

Texte 65/01

UMWELTFORSCHUNGSPLAN DES BUNDESMINISTERIUMS FÜR UMWELT,
NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT

- Oberflächengewässerschutz -

Forschungsbericht 296 24 511

UBA-FB 000197

Pflanzenschutzmittel-Belastung und Lebensgemeinschaften in Fließgewässern mit landwirtschaftlich genutztem Umland

Matthias Liess, Ralf Schulz, Norbert Berenzen, Jakob Nanko-Drees, Jörn Wogram

Technische Universität Braunschweig

Zusammenfassung und Summary

Pflanzenschutzmittel (PSM) werden im Zuge ihrer Anwendung in der Landwirtschaft in Gewässer eingetragen und können sich dort nachteilig auf die Biozöten auswirken. Dieser Zusammenhang war im Vorfeld des vorliegenden Projektes anhand von Arbeiten zu Fallbeispielen für einzelne Gewässer belegt worden. Es resultierte die Frage, inwiefern auch auf der Ebene zahlreicher Gewässer im Landschaftsmaßstab ein Zusammenhang zwischen der Pflanzenschutzmittel-Belastung und der Ausprägung aquatischer Lebensgemeinschaften belegt werden kann.

Die Beantwortung dieser Frage anhand von Freilandbefragungen und freilandrelevanten experimentellen Untersuchungen stellt die grundlegende Zielsetzung des vorliegenden Projektes dar. Auf der Basis der Ergebnisse sollten darüber hinaus Aussagen zur Ableitung von Qualitätsanforderungen für PSM in Oberflächengewässern auf nationaler und europäischer Ebene gemacht werden.

Bei der Beantwortung der o.g. Frage ist man mit einer Reihe von Problemen konfrontiert, die die Ableitung eines sehr speziellen Untersuchungsansatzes erfordern. Zunächst einmal kann nur ein Untersuchungsdesign, welches im wesentlichen aus Freilandbefragungen der Belastung und der Lebensgemeinschaften besteht für eine Problemlösung dienen. Bereits die Erfassung der PSM- Belastung ist mit zahlreichen Schwierigkeiten verbunden, da es sich hierbei hinsichtlich des zeitlichen und räumlichen Auftretens um kaum vorhersagbare Ereignisse handelt. Zur Lösung dieser Problematik wurden für das vorliegende Projekt elektronisch gesteuerte, ereignisbezogene Probenahmeegeräte entwickelt und erfolgreich für die Belastungsmessung eingesetzt.

Die entscheidende Herausforderung stellt jedoch die kausale Verknüpfung von gemessener Belastung und Ausprägung der Lebensgemeinschaft im Gewässer dar, denn das Vorkommen von Arten wird durch eine Reihe von Parametern beeinflusst. Insbesondere in kleineren und mittelgroßen Fließgewässern in der Agrarlandschaft, die anthropogen überformte Systeme darstellen, liegen zahlreiche weitere Stressorenkomplexe (Strukturarmut, Nährstoffbelastung, Gewässerunterhaltung etc.) vor. Letztlich bleibt hierdurch ein eindeutiger Beweis der Bedeutung eines einzelnen Einflußfaktors (z.B. PSM-Belastung) unmöglich, wenn gleichzeitig durch Untersuchungen im Freiland ein ausreichendes Maß an Realitätsnähe erhalten bleiben soll. Um jedoch trotz dieser Vorbedingungen eine Identifikation und Bewertung des Einflußfaktors PSM vornehmen zu können, wurde eine mehrteilige Strategie verfolgt.

So wurden die PSM-Belastung und die aquatische Gemeinschaft im Braunschweiger Umland in Gewässern untersucht, bei denen von einer deutlichen Belastung und damit resultierend von potentiellen Zusammenhängen ausgegangen werden konnte. Die Variabilität weiterer Einflußfaktoren wurde durch die lokale Nähe der Probestellen zueinander und durch die Wahl von Probestellen, bei denen der Faktor "diffuser Stoffeintrag aus der Landwirtschaft" eine hohe Rolle zu spielen schien, reduziert.

