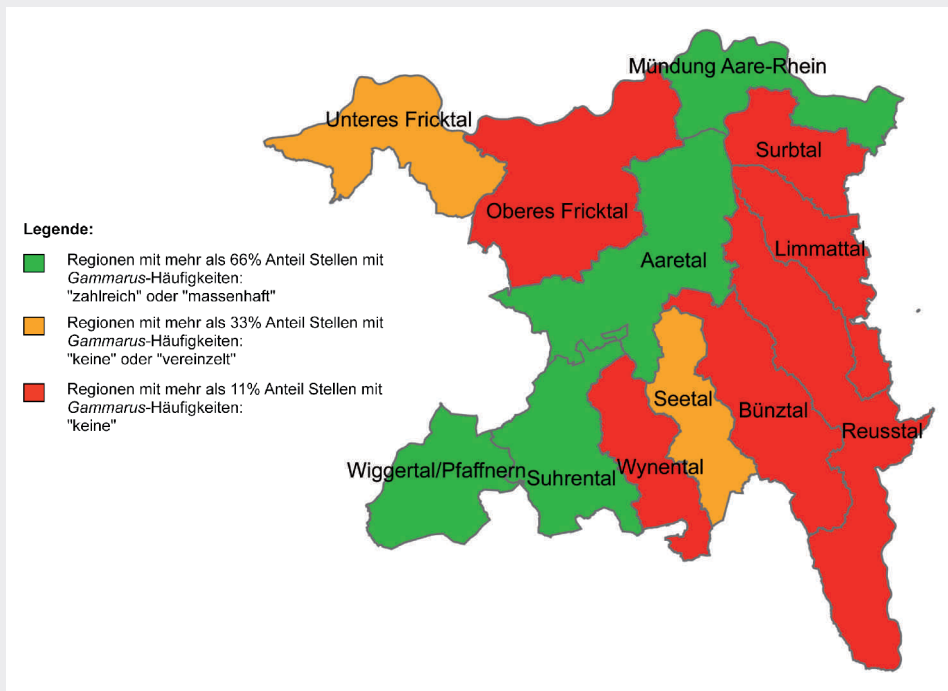


Fig. 2 Regionale Verbreitung der Bachflohkrebse im Kanton Aargau. Untersuchungsperiode 2006 bis 2010
Répartition régionale des gammares dans le canton d'Argovie. Période d'analyse 2006 à 2010

von *Gammarus* und eine Umfrage bei Forschungsgruppen und Kantonen zu deren Einschätzung der Problematik. Für das Fehlen von Bachflohkrebsen scheinen Pyrethroide – Insektizide mit neurotoxischer Wirkung –, von besonderer Relevanz zu sein, insbesondere Cypermethrin. Die Kantone Bern, Thurgau und Zürich befassten sich ebenfalls mit dem Fehlen von Bachflohkrebsen in ihren Gewässern [5].

Im Jahr 2010 wurden im Wynental die Untersuchungen zur Verbreitung von *Gammarus* und den EPT-Insektengruppen wiederholt [6]. Die Ergebnisse zeigten ein weitgehend unverändertes Verbreitungsmuster.

IN-SITU-VERSUCHE MIT GAMMARUS IM WYNENTAL

Da im Wynental trotz Abklärungen die Lokalisierung von Schadstoffquellen als Ursache für das Fehlen von *Gammarus* nicht möglich war, entstand die Idee, «aktives Monitoring» direkt im Gewässer (*in situ*) durchzuführen [7]. Bei *In-situ*-Versuchen werden Testorganismen in geeigneter Weise den Umwelteinflüssen im natürlichen Lebensraum ausgesetzt und ihre Reaktionen beobachtet (Box 2). In diesem Fall sollte *Gammarus* selbst als Testorganismus in Käfigen im Bach ausgesetzt werden, um mögliche Schädigungen der Tiere durch toxische Stoffe im Gewässer nachzuweisen. Bachflohkrebse

eignen sich aus mehreren Gründen als Testorganismen für *In-situ*-Versuche (Box 3) und werden in der Wissenschaft seit Längerem für diese Art der Untersuchungen verwendet [8, 9, 10].

Im Auftrag des Kantons Aargau führte AquaPlus 2011 und 2012 *In-situ*-Versuche mit *Gammarus* im Einzugsgebiet der Wyna durch [11, 12]. Das Ziel der Untersuchungen war einerseits, die Brauchbarkeit eines von der Wissenschaft vorgeschlagenen Testsystems in der Praxis zu prüfen, und andererseits zu testen, ob potenzielle Schadstoffe für Bachflohkrebse direkt im Gewässer nachweisbar sind. Das methodische Vorgehen wurde teilweise von früheren Arbeiten und Studentenkursen an der Eawag, Abteilung eco, übernommen und im Rahmen der Problemstellung weiterentwickelt.

Aus einer Vielzahl von möglichen Schädigungen auf *Gammarus* wurden die folgenden zwei Testfaktoren für die Versuche verwendet:

Mortalität

Absterben von Testtieren während deren Exposition im Gewässer (akute oder letale Toxizität).

Intensität des Blattfrasses

Zur Messung des Blattfrasses werden den Bachflohkrebsen in Käfigen Blättern als Nahrung zugegeben (subletale Toxizität).

Parallel zu den *In-situ*-Versuchen wurden Pestizidmessungen mit pegelproportional sammelnden Probenehmern durch das Labor der Abteilung für Umwelt, Aargau, durchgeführt (Passivsammler, Modell Kanton Thurgau). Den Messungen lag die Erwartung zugrunde, dass sich bei toxischen Reaktionen der Bachflohkrebse Pestizide mit mutmasslicher Wirkung auf die Testtiere identifizieren lassen. Im Rahmen dieses Fachartikels werden die Ergebnisse der durchgeführten Pestiziduntersuchungen wie auch die abiotischen Erhebungen (Hydrologie, Leitfähigkeit, Wassertemperatur) allerdings nur allgemein erläutert.

IN-SITU-VERSUCHE 2011

Von Mitte Mai bis Anfang Juni 2011 wurden über drei Wochen *In-situ*-Versuche an drei Standorten in der Wyna (Menziken, Zetzwil, Gränichen) und an drei Seitengewässern (Dorfbach Dürrenäsch, Dorfbach Gontenschwil, Rickenbach) durchgeführt. Die Versuchsstandorte wurden aufgrund der Untersuchungen zur Verbreitung von *Gammarus* und EPT-Insektengruppen im Wynental 2006 und 2010 ausgewählt [6] (Fig. 3). Die Evaluation der Methodik stand 2011 im Vordergrund.

Versuchstechnische Fragen

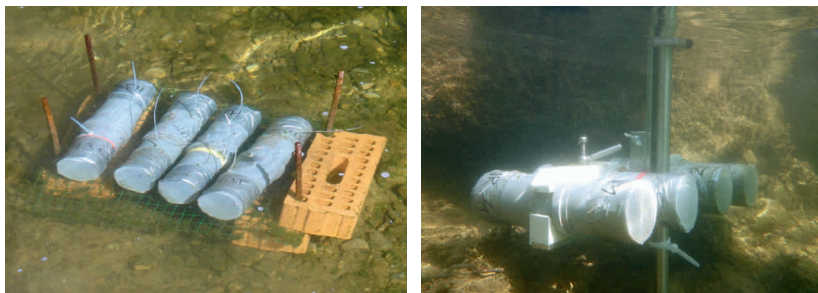
- Können mit der Methode signifikante (statistisch aussagekräftige) Unterschiede hinsichtlich Mortalität und Blattfrass zwischen den verschiedenen Untersuchungsstandorten festgestellt werden?
- Korreliert die Mortalität oder der Blattfrass mit den Verbreitungshäufigkeiten der Bachflohkrebse von 2006 und 2010?
- Reagiert eine Bachflohkrebs-Population an den Untersuchungsstandorten aus einem unbelasteten Bach gleich wie Tiere aus einem belasteten Bach (hinsichtlich Mortalität und Blattfrass)?

VERSUCHSAUFBAU 2011

Getestet wurde mit zwei unterschiedlichen Bachflohkrebs-Populationen aus dem Einzugsgebiet, eine aus einem chemisch und organisch belasteten Standort (Wyna bei Gränichen) und eine aus einem unbelasteten Standort (Lochbach bei Gränichen) (Fig. 3). Dadurch sollte überprüft werden, ob die beiden Populationen unterschiedlich auf mögliche toxische Belastungen hinsichtlich Mortalität und Blattfrass reagieren. In der Wyna-Population gehörten rund 60% der Tiere zu *Gammarus fossarum* und etwa 20% zu *Gammarus pulex*.

IN-SITU-VERSUCHE (FREILANDVERSUCHE)

Bei *In-situ*-Versuchen (Freilandversuchen) wird das Verhalten von Testorganismen direkt in der Umwelt untersucht. Ökotoxikologische Studien mit Wasserorganismen basieren mehrheitlich auf akuten und chronischen Tests unter standardisierten Laborbedingungen. Dabei werden vorwiegend Einzelsubstanzen, selten Stoffgemische, in meist höheren Konzentrationen getestet als sie tatsächlich im Gewässer auftreten. Viele Schadstoffe wirken jedoch nicht letal (tödlich), sondern subletal z.B. durch eine Verminderung des Frassverhaltens oder des Fortpflanzungserfolges. Der Vorteil von *In-situ*-Versuchen gegenüber Labortests ist, dass der natürliche Belastungszustand abgebildet wird und die Tiere den tatsächlich in der Umwelt vorgefundenen Schadstoffkonzentrationen ausgesetzt sind. Daten zu Auswirkungen von Schadstoffbelastungen direkt im Gewässer sind bis anhin kaum vorhanden. Der Nachteil von *In-situ*-Versuchen gegenüber standardisierten Labortests ist hingegen, dass zusätzliche Faktoren wie Temperatur, pH-Wert, Änderung der Fliessgeschwindigkeit etc. nicht ausgeschlossen werden können. Diese Faktoren können zum Teil die Testergebnisse beeinflussen.



Bilder der Hälterungen: links Typ 2011 und rechts Typ 2012

Images des supports: à gauche type 2011 et à droite type 2012

Box 2

WESHALB BACHFLOHKREBSE ALS TESTORGANISMEN GEEIGNET SIND

Bachflohkrebse (*Gammarus spp.*) werden aus verschiedenen Gründen als guter Testorganismus angesehen [4]:

- hohe Sensitivität gegenüber Pestiziden (vor allem Pyrethroide wie Cypermethrin, und Deltamethrin), Metallen (Kupfer) und anderen Schadstoffen (Ammonium, Pharmaka)
- wenig empfindlich auf organische Verschmutzungen
- Hemmung der Frassaktivität durch Stress
- weit verbreitet und einheimisch
- ganzjährig verfügbar in verschiedenen Altersklassen und Entwicklungsstadien
- hohe Nachkommenzahl und wiederholte Bruten (Eignung für Embryo/Larven-Tests in der Reproduktionsökotoxikologie, z. B. hormonaktive Stoffe)
- Labortoxizitätsdaten vorhanden
- robust und einfach handhabbar im Feld

Box 3

Die restlichen 20% konnten aufgrund ihrer geringen Grösse nicht klar bestimmt werden. In der Lochbach-Population kam fast nur *Gammarus fossarum* vor (95%).

Es wurden nur Bachflohkrebse mittlerer Grösse, keine schwangeren Weibchen und keine mit Kratzwürmern parasitierten Tiere verwendet (Auswahlkriterien).

An jeder Untersuchungsstelle wurden pro Testpopulation sechs Käfige installiert (Figuren in Box 2 und 4). Die Anzahl der Käfige ergab sich aus statistischen Gründen. In jedem Käfig wurden zehn Bachflohkrebse und vier konditionierte Erlenblattkreise (Nahrung) eingesetzt. Die Käfige wurden einmal pro Woche kontrolliert, die leben-

den Tiere gezählt und die toten Tiere entfernt. Gleichzeitig wurden die Erlenblätter ausgewechselt. Für die Berechnung der gefressenen Erlenblattfläche wurden die ausgestanzten Blattkreise vor dem Einsetzen in die Käfige und nach der einwöchigen Exposition jeweils eingescannt, und die Blattfläche mithilfe eines Grafikprogramms bestimmt. Die statistische Auswertung erfolgte in Zusammenarbeit mit der Eawag, Abteilung eco (Methodenbeschreibung in Box 4).

RESULTATE 2011

Das methodische Vorgehen, Nahrungsangebot, Käfige, Auswahl der Testtiere, wöchentliche Kontrolle und Auswertung haben sich während der dreiwöchigen Untersuchungen bewährt. In der zweiten und dritten Versuchswoche kam es zu Regenereignissen – die leicht erhöhten Abflüsse führten mit grosser Wahrscheinlichkeit zu landwirtschaftlichen Abschwemmungen in die Gewässer.

Letale Effekte (Mortalität)

Während der gesamten Expositionszeit konnte an keinem der sechs Standorte ein akut toxischer Effekt festgestellt werden, d. h. in keinem der Käfige starben alle zehn Tiere [11]. Im Rickenbach wurde die grösste Mortalität und in der Wyna bei Gränichen die tiefste Mortalität beobachtet. Der Untersuchungsstandort hatte aber einen Einfluss auf die Überlebenswahrscheinlichkeit eines einzelnen Tieres. Jedoch konnte kein statistisch aussagekräftiger (signifikanter) Unterschied in der Überlebensdauer der Testpopulation aus einem belasteten Standort (Wyna Gränichen) gegenüber einer Testpopulation aus einem unbelasteten Standort (Lochbach bei Gränichen) festgestellt werden. Somit reagierte die Testpopulation aus dem unbelasteten Standort nicht empfindlicher als die Testpopulation aus dem belasteten Standort. Aufgrund dieser Erkenntnis wurde 2012 darauf verzichtet, die Experimente mit zwei Populationen durchzuführen.

Subletaler Effekt (Blattfrass)

Die Auswertung des Blattfrasses führte zu statistisch signifikanten Testergebnissen. Es konnte gezeigt werden, dass für beide Testpopulationen der Standort massgebend für das Frassverhalten war. Über die gesamte Expositionszeit betrachtet wurde bei beiden Testpopulationen die geringste Frassrate im Rickenbach (5 bis 25 mm²/[Tier*Woche]) festgestellt und die grösste

im Dorfbach Dürrenäsch (60 bis 70 mm²/[Tier*Woche]). Ausser beim Standort Menziken korrelierte das Frassverhalten mit den vorgefundenen Verbreitungshäufigkeiten der Erhebungen zum Vorkommen von *Gammarus* 2006–2010 [6].