In einem parallelen Ansatz wurden Gewässer in einem wesentlich weiteren geographischen Rahmen in Nord- und Mitteldeutschland untersucht. Hierbei wurde eine Reduktion der Bedeutung weiterer Einflußfaktoren durch die parallele Untersuchung von Probestellen mit konventionell genutztem Einzugsgebiet und ökologischem Landbau im Einzugsgebiet verglichen. Die wesentliche Unterscheidung dieser Probestellen sollte in der PSM-Belastung liegen, die somit in ihrer Wirkung identifiziert werden kann.

Zur Absicherung der Ergebnisse aus dem Freiland wurden verschiedene experimentelle Untersuchungen in Fließgerinnen durchgeführt. In Freiland-Mikrokosmen wurde der Einfluß von Sedimenteinträgen und Nährstoffbelastungen, insbesondere toxischer Stickstoffverbindungen, auf Beispielorganismen aus landwirtschaftlichen Fließgewässern bewertet. Diese Stressoren treten im Freiland z.B. während Oberflächenrunoff zusammen mit PSM-Belastungen auf und wurden durch diesen Untersuchungsansatz differenziert bewertbar.

In Freiland-Mesokosmen, die einen Gewässerausschnitt mit den wesentlichen Reaktionsmöglichkeiten der Fauna auf Schadstoffbelastung repräsentieren, konnte der Einflußfaktor PSM-Belastung isoliert von allen anderen Einflußfaktoren untersucht werden. Es wurden freilandtypische, kurzzeitige PSM-Belastungen verwendet und deren Auswirkungen auf komplexe Vielartengemeinschaften, innerhalb derer zahlreiche Formen biologischer Interaktionen möglich waren untersucht.

Aus den Ergebnissen wurde ein neuartiges Bewertungssystem entwickelt, welches autökologische Eigenschaften der Wirbellosenarten verwendet und für die Indikation von PSM-Belastungen optimiert wurde. Dieses Bewertungssystem konnte schließlich auch für die

Einordnung der Bedeutung der Einflußfaktors diffuse PSM-Belastung in nationale und europäische Bewertungsansätze genutzt werden.

Die im Rahmen des Projektes angewendeten Methoden und die erzielten Ergebnisse werden im folgenden für die verschiedenen Teilprojekte zusammengefaßt.

Als eine erste Annäherung an die Erarbeitung von freilandrelevanten Konzentrations-Wirkungs-Beziehungen erfolgt in Abschnitt III eine Einteilung von Makroinvertebratentaxa hinsichtlich ihrer physiologischen Empfindlichkeit gegenüber toxischen organischen Verbindungen. Hierzu wurden mit Hilfe der USEPA Datenbank AQUIRE für 196 Arten und 211 verschiedene organische Substanzen Toxizitätswerte recherchiert und im Vergleich zu den Werten für *Daphnia magna* in einer relativen Skala eingeordnet. Es wurde gezeigt, daß statistisch zwischen empfindlichen (z.B. Plecoptera oder Amphipoda) und weniger empfindlichen Gruppen (z.B. Hirudinea oder Gastropoda) unterschieden werden kann. Diese Einteilung der Taxa ermöglichte die ökotoxikologische Bewertung der Ergebnisse aus den ebenfalls im Rahmen des vorliegenden Projektes durchgeführten Freiland- und Mesokosmenuntersuchungen.

Zur Optimierung der PSM-Probenahme im Freiland wurden ereignisbezogene elektronisch gesteuerte Probennehmer entwickelt und eingesetzt. Die Probenahme kann mit Hilfe verschiedener Eingangssignale (z.B. Niederschlag oder Pegeländerung) getriggert werden und es erfolgt direkt eine Aufreinigung der Proben durch die angeschlossene Festphasenextraktion. In etwa 75% der untersuchten Gewässer wurden Fungizide (u.a. Strobilurine), Herbizide (hauptsächlich Isoproturon) und Insektizide (z.B. Parathion-ethyl) nachgewiesen. Die nachgewiesenen Konzentrationen lagen dabei häufig zwischen 0,1 µg/L und 1 µg/L (Abschnitt IV). Gewässer mit konventioneller Ackernutzung im Umland waren deutlich höher belastet als Gewässer mit ökologischer Umlandnutzung oder mit konventionell genutzten Weideflächen im Einzugsgebiet (Abschnitt V). Um Vergleiche zu ermöglichen, wurde die Bewertung des in den jeweiligen Gewässern vorhandenen toxischen Potentials infolge PSM-Belastung durch die Aufsummierung der Toxizitäten der nachgewiesenen Stoffe vorgenommen (Abschnitt IV).