Pestiziduntersuchungen

Durch die Pestiziduntersuchungen 2011 konnte eine stärkere Pestizidbelastung der Wyna im Vergleich zu den Seitengewässern festgestellt werden. Die Messwerte der Pyrethroide, für die vermutet wurde, dass sie eine besondere Relevanz für das Fehlen von *Gammarus* haben, lagen

jedoch alle unterhalb der Nachweisgrenze von 0,05 µg/l. Neben der Schwierigkeit, diese Stoffe analytisch zu erfassen, fand die Pestizidapplikation möglicherweise schon im März/April statt.

Fazit Untersuchungen 2011

- Handhabung und Versuchsaufbau funktioniert im Feld
- letale Effekte: kein akut toxischer Effekt feststellbar
- subletale Effekte: Methode führt zu signifikanten Testergebnissen; der Untersuchungsstandort hatte einen Einfluss auf das Frassverhalten

- kein signifikanter Unterschied im Verhalten der Testpopulation aus dem belasteten Standort zur Testpopulation aus dem unbelasteten Standort
- Pestizidmessungen: die Pyrethroide lagen unterhalb der Nachweisgrenze

IN-SITU-VERSUCHE 2012

Nachdem die Untersuchungen von 2011 abgeschlossen waren, erhielt AquaPlus von der Pflanzenschutzfachstelle des Kantons Aargau die Information, dass das Pyrethroid Cypermethrin im Wynental vorwiegend bei Raps vor der Blüte gegen Rapsglanzkäfer eingesetzt wird. Aufgrund der Kulturen im Wynental – wenig Obstpflanzungen und Gemüsebau – konnte davon ausgegangen werden, dass wenig weitere Insektizide eingesetzt werden. Anhand der gewonnenen Erkenntnisse von 2011 wurde die Folgeuntersuchung 2012 auf die Hauptapplikationszeit der Raps-Pflanzenschutzmittel von Mitte März bis Mitte Mai (Frühjahr) gelegt. Die neunwöchigen Versuche wurden mit Fruchtuntersuchungen zu Pestiziden des Labors der Abteilung für Umwelt kombiniert. Daher wurden Standorte mit hydrometrischen Messungen gewählt: Wyna Reinach für Belastung aus dem Kanton Luzern, Wyna Suhr für Belastung aus dem gesamten Wynental und Lochbach bei Gränichen als Referenzstelle (Fig. 3).

VERSUCHSAUFBAU 2012

Der Versuchsaufbau entsprach demjenigen von 2011, mit der Ausnahme, dass nur eine Testpopulation (Lochbach, unbelastet) verwendet wurde und dass die Testpopulation jeweils nach drei Wochen ausgewechselt wurde. Mit dem Entschluss, nur eine Testpopulation zu verwenden, konnte der Aufwand deutlich reduziert werden, weil pro Standort nur die Hälfte der Anzahl Käfige exponiert und betreut werden musste. Zusätzlich kamen verbesserte Halterungen der Abteilung für Umwelt für die Testkäfige zum Einsatz, die eine grössere Distanz der Käfige vom Sediment erlaubten, wodurch verhindert wurde, dass sich Schlammdepots nach Regenereignissen um die Käfige bildeten (Figur in Box 2).

RESULTATE 2012

Letale Effekte (Mortalität)

Während der gesamten Expositionszeit konnte wie bereits im Vorjahr an keinem

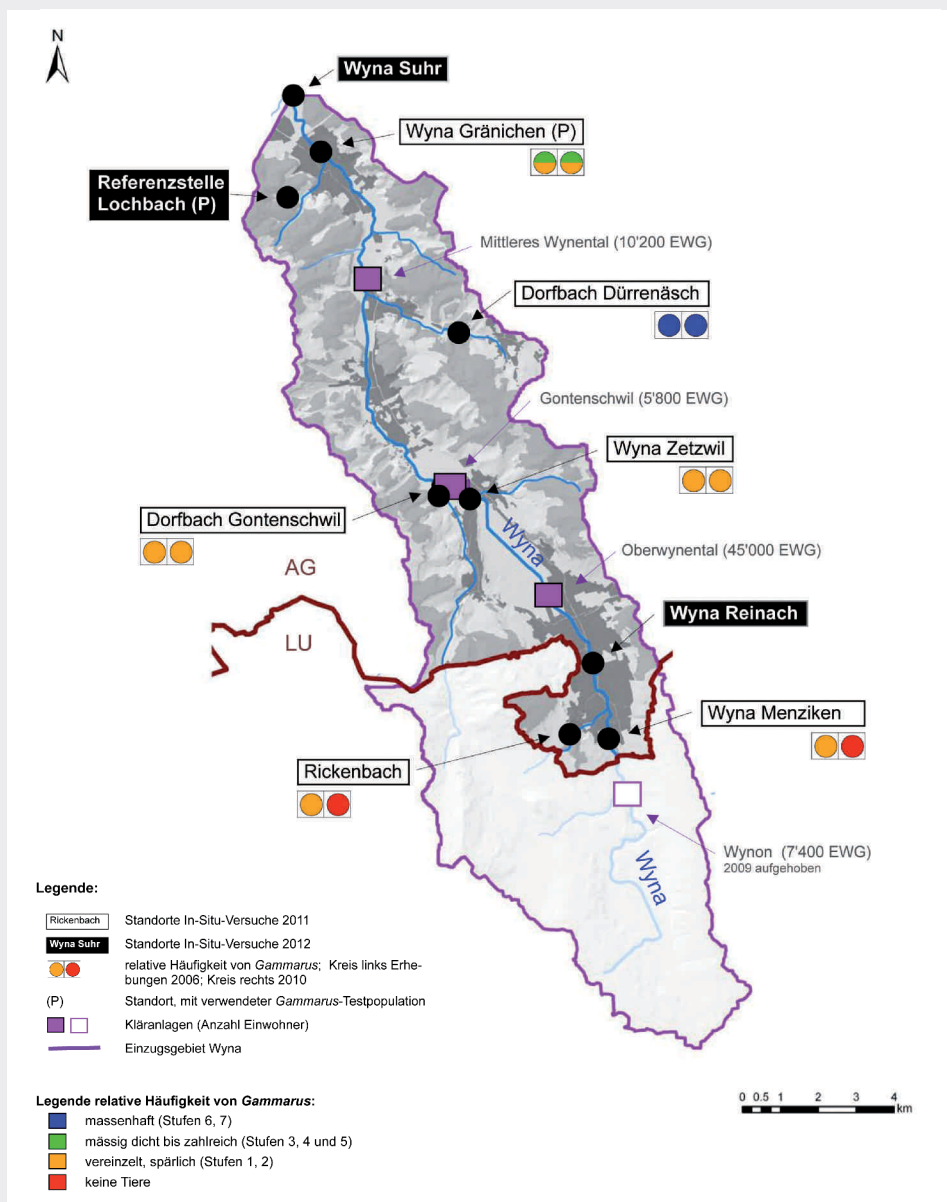


Fig. 3 Einzugsgebiet der Wyna mit den Standorten der In-situ-Versuche 2011 und 2012. Zusätzlich sind die relativen Häufigkeiten von *Gammarus* aus den Erhebungen 2006 und 2010 eingezeichnet [6]. Einteilung der relativen Häufigkeiten angepasst gemäss Fig. 2

Bassin versant de la Wyna avec les sites des essais in situ 2011 et 2012. Les fréquences relatives de présence des gammarus issues des analyses menées de 2006 à 2010 sont également visibles [6]. Répartition des fréquences relatives corrigée selon fig. 2

der Standorte ein Totalausfall sämtlicher exponierter Tiere durch Pestizideinträge oder anderweitige Belastungen an den Untersuchungsstandorten festgestellt werden (kein akut toxischer Effekt sichtbar) [12]. An den Wyna-Standorten starben pro Woche maximal 13 Bachflohkrebse (22%) von ursprünglich 60 ausgesetzten Tieren (Suhr, siebte Woche) (Fig. 4). Am Lochbach waren es höchstens 14 Tiere in einer Woche (achte Woche). Anhand der durchgeführten statistischen Analysen konnte kein Unterschied in der Überlebenswahrscheinlichkeit der Bachflohkrebse an den drei Untersuchungs-

standorten festgestellt werden. Das heisst, die Chance eines einzelnen Tieres, den Versuch zu überleben, war unabhängig vom Standort. Ebenfalls war kein Unterschied in der Überlebenswahrscheinlichkeit der drei Testgruppen an den drei Untersuchungsstellen nachweisbar. Somit konnte gezeigt werden, dass nicht ein vermeintlich letaler Effekt aufgrund des Auswechselns der Testgruppe in der statistischen Analyse verursacht wurde.

Subletale Effekte (Blattfrass)

Betrachtet man die gesamte Expositionszeit von neun Wochen, so verhielten sich

die Bachflohkrebse der beiden Wyna-Standorte Reinach und Suhr betreffend Frassverhalten gleich. Zwischen den einzelnen Wochen wurde jedoch ein signifikanter Unterschied in der Frassaktivität der Stelle Reinach gegenüber Suhr festgestellt (1., 4. und 9. Woche; Fig. 5). Die Referenzstelle im Lochbach bei Gränichen wies weit höhere Frassraten auf als die beiden Wyna-Standorte. Der prozentuale Frass der Bachflohkrebse in der Wyna bei Reinach betrug lediglich 6–30% und bei Suhr 11–22% der Referenzstelle Lochbach (bezogen auf die Wochenmittelwerte).

METHODE UND AUSWERTUNG

Testorganismen

- *Gammarus pulex* und
- *Gammarus fossarum*

Untersuchte Effekte

- Mortalität (letale Effekte)
- Hemmung der Frassaktivität (subletale Effekte)

Auswahlkriterien der Testorganismen

- angepasste Population aus dem Einzugsgebiet
- Tiere mittlerer Grösse, keine schwangeren Weibchen
- keine mit Kratzwürmern (*Acanthocephala*) parasitierten Tiere
- Sammeln der Testpopulation und direktes Aussetzen am gleichen Tag

Aufbau *In-situ*-Käfige

- Trinkwasserrohre, in der Mitte zusammengeschoben; an beiden Enden Netz mit Maschenweite 1 mm (Box 2) (abgeändert nach Baumgartner [17] und Westram et al. [18])

Vorbereitung Blattkreise (Frassaktivität)

- Sammeln trockener Erlenblätter (*Alnus glutinosa*) aus dem Vorjahr
- ca. 1 Stunde lang wässern und dann Kreise ausstanzen
- Konditionierung (organischer Aufwuchs): Blattkreise zwei Wochen in Bachwasser des Referenzgewässers einlegen

Versuchsaufbau im Bach

- je Käfig: 10 Testorganismen und 4 konditionierte Blattkreise

- 6 Käfige pro Untersuchungsstelle und Population
- Positionierung der Käfige mit Netzöffnung in 45-Grad-Winkel zur Strömung (Schutz vor Hauptströmung)
- Unterhalt (2-mal pro Woche): Reinigung der Netzöffnungen mit einem Schwamm
- Kontrolle (wöchentlich): Zählen lebender und Entfernen toter Tiere, Ersetzen Erlenblattkreise, Messung der Leitfähigkeit sowie der Wassertemperatur
- Auswechseln der Testpopulation nach drei Wochen

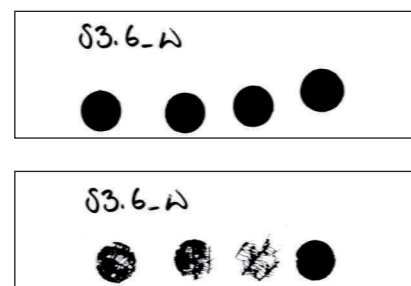
Überprüfung der letalen Effekte (Mortalität)

Verwendete Statistik:

- Cox-Regression: prüft mögliche Unterschiede im Überleben der Testtiere an den verschiedenen Stellen über die gesamte Expositionszeit
- Kaplan-Meier-Analyse: prüft mögliche Unterschiede im Überleben der drei Testgruppen

Überprüfung und Bestimmung der subletalen Effekte (Frassaktivität)

- Vergleich Blattfläche vor und nach der Exposition
- Messung der verbleibenden Blattfläche nach Exposition (Scannen und grafische Auswertung mit der Open Source Software ImageJ)
- Statistische Auswertungen der wöchentlichen Blattflächenverluste
- Auswertungen basierend auf dem normierten Blattfrass [$\text{mm}^2/(\text{Tier} \cdot \text{Woche})$]. Die Summe der total gefressenen Blattfläche (absolut) konnte nicht verwendet werden. Grund: Wenn innerhalb der Expositionszeit pro Käfig ein Teil der Tiere starb, sank die Anzahl Bachflohkrebse, die an den Blattkreisen frass.
- Verwendete Statistik: Varianzanalyse mit Messwiederholungen (*repeated-measures ANOVA*) mit In-Transformation der Daten



Links: Geöffneter Käfig; rechts oben: eingescannte Erlenblätter vor dem Aussetzen;

rechts unten: eingescannte Erlenblätter nach einer Woche Frass

À gauche: cage ouverte; en haut à droite: feuilles d'aulne numérisées avant mise en place; en bas à droite: feuilles d'aulne numérisées après une semaine de défoliation

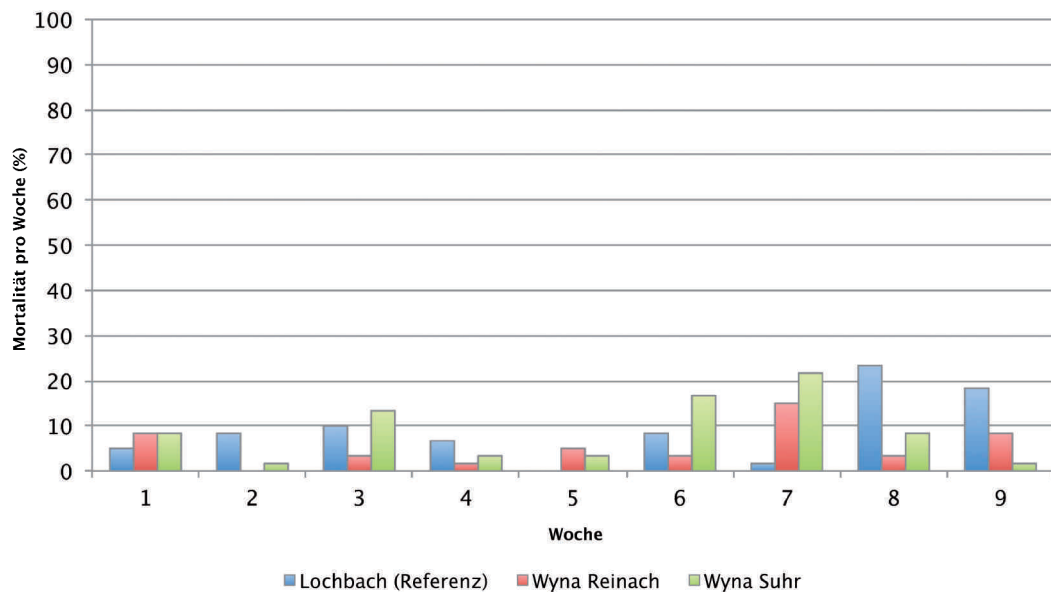


Fig. 4 Mortalität respektive Anzahl tote Tiere pro Woche in der Wyna bei Reinach und Suhr sowie an der Referenzstelle Lochbach (100 % = 60 Tiere, In-situ-Versuche vom Frühjahr 2012, Dauer 9 Wochen). Auswechseln der Testpopulationen jeweils nach drei Wochen