Durch den statistischen Vergleich der Belastung der untersuchten Gewässer im Braunschweiger Umland mit der Verteilung von Makroinvertebraten wurden Gruppen von Zeigerarten für die Belastung kleiner und mittelgroßer Fließgewässer mit PSM abgeleitet (Abschnitt IV). Auf dieser Basis wurde ein biologisches Indikatorsystem für die PSM-Belastung entworfen. Dieses basiert auf der Errechnung eines SR-Index aus der o.g. physiologischen Empfindlichkeit der Arten, welche mit Eigenschaften des Reproduktions- bzw. Lebenszyklus (Schlupfzeitpunkt, Generationsdauer) verrechnet wird. Der SR-Index zeigt einen sehr hohen statistischen Zusammenhang ($R = 0,85$; $p < 0,0001$) mit der PSM-Belastung eines Gewässers, welche als aufsummierte Toxizität der nachgewiesenen Wirkstoffe ausgedrückt wurde (Abb. I-1). Es kann gefolgert werden, daß durch die PSM-Belastung Veränderungen in der Zusammensetzung der Gewässerzönosen auftreten, die sich auf physiologische und autökologische Eigenschaften der Arten zurückführen lassen. Die Gemeinschaften weisen mit zunehmender Belastung einen höheren Anteil physiologisch

unempfindlicher bzw. bivoltiner bis plurivoltiner Arten mit zwei oder mehr Generationszyklen im Jahr auf.

Unterstützend zu den Ergebnissen aus dem Braunschweiger Umland weisen auch die in Abschnitt V dargestellten Ergebnisse aus Fließgewässern in Nord- und Mitteldeutschland, die sich in ihrer Umlandnutzung unterschieden, deutlich auf einen negativen Einfluß von PSM-Belastungen auf aquatische Lebensgemeinschaften hin. Zunächst konnten in Abhängigkeit von der Landnutzungsform Unterschiede in der PSM-Belastung in suspendierten Schwebstoffen angrenzender Gewässer festgestellt werden. Die Probenahme der Schwebstoffe erfolgte mit kontinuierlich arbeitenden Passivsammlern. Während an Probestellen mit integrierter Umlandnutzung (i) insgesamt 46 Nachweise erfolgten, von denen 10 Insektizidfunde waren, konnten an Probestellen mit ökologischer Umlandnutzung oder Weidewirtschaft (ö/w) nur insgesamt 3 Nachweise gemacht werden, die sich alle auf das Fungizid Epoxiconazol beziehen. Es zeigt sich, daß bei allen sieben Probestellenpaaren der SR-Index an der i-Probestelle höher ist als an der entsprechenden ö/w-Probestelle (Abb. I-2). Das heißt, daß die Gemeinschaftsstrukturen an den jeweiligen i-Probestellen eher durch weniger sensitive und an kurzfristige Störungen angepaßte Arten dominiert werden. Diese negative Beeinflussung der Lebensgemeinschaften bei unterschiedlicher Umlandnutzung ließ sich ebenfalls statistisch absichern ($p = 0,031$). Hierfür ist nach den vorliegenden Ergebnissen in wesentlichem Maße die PSM-Belastung verantwortlich, ihr Einfluß wird jedoch von anderen Faktoren, wie z.B. der Höhenlage der Gewässer überlagert. Es kann gefolgert werden, daß eine geänderte Landnutzung auch zu einer Reduktion der PSM-Einträge in Oberflächengewässer führen wird.