Mortalité ou nombre d'animaux morts par semaine dans la Wyna près de Reinach et Suhr, ainsi que sur le site de référence Lochbach (100% = 60 animaux, essais in situ au printemps 2012, durée 9 semaines). Remplacement des populations d'essai respectivement après trois semaines

An der Referenzstelle Lochbach lagen die Mittelwerte des Frasses zwischen 35–87 mm²/(Tier*Woche). Dabei bezieht sich der Mittelwert des Frasses auf die sechs Käfige pro Standort. Gemittelt über alle neun Wochen hinweg betrug der Frass am Lochbach 58 mm²/(Tier*Woche). In Reinach wurden über die gesamte Expositionszeit Mittelwerte zwischen 2–26 mm² / (Tier*Woche) festgestellt, mit einem Mittelwert über neun Wochen von 12 mm²/(Tier*Woche). Die Mittelwerte in Suhr lagen zwischen 4–19 mm²/(Tier*Woche) und der Mittelwert über neun Wochen betrug 11 mm²/(Tier *Woche).

Speziell erwähnenswert ist ein stark verminderter Frass in den Wochen 4, 5 und 8 in der Wyna bei Reinach sowie in den Wochen 5, 8 und 9 in der Wyna bei Suhr. In diesen Wochen fanden erhöhte Abflüsse in der Wyna aufgrund von Regenereignissen statt, sodass davon ausgegangen wird kann, dass landwirtschaftliche Abschwemmungen zur beobachteten Verminderung der Frassaktivität führten. Die Überprüfung dieser Annahme steht jedoch noch aus und kann erst erfolgen, sobald die chemischen Analysen verfügbar sind.

Pestiziduntersuchungen

Die Untersuchung der Pestizidfrachten an den beiden Stellen in der Wyna ergab erhebliche Belastungen mit Herbiziden,

nicht jedoch mit Insektiziden, ausser geringe Konzentrationen von Diazinon.

Fazit Untersuchungen 2012

- letale Effekte: kein akut toxischer Effekt feststellbar
- subletale Effekte: beide Wynastandorte zeigten signifikant geringere Frassraten als das Referenzgewässer Lochbach
- Diazinon als potenziell toxisches Insektizid Anfang April in geringen Konzentrationen nachgewiesen.

KATEGORISIERUNG DES BLATTFRASSES

In Figur 6 ist der relative Blattfrass in einer fünfstufigen Kategorisierung dargestellt. Die Einteilung wurde anhand aller Untersuchungsergebnisse 2011 und 2012 vorgenommen und soll als Einordnungshilfe für die Bewertung dienen. Theoretisch stand pro Tier und Woche eine Blattfläche von 190–200 mm² zur Verfügung. Ein Bachflohkrebs frass pro Woche höchstens 180 mm² eines Erlenblattes. Im Durchschnitt lag der Blattfrass in den Referenzbächen bei 60–70 mm²/(Tier*Woche). Ein Blattfrass von weniger als 20 mm²/(Tier*Woche) wurde als «verdächtig wenig» eingestuft. Inwieweit diese Frassbereiche übertragbar sind auf andere Einzugsgebiete, kann beim aktuellen Wissensstand noch nicht abgeschätzt werden.

NATÜRLICHE EINFLUSSFAKTOREN

In-situ-Versuche bilden das Geschehen unter möglichst natürlichen, aber standardisierten Bedingungen ab. Sogenannte intrinsische und extrinsische Faktoren können das Frassverhalten von Bachflohkrebsen beeinflussen [8, 13]. Es gilt, diese Faktoren auszuschliessen oder mindestens so stark zu minimieren, dass sie keinen Einfluss auf die Resultate haben.

Intrinsische Faktoren sind Testorganismen-spezifische Faktoren, wie Parasitenbefall, Entwicklungsstadien, Herkunft der Population, Artenzusammensetzung und Körpergrösse. Sie wurden durch die Auswahlkriterien (Box 4) berücksichtigt. Das Sammeln, Auslesen, Transportieren der Tiere sowie die Hälterung in einem begrenzten Raum mit eingeschränktem Nahrungsangebot kann für die Tiere Stress bedeuten. Da jedoch alle Testtiere gleich behandelt und gehalten wurden, kann man davon ausgehen, dass dieser Stress vernachlässigbar ist.

Die extrinsischen Faktoren, also abiotische Faktoren, wie z.B. pH-Wert, Wassertemperatur oder die Leitfähigkeit, schwankten nicht wesentlich oder stiegen der Saisonalität entsprechend an. Während der Expositionszeit 2012 schwankte die Wassertemperatur an den Stellen Wyna Reinach zwischen 4,5 °C und 15,5 °C und bei Wyna Suhr zwischen 5,5 °C und 17,5 °C. Ein Vergleich der

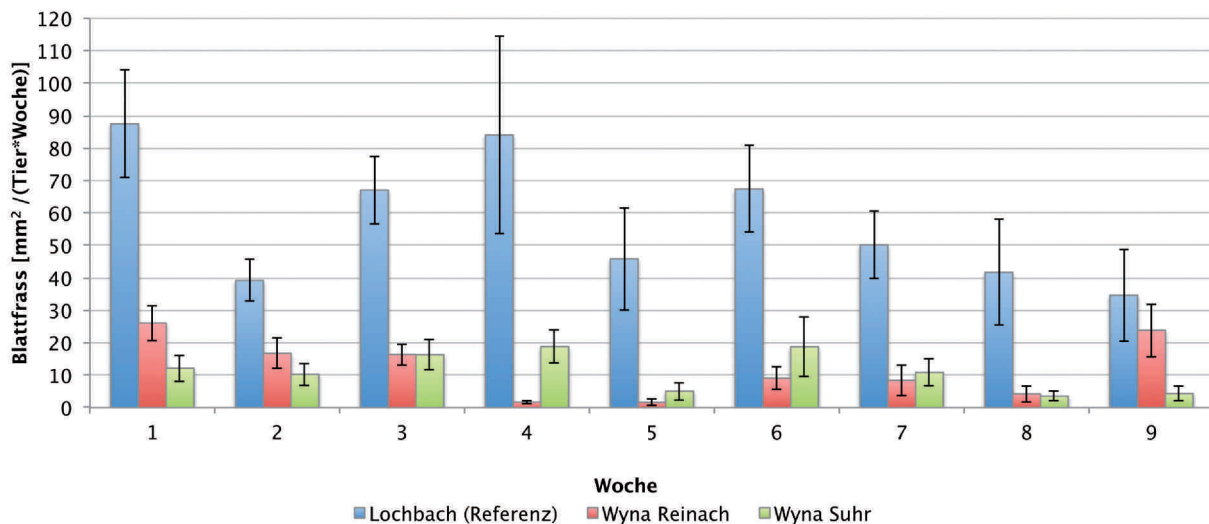


Fig. 5 Mittelwerte des Blattfrasses [$\text{mm}^2/(\text{Tier} \cdot \text{Woche})$] in den einzelnen Untersuchungswochen 2012 mit Standardfehlern

(senkrechter Strich). Untersuchungsstandorte: Referenzstelle Lochbach, Wyna bei Reinach und Wyna bei Suhr.