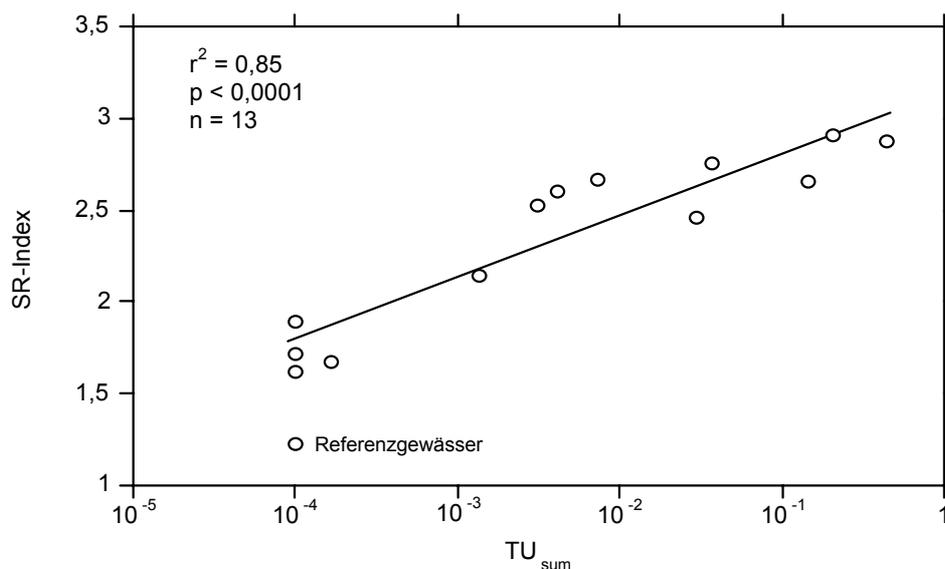


Abb. I-1: Zusammenhang zwischen SR-Index und gemessener PSM-Belastung (als aufsummierte Toxizität) an 13 Untersuchungsgewässern im Braunschweiger Raum.

Die Zuordnung von Belastung und biologischer Reaktion wurde durch einen mehrstufigen Ansatz realisiert. Ergänzend zu den Freilandfassungen der Wirbellosen-Lebensgemeinschaften wurde der Nachweis geführt, daß die vorhandene Exposition mit PSM eine biologische Reaktion hervorrufen kann und daß die PSM bioverfügbar sind. Hierfür wurde ein Cholinesteraseassay an Fischen durchgeführt (Abschnitt VI), mit dem sich Belastungen durch Organophosphorinsektizide (z.B. Parathion-ethyl) bzw. Carbamatinsektizide nachweisen lassen. Es zeigte sich, daß die im Freiland festgestellte Parathion-Belastung eine signifikante Reduktion der Cholinesteraseaktivität bei Freilandfängen des Dreistachligen Stichling (*Gasterosteus aculeatus*) aus den entsprechenden Gewässern zur Folge hatte. Der damit geführte Wirknachweis auf suborganismischer Ebene kann aufgrund der physiologischen Elastizität von Organismen nicht mit der Populationsentwicklung dieser Art in Verbindung gebracht werden. Für die Plausibilität des gesamten Vorhabens stellt jedoch der biologische Wirknachweis von Parathion-ethyl im Freiland eine wichtige Ergänzung dar.