Mittelwerte gebildet über den Blattfrass von sechs Käfigen. Anhand der Standardfehler kann bereits visuell eine Aussage über mögliche signifikante Unterschiede beim Blattfrass gemacht werden. Überlappen sich die Fehlerbalken zweier Mittelwerte nicht, dann ist das Resultat signifikant unterschiedlich (z. B. 1. Woche Standort Lochbach gegenüber den Standorten Reinach und Suhr)

Valeurs moyennes de défoliation [$\text{mm}^2/(\text{animal} \cdot \text{semaine})$] au cours des différentes semaines d'analyse en 2012 avec erreur standard intégrée

(trait vertical). Sites d'analyse: lieu de référence Lochbach, Wyna près de Reinach et Wyna près de Suhr.

Valeurs moyennes calculées en fonction de la défoliation dans six cages. Une erreur standard permet une déclaration visuelle des différences significatives possibles lors de la défoliation. Si les barres d'erreur de deux valeurs moyennes ne se chevauchent pas, le résultat est significativement différent (p. ex. première semaine site de Lochbach par rapport aux sites Reinach et Suhr)

Wassertemperaturkurve mit der Frassaktivität zeigte keine positive Korrelation zwischen höherer Temperatur und grösserer Frassmenge [12]. Ebenfalls variierte die Leitfähigkeit in den Versuchen 2012 nur geringfügig (Reinach 501–586 $\mu\text{S}/\text{cm}$; Suhr 571–678 $\mu\text{S}/\text{cm}$). Zwischen der Leitfähigkeit und der Frassaktivität konnte auch keine Korrelation festgestellt werden.

Zusätzlich wurde getestet, ob ein Zusammenhang zwischen dem Abfluss und der Frassaktivität feststellbar ist. Für diesen Vergleich wurde der normierte maximale Abfluss berechnet (Verhältnis des maximalen Wochenabflusses [m^3/s] zum jährlichen Abflussmedian Q_{182}). Daraus wurde ersichtlich, dass ein geringer Blattfrass nicht zwingend mit der Höhe des Abflusses korrelierte. Bei Abflüssen von > 4 -mal Q_{182} in Reinach und > 4 -mal Q_{182} in Suhr ist jedoch immer ein geringer Frass von ca. $\leq 10 \text{ mm}^2/(\text{Tier} \cdot \text{Woche})$ festgestellt worden. In einer Studie konnte gezeigt werden, dass unter Laborbedingungen hydraulischer Stress und Sedimentstress die Drift von *Gammarus pulex* nur geringfügig beeinflusste. Insektizide lösten hingegen konzentrationsabhängig eine erhöhte Driftrate der Bachflohkrebse aus [14].

MÖGLICHER EINFLUSS VON PESTIZIDEN

Pyrethroide (Cypermethrin, Deltamethrin, Lambda-Cyhalothrin, Etofenprox, Bifenthrin, Alpha-Cypermethrin) konnten weder 2011 noch 2012 nachgewiesen werden (Nachweisgrenze 0,05 $\mu\text{g}/\text{l}$). Pyrethroide wirken bereits im tiefen Nanogramm-pro-Liter-Bereich toxisch. Bekannt ist zudem, dass sie stark an Partikel adsorbieren und so möglicherweise der üblichen Analyse entgehen. An der Eawag wird zurzeit im Rahmen einer Dissertation versucht, das Problem der Analyse von Pyrethroiden zu lösen (Christoph Moschet, Abteilung Umweltchemie). Zur Probenahme werden Kunststoffbahnen aus Silikon während dreier Wochen im Gewässer exponiert, die unpolare Stoffe, wie Pyrethroide, adsorbieren können. Bereits während der *Gammarus*-Tests in Reinach wurden solche Silikonbahnen eingesetzt. Aufgrund methodischer Schwierigkeiten konnten diese jedoch noch nicht analysiert werden. Während der *In-situ*-Versuche wurden in beiden Jahren vor allem Herbizide analytisch nachgewiesen, insbesondere Glyphosate, Isoproturon, Metolachlor oder Asulam. Obwohl diese zum Teil in Kon-

zentrationen von $> 1 \mu\text{g}/\text{l}$ vorlagen und damit die Anforderungen an die Wasserqualität nach GSchV (SR 814.201), Anhang 2, massiv überschritten, wird von Herbiziden a priori keine toxische Wirkung auf Wassertiere erwartet.

Etwas weniger klar ist die Situation bei Fungiziden. Ein indirekter Einfluss auf den Blattfrass ist nicht auszuschliessen, und zwar durch die Beeinflussung des Pilzbewuchses der Blätter. Blattzersetzende Pilze haben einen grossen Einfluss auf die Nahrungsqualität der Blätter [15]. Fungizide wurden aber nur vereinzelt in sehr geringen Konzentrationen nachgewiesen.

Unter den Insektiziden wurde Diazinon wiederholt in zwar geringen, aber möglicherweise doch toxischen Konzentrationen gemessen. 2011 wurde Diazinon in der Wyna in Zetzwil und in Gränichen in allen Proben festgestellt mit 0,04–0,06 $\mu\text{g}/\text{l}$. An den übrigen Stellen wurde Diazinon nur in einzelnen Proben in deutlich geringeren Konzentrationen oder gar nicht nachgewiesen. 2012 trat Diazinon in den Sammelproben vom 26. März bis 16. April mit 0,02 $\mu\text{g}/\text{l}$ in der Wyna bei Reinach und mit 0,05 $\mu\text{g}/\text{l}$ in der Wyna bei Suhr auf. In Suhr blieb Diazinon in den beiden weiteren Sam-