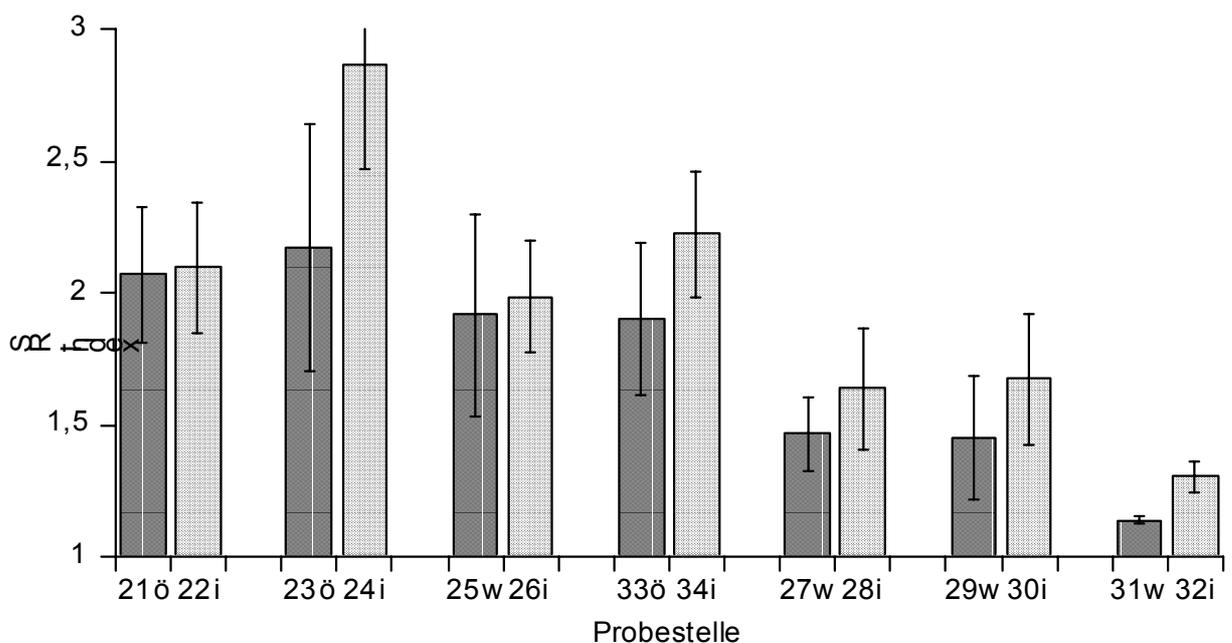


Abb. I-2 Mittelwerte und Standardfehler des SR-Index im paarweisen Vergleich von Untersuchungsgewässern im Nord- und Mitteldeutschen Raum, die sich hinsichtlich der Umlandnutzung unterscheiden (dunkel: ö/w-Probstellen; hell: i-Probstellen). i-Probstellen weisen über alle Probstellenpaare betrachtet einen signifikant schlechteren SR-Index auf als ö/w-Probstellen ($p = 0,031$).

Um den Einfluß weiterer im Freiland relevanter Einflußfaktoren abschätzen zu können, wurden Untersuchungen in künstlichen Freiland-Fließgewässer-Mikrokosmen durchgeführt (Abschnitt VII). Es wurde die Wirkung von chronischer Stickstoffbelastung (0,3 bis 30 mg/L Ammonium und dreimalig kurzzeitig (1h) erhöhter Schwebstoffkonzentration 0,3 bis 30 g/L (Trockengewicht) auf ausgewählte Makroinvertebraten (*Gammarus pulex*, *Limnephilus lunatus* und *Radix ovata*) untersucht. Bei einer Konzentration von 3 mg/L Ammonium, 0,91

mg/L Nitrit und 0,15 mg/L Ammoniak waren bei *G. pulex* Abundanzabnahmen gegenüber der Kontrolle zu verzeichnen. *R. ovata* und *L. lunatus* zeigten dagegen erst bei 10-fach höheren Konzentrationen signifikante Effekte. Lediglich bei *L. lunatus* konnte bei der höchsten Schwebstoffkonzentration (30 g/L) signifikante Effekte (Abnahme der Emergenz) festgestellt werden. Bei den im Rahmen des vorliegenden Projektes durchgeführten Freilanduntersuchungen lagen die Konzentrationen von Ammonium/Ammoniak, Nitrit und Schwebstoffen in wesentlich geringeren Bereichen als die effektiven Konzentration aus der entsprechenden Mikrokosmosstudie. Es kann somit gefolgert werden, daß diese Einflußfaktoren bei der Interpretation der vorliegenden Freilandergebnisse von untergeordneter Bedeutung sind.

Die im Freiland erarbeiteten Zusammenhänge zwischen Belastung und Veränderung der Populationsdichte einzelner Arten wurde zur Absicherung des Stressfaktors PSM-Belastung ebenso in komplexen Mesokosmen mit kontrollierten Randbedingungen nachvollzogen (Abschnitt VIII). Diese 20 m langen künstlichen Fließgerinne weisen zahlreiche Vorteile gegenüber kleineren und mehr artifiziellen Laborsystemen auf. So ist die Exposition aufgrund von Sorptionsprozessen realistischer. Intra- und interspezifische Interaktion zwischen den Organismen sind möglich und eine hohe Anzahl von Arten kann in ihrer Reaktion auf Schadstoffe über mehrere Monate beobachtet werden. Wiederbesiedlung ist für flugfähige Insekten aus einem nur wenige Meter entfernten unbelasteten Gewässer ebenfalls möglich. Die verwendeten Insektizide (1997 Esfenvalerat bzw. 1998 Esfenvalerat und Parathion-ethyl) sowie die Höhe der Kontamination (Kontaminationsdauer 1h, Konzentrationen von 0,01 - 10 µg/L) entsprechen der im Freiland gefundenen Belastung. In beiden Experimenten war nach der Kontamination eine Verminderung der Abundanz aller Arten im Mesokosmos mit steigender Kontamination festzustellen. Die Erhöhung des Anteiles insensitiver Arten an der Gesamtabundanz war zu bestimmten Zeitpunkten für die Gruppe der gering kontaminierten Ansätze (0,1 µg/L, 0,316 µg/L, 1 µg/L; ANOVA, $p = 0,013$) und der hoch kontaminierten Ansätze (3,16 µg/L, 10 µg/L; $p = 0,033$) gegenüber der Kontrolle signifikant. Somit kann der LOEC der Gemeinschaftsveränderung auf eine Konzentration von kleiner oder gleich 1 µg/L Esfenvalerat und Parathion-ethyl Nominalkonzentration festgelegt werden. Die real im Mesokosmos gemessene Konzentration lag in etwa um den Faktor 10 niedriger (0,1 µg/L Esfenvalerat und Parathion-ethyl). Entsprechend dieser Befunde ist im Freiland also unterhalb der Nachweisgrenze für Insektizide mit einer Veränderung der Gemeinschaftszusammensetzung zu rechnen.

Tab. I-1: Vorschlag für eine Einordnung der SR-Indexwerte, errechnet auf der Basis der Lebensgemeinschaft in die Zustandsklassen der WRRL. Zusätzlich ist der Summentoxizitätswert und die qualitative Beschreibung der PSM-Belastung aufgeführt.

| Status | EG-WRRL | SR-Index (Gemeinschaft) | | Qualitative Beschreibung der PSM-Belastung |
|--------------------------|---------------|-------------------------|---------------|---|
| | EQR-Skala | Wert | als EQR | |
| Sehr guter Zustand | 0,96 bis 1 | 1,0 bis 1,5 | 0,97 bis 1 | Referenzgewässer, dauerhaft belastungsfrei |
| Guter Zustand* | 0,81 bis 0,95 | 1,6 bis 2,0 | 0,77 bis 0,96 | Belastung selbst durch Peakmessung kaum nachweisbar |
| Mäßiger Zustand | 0,61 bis 0,8 | 2,1 bis 2,5 | 0,57 bis 0,76 | Herbizid- und Fungizidbelastet** |
| Unbefriedigender Zustand | 0,31 bis 0,6 | 2,6 bis 3,0 | 0,37 bis 0,56 | Insektizid-, Herbizid- und Fungizidbelastet** |
| Schlechter Zustand | 0 bis 0,3 | 3,1 bis 4,0 | 0 bis 0,36 | Hohe Insektizid-, Herbizid- und Fungizidbelastung** |

* Zielsetzung für alle Gewässer.

** Ergebnisse aus Peakmessungen.

Abschließend wurden in Abschnitt IX die Projektergebnisse zur Bewertung von Wirbellosen-Gemeinschaften hinsichtlich der PSM-Belastung von Gewässern eingeordnet. Dies geschah im Wesentlichen über den im Abschnitt IV vorgestellten SR-Index, der auf den physiologischen und autökologischen Eigenschaften der Arten beruht. Demnach ist ein Leitbild- oder Referenzgewässer durch einen vergleichsweise hohen Anteil (>5%) von semivoltinen Arten mit einer Generationsdauer von mehr als 12 Monaten gekennzeichnet. Gleichzeitig ist der Anteil bi- bis plurivoltiner Arten mit zwei oder mehr Generationen pro Jahr relativ gering (<15%). Analog zu den gebräuchlichen Zielsetzungen in der allgemeinen Güteüberwachung der Gewässer wird vorgeschlagen, den Status „Guter Zustand“ der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) als Zielsetzung auch für kleine Gewässer anzustreben. Für diese Zustandsklasse wurde eine Spanne des SR-Index von 1,6 bis 2,0 festgelegt, was mit der Gruppe der als "unbelastet" eingestuften Gewässer aus Abschnitt IV übereinstimmt (Tab. I-1). Alle Gewässer mit einem SR-Index ab 2,1 fallen nach WRRL in die Zustandsklasse "Mäßiger Zustand" oder schlechter. Die aus der in Abschnitt IV dargestellten Untersuchung am schlechtesten eingestuften Gewässer mit einem SR-Index >2,6 sind der Zustandsklasse "Unbefriedigender Zustand" nach WRRL zuzuordnen.