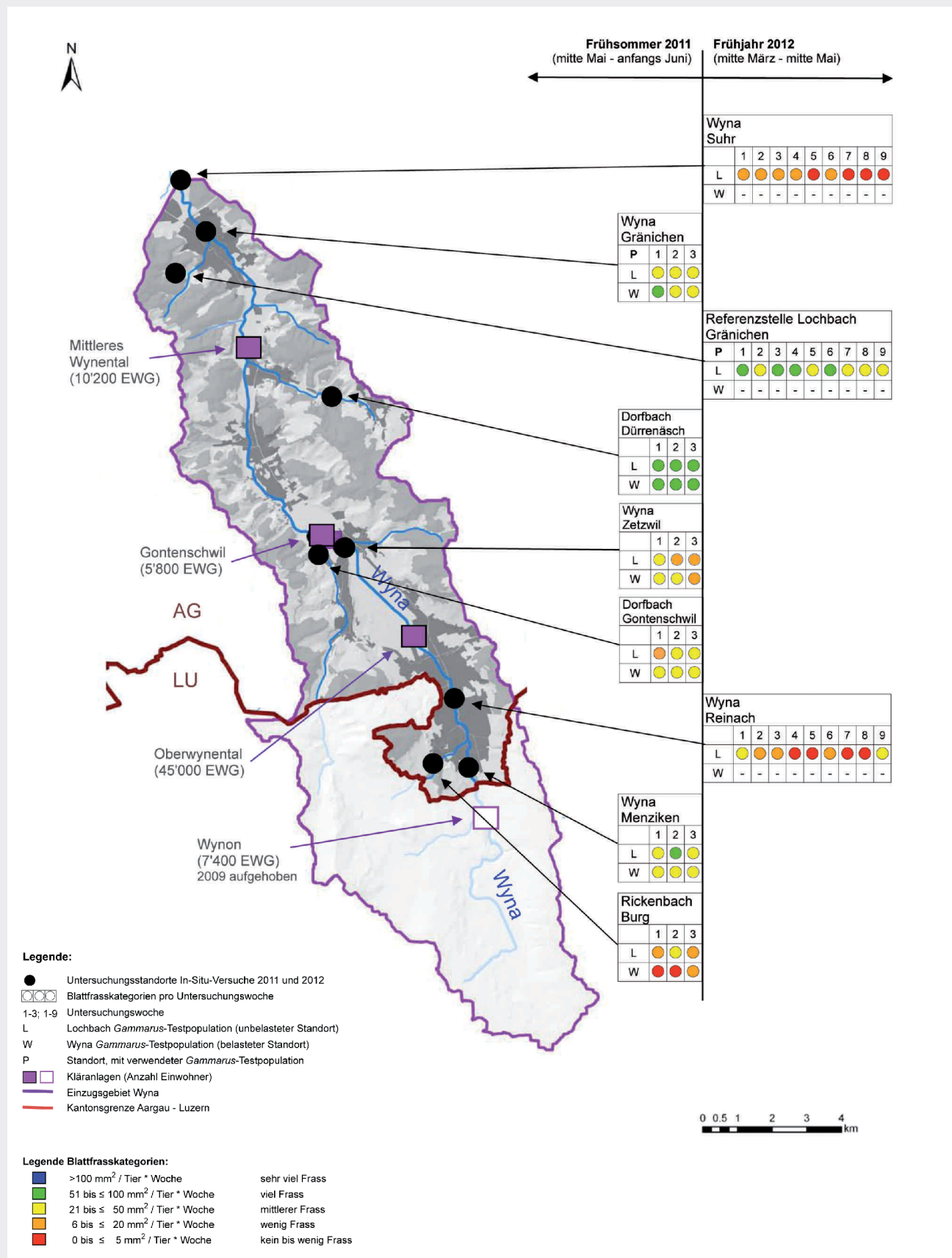


Fig. 6 Kategorisierung des Blattfrasses [mm²/(Tier*Woche)] anhand der In-situ-Untersuchungen Frühsommer 2011 und Frühjahr 2012 in der Wyna und deren Zuflüssen. Verwendete Bachflohkrebs-Populationen: 2011 aus Lochbach bei Gränichen (unbelasteter Standort) und aus Wyna bei Gränichen (belasteter Standort); 2012 aus Lochbach bei Gränichen (unbelasteter Standort)

Catégorisation de la défoliation [mm²/(animal*semaine)] à l'aide des analyses in situ au début de l'été 2011 et au printemps 2012 dans la Wyna et ses affluents. Populations de gammares utilisées: 2011 de la Lochbach de Graenichen (site non menacé) et de la Wyna près de Gränichen (site menacé); 2012 de Lochbach près de Gränichen (site non menacé)

melproben bis Ende Mai mit 0,03 µg/l erhöht. In allen übrigen Sammelproben lag Diazinon im Bereich der Nachweisgrenze von 0,003 µg/l oder darunter. Insgesamt ergab sich dennoch kein klarer Zusammenhang zwischen Diazinon und einer reduzierten Frassaktivität von *Gammarus*.

SCHLUSSFOLGERUNGEN FÜR DIE PRAXIS

Die *In-situ*-Versuche mit Bachflohkrebsen geben ein einigermaßen konsistentes Bild mit der unterschiedlichen Häufigkeit der Tiere an den verschiedenen Gewässerstellen. Dort, wo Bachflohkrebsen selten sind oder gar fehlen, konnte man meist eine unterdurchschnittliche Frassaktivität feststellen. Dies kann als Hinweis auf eine toxische Wirkung von Stoffen im Wasser gewertet werden, auch wenn während der Tests keine akute Toxizität nachweisbar war. Im Dorfbach Dürrenäsch und im Lochbach, wo Bachflohkrebsen häufig vorkommen, waren die Frassaktivitäten am höchsten.

Deutlich wurde ebenso, dass für toxische Wirkungen auf *Gammarus* das Frühjahr kritischer ist als der Frühsommer. Diese Beobachtung deckt sich mit dem Zeitpunkt der Hauptanwendung von Cypermethrin im Einzugsgebiet der Wyna. Nach wie vor fehlt aber ein Nachweis, welche Pestizide auf *Gammarus* toxisch wirken. Insbesondere die Bedeutung von

Pyrethroiden bleibt weiterhin zu klären. Der chemische Nachweis von Pestiziden in Gewässern sagt allein noch nichts über eine biologische Wirkung auf die Wasserlebewesen und das Ökosystem Fließgewässer aus. Aus akuten oder chronischen Tests im Labor mit Modellorganismen unter Standardbedingungen sind zwar Toxizitätsdaten zu verschiedenen Pestiziden bekannt. Sie beziehen sich aber vorwiegend auf Einzelsubstanzen, selten Stoffgemische, und meist auf höhere Konzentrationen als im Gewässer tatsächlich vorhanden. Die Übertragbarkeit auf das Freiland bleibt daher beschränkt.

Biologische Methoden hingegen können die Auswirkungen von Schadstoffen im Gewässer selbst nachweisen. Die Untersuchung der Wasserwirbellosen mithilfe des Modulstufenkonzepts des Bundes ermöglicht mit dem Index IBCH einen groben Überblick über den biologischen Zustand des Gewässers und kann Hinweise auf Belastungen geben [16]. Subletale und chronische Effekte auf Wasserwirbellose durch Schadstoffe sind mit dieser Methode aber nicht erkennbar. Der SPEAR-Index, ein feldökologisches Bewertungskonzept, entwickelt für die Bewertung von Insektiziden, ist für die Anwendung in der Schweiz erst in Bearbeitung (Interreg-IV-Projekt, www.interreg.org). Anhand von IBCH oder SPEAR können aber nur Zustandsbewertungen des Gewässers gemacht werden (passives Monitoring). Durch *In-situ*-Versuche (aktives Monitoring), wie im Wynental mit *Gammarus*, lassen sich Wirkungen auf die Wasserlebewesen jedoch direkt nachweisen, insbesondere auch in zeitlicher Hinsicht.

Die einheimischen Bachflohkrebsen (*Gammarus pulex* und *Gammarus fossarum*) haben eine zentrale Funktion im Nahrungsnetz von Fließgewässern und sind ganzjährig im Gewässer vorhanden. Auswirkungen von Schadstoffen auf diese Tiere haben daher zwangsläufig eine grosse Bedeutung für das ganze Ökosystem Fließgewässer. Für den Gewässerschutz haben die Ergebnisse von *In-situ*-Versuchen mit *Gammarus* daher eine grosse Relevanz. Um die Ursache von Schädwirkungen während der Tests zu ermitteln, sind immer auch chemische Untersuchungen erforderlich. Da die Pestizidanalytik mit breitem Nachweisbereich an Einzelstoffen sehr kostenintensiv ist, braucht es dazu auch Konzepte, welche die Anzahl Proben minimieren.

Mit den *In-situ*-Versuchen mit *Gammarus* konnte ein Testprotokoll entwickelt werden, welches nicht nur akute Toxizität (Mortalität), sondern auch subletale Effekte (verminderte Frassaktivität) signifikant nachweisen kann. Der methodische Aufwand für die Minimierung der zufälligen Variabilität der Ergebnisse, vor allem zur Quantifizierung des Blattfrasses, ist jedoch erheblich. In der Praxis lohnt sich dieser Aufwand dann, wenn eine Belastungsquelle lokalisiert ist und zusätzlich ein Nachweis der Schädwirkung im Gewässer gefordert wird. Zum Auffinden von Belastungsquellen in geschädigten Gewässern muss das Testprotokoll respektive das Vorgehen vereinfacht werden. Dazu sollte man sich auf den Nachweis der akuten Toxizität beschränken. Die Abteilung für Umwelt des Kantons Aargau wird im Jahre 2013 ein solches vereinfachtes Vorgehen in kleinen Gewässern mit intensiver landwirtschaftlicher Nutzung des Einzugsgebietes testen.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Lubini, V. (2006): *Untersuchung Benthos Wynenthal 2006. Im Auftrag der Kantone Aargau und Luzern*, 8 S.
- [2] Vonarburg, U. P. et al. (2002): *Pestizide in aargauischen Fließgewässern 2001. Abteilung für Umwelt und Abteilung Landwirtschaft des Kantons Aargau*, 37 S.
- [3] Schocher, R. J.; Märki, M. (2010): *Pestizide in Aargauer und Luzerner Fließgewässern. Untersuchungen 2002–2007. Dienststelle für Umwelt und Energie des Kantons Luzern und Abteilung für Umwelt des Kantons Aargau*, 23 S.
- [4] AquaPlus (2010): *Literaturstudie zu Gammarus spp. Rückgang oder Fehlen von Bachflohkrebsen (Gammarus spp.) in Bächen. Erstellt im Auftrag der Abteilung für Umwelt des Kantons Aargau, Verfasserin: Frau Dr. Almut Gerhardt*
- [5] AWA Report (2012): *Den Bachflohkrebsen fehlt es nicht an Futtertieren. Untersuchung der Wasserwirbellosen im Einzugsgebiet der Langete. Jahresbericht des AWA 2012*
- [6] Lubini, V. (2010): *Untersuchung Benthos Wynenthal 2010. Im Auftrag der Kantone Aargau und Luzern*, 9 S.
- [7] AquaPlus (1993): *Literaturübersicht über die Methoden der biologischen Gewässergütebeurteilungen. Erstellt im Auftrag der Abteilung für Umwelt des Kantons Aargau*
- [8] Maltby, L. et al. (2002): *Evaluation of the Gammarus pulex in situ feeding assay as a biomonitor of water quality: robustness, responsiveness, and relevance. Environmental Toxicology and Chemistry* 21: 361–368
- [9] www.oekotoxzentrum.ch

DANK

Die Autoren danken der Eawag für die Mitarbeit beim Einsetzen der Käfige im Feld (Daniela Eichenberger, Silvana Käser, Anja Westram) sowie für die Unterstützung bei den statistischen Auswertungen (Jukka Jokela, Silvana Käser). Im Weiteren danken wir Fritz Zimmermann, Abteilung für Umwelt des Kantons Aargau, sowie Caroline Baumgartner, AquaPlus, für die Mitarbeit im Feld (Kontrollgänge, Ersetzen der Populationen) und Labor. Wir danken Caroline Baumgartner, Mathieu Camenzind, Joachim Hürlimann, Tino Stäheli, alle AquaPlus, für die hilfreichen Kommentare und Verbesserung des Manuskripts sowie Ernst Roth, AquaPlus, und Andreas Gloor, Abteilung für Umwelt des Kantons Aargau, für die Hilfe bei den Abbildungen.

- [10] Kunz, P.Y. et al. (2010): *Gammarus* sp. in aquatic ecotoxicology and water quality assessment: toward integrated multilevel tests. *Rev. Environm. Contam. Toxicol.* 205: 1–76
- [11] AquaPlus (2011): Wyna: *Gammarus* In-situ-Ver-suche. Ökotoxikologische Untersuchungen 2011. Erstellt im Auftrag der Abteilung für Umwelt des Kantons Aargau
- [12] AquaPlus (2012): Wyna: *Gammarus* In-situ-Ver-suche. Ökotoxikologische Untersuchungen 2012. Erstellt im Auftrag der Abteilung für Umwelt des Kantons Aargau
- [13] Couland, R. et al. (2011): *In situ* feeding assay with *Gammarus fossarum* (Crustaceae): Modelling the influence of confounding factors to improve water quality biomonitoring. *Water Research* 45: 6417–6429
- [14] Kirchberger, U.; Liess, M. (1994): *Akute Drifterhöhung von Gammarus pulex (L.) in einem landwirtschaftlichen Fließgewässer und dessen mögliche Verursachung durch Insektizide*. Deutsche Gesellschaft für Limnologie: Erweiterte Zusammenfassung der Jahrestagung 1994. Hamburg, 861–865
- [15] Fossard, A. et al. (2012): Fungal Importance extends beyond litter decomposition in experimental early-successional streams. *Environmental Microbiology* 14: 2971–2983
- [16] BAFU (2010): *Methoden zur Untersuchung und Beurteilung der Fließgewässer: Makrozoobenthos Stufe F (flächendeckend)*. Bundesamt für Umwelt, Bern, Umwelt-Vollzug Nr. 1026, 61 Seiten
- [17] Baumgartner, C. (2008): *Gammarus* sp. and Acanthocephala in Switzerland – Distribution, seasonality and local adaption in a host-parasite system. Masterarbeit ETH Zürich
- [18] Westram A. et al. (2011): Are cryptic host species also cryptic to parasites? Host specificity and geographical distribution of acanthocephalan parasites infecting freshwater *Gammarus*. *Infection Genetic and Evolution* 11: 1083–1090

> SUITE DU RÉSUMÉ

cipale des pyréthoïdes (insecticides) à deux endroits sur le Wyna en comparaison avec un ruisseau de référence, pour suivre les effets toxiques possibles sur les gammarus à long terme.


Le mode opératoire méthodique des essais *in situ* a fait ses preuves et a permis d'obtenir des résultats probants du point de vue statistique au cours des deux années d'analyse. Aucune toxicité aigüe sur les gammarus n'a pu être constatée dans aucun des sites d'analyse au cours de ces deux années. De manière générale, la défoliation était plus forte au printemps qu'au début de l'été. En 2012, la défoliation était nettement plus faible sur les sites de la Wyna que dans le ruisseau de référence. Pendant certaines semaines, une défoliation nettement plus réduite a pu être observée sur les sites de la Wyna. Simultanément, des phénomènes pluvieux sont survenus pendant ces semaines, ayant conduit à des déversements accrus avec des érosions agricoles. Les résultats laissent supposer que les pesticides sont au moins l'une des causes de la pénurie par région des gammarus.

ROTA VER

ROTAVER Composites AG
Kunststoffwerk
CH-3432 Lützelflüh
034 460 62 62
www.rotaver.ch

Erdverlegte Tanks – begeh- oder befahrbar
Im Fachhandel erhältlich oder ab Werk
Regen- und Trinkwasser bis 200m³
Pelletslagerung bis 175m³
Retentionstanks
Oeltanks

Abwassertanks
Sammelgruben
Pumpschächte
Kleinkläranlagen

 swiss made

Wir bringen Wasser in Bewegung.

BRUNNER PUMPEN

BRUNNER AG · Maschinen und Pumpen

Brunnergässli 1 - 5 · CH-8302 Kloten
Tel. 044 814 17 44 · Fax 044 814 17 75

Ihr Spezialist für Pumpen

mail@brunnerpumpen.ch
www.brunnerpumpen.ch