Summary

When pesticides are applied for agricultural purposes, a certain amount enters local bodies of water and can have negative effects on the biocenoses there. This relationship had been established by work on exemplary cases in individual bodies of water prior to the present project, but its generality remained in question. That is, to what extent can a relationship between pesticide load and the characteristics of aquatic communities be documented at the level of numerous bodies of water distributed over large areas?

To answer this question by means of field assessments and experimental investigations relevant to the field is the fundamental objective of the present project. In addition, it is intended to derive from these results information that can be used to establish national and pan-European quality requirements regarding pesticides in surface waters.

The above question presents a number of problems that make it necessary to work out a very special research approach. For one thing, only a design based substantially on field investigations of contamination and of the biological communities can provide a useful answer. But the measurement of pesticide load is itself associated with many difficulties, because it is practically impossible to predict when and where the agents will appear. To solve this problem, for the present project electronically controlled, event-triggered sampling devices were developed and were successfully used to measure transient contamination.

The crucial demand, however, was to determine whether there is a causal link between measured contamination and characteristics of the aquatic community, which is problematic because a number of parameters influence species composition. Especially in small and medium-sized streams in the agrarian landscape, which represent anthropogenically modified systems, many other stressor complexes are present (reduced structural complexity, eutrophication, maintenance work etc.). As a result, it is ultimately impossible to demonstrate conclusively the significance of a single influential factor (e.g., pesticide load) while simultaneously preserving a sufficient degree of realism by doing the investigations in the field. So as to identify and evaluate pesticides as an influential factor despite these preconditions, a composite strategy was adopted.

Thus one approach was to examine the pesticide load and the aquatic community in waters near Braunschweig that were known to be distinctly contaminated and hence were expected to demonstrate potential consequences. The variability of other influential factors was reduced by the proximity of the sampling sites to one another and by choosing sites where the factor „nonpoint-source pollution“ appeared to play a major role.

In a parallel approach bodies of water were sampled on a considerably larger geographical scale, in northern and central Germany. Here a reduction in the significance of other influential factors was achieved by studying in parallel sites with catchment regions where

different agricultural methods were used, some conventional and others ecologically oriented. These two kinds of sites ought to differ substantially only in pesticide load, the effect of which should thus be identifiable.

To check the results from the field, various experimental tests were performed in channels of flowing water. In field microcosms the influence of sediment inputs and nutrient substances, in particular toxic nitrogen compounds, on exemplary organisms of agricultural streams was evaluated. In the field these stressors are introduced, for example, in surface runoff together with pesticides, and with this research approach they could be evaluated individually.

In field mesocosms, which represent a section of a body of water in which the most important potential reactions of the fauna to contaminants are demonstrated, the pesticide factor could be examined in isolation from all other influential factors. Brief pesticide loads typical of those in the field were used, to test their effects on complex communities comprising diverse species, within which many forms of biological interactions were possible.

From the results a new kind of evaluation system was developed, which utilizes autecological properties of invertebrate species and was optimized for indication of pesticide contamination. This system could ultimately be used for ranking the significance of nonpoint-source pesticide contamination in national and European classifications of influential factors.

The methods employed in this project and the results obtained are summarized in the following for the various individual approaches.

As a first approximation for working out field-relevant concentration-effect relationships, in Section III macroinvertebrate taxa are classified according to their physiological sensitivity to toxic organic compounds. Toxicity values were obtained from the USEPA database AQUIRE for 196 species and 211 different organic substances and were organized on a relative scale in comparison to the values for *Daphnia magna*. It was possible to distinguish statistically between sensitive (e.g., Plecoptera or Amphipoda) and less sensitive (e.g., Hirudinea or Gastropoda) groups. This classification of taxa enabled an ecotoxicological evaluation of the results obtained from the field and mesocosm studies that also formed part of this project.

To optimize pesticide sampling in the field, event-related electronically controlled samplers were developed and employed. The sampling can be triggered by various input signals (e.g., precipitation or change in water level) and the samples are preserved and concentrated directly by subsequent solid-phase extraction. In about 75% of the waters tested, fungicides (including strobilurins), herbicides (mainly isoproturon) and insecticides (e.g., parathion-ethyl) were demonstrated. Their concentrations were often between 0.1 µg/L and 1 µg/L (Section IV). Bodies of water in conventionally cultivated surroundings were distinctly more contaminated than those with catchment regions comprising ecologically managed crops or conventional pastures (Section V). To enable comparisons, the toxic potential in each body of water resulting from pesticide contamination was evaluated by adding up the toxicities of the various substances (Section IV).

By statistical comparison of the contamination of the waters studied in the vicinity of Braunschweig with the distribution of macroinvertebrates, groups of indicator species for the contamination of small and medium-sized streams with pesticides were derived (Section IV). On this basis a biological indicator system for pesticide contamination was set up. It is based on calculation of an SR index from the physiological sensitivities found for the species, and takes into account features of reproduction and life cycle (time of emergence, duration of a generation). The SR index is statistically very closely correlated ($R = 0.85$; $p < 0.0001$) with the pesticide contamination of a stream, expressed as the total toxicity of all the agents detected (Fig. I-1). It can be inferred that pesticide contamination causes changes in the composition of the aquatic communities, which are ascribable to physiological and autecological properties of the species. As contamination increases, the communities exhibit a greater proportion of physiologically insensitive and/or of bivoltine to plurivoltine species (with two or more generation cycles per year).

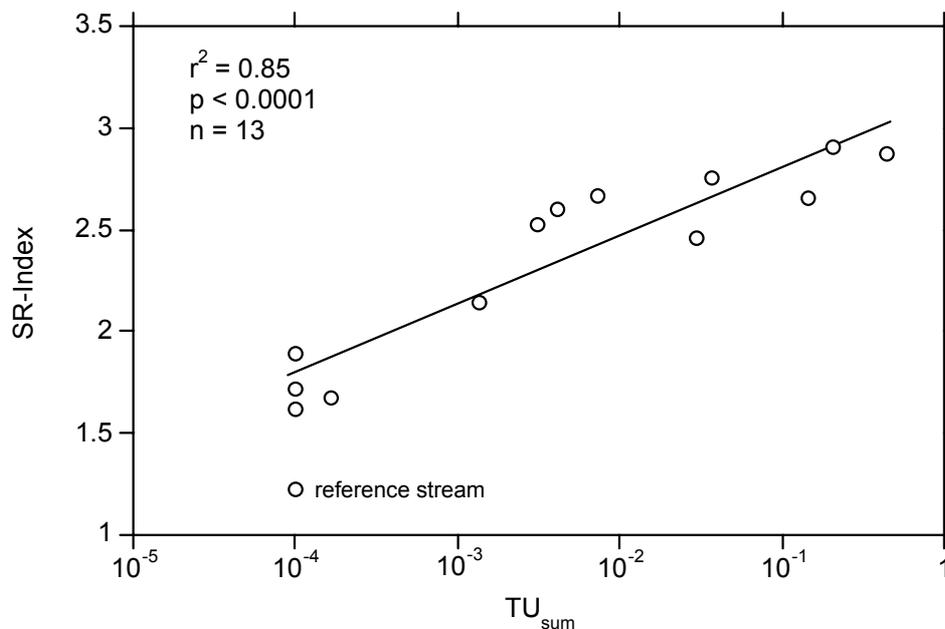


Fig. I-1: Correlation of the SR-Index and the measured pesticide contamination (expressed by adding up the toxicities) at 13 sites in the region of Braunschweig.

Corroborating the results from the Braunschweig region, the findings presented in Section V from streams with differently farmed surroundings in northern and central Germany clearly indicate a negative influence of pesticide contamination on aquatic communities. First, differences in the pesticide content of suspended materials in the streams were found to be related to the agricultural methods used nearby. The suspensions were sampled with continuously operating passive collecting devices. Whereas at sampling sites with integrated agriculture in the surroundings (i) altogether 46 samples were contaminated, 10 of them by insecticides, at sites adjacent to ecologically managed fields or pastures (e/p) only 3

contaminated samples were found, all containing the fungicide epoxiconazol. It is evident that for all seven site pairs the SR index at the i site is higher than at the corresponding e/p site (Fig. I-2). That is, the community structures at the i sites tend to be dominated by species that are less sensitive and are adapted to brief disturbances. This negative influence on communities, depending on local agricultural methods, likewise proved statistically significant ($p = 0.031$). According to the present results, pesticides are to a great extent responsible for this effect, but their influence is accompanied by that of other factors such as the altitude of the stream. It can be concluded that suitably modified land management will result in a reduction of the pesticide inputs into surface waters.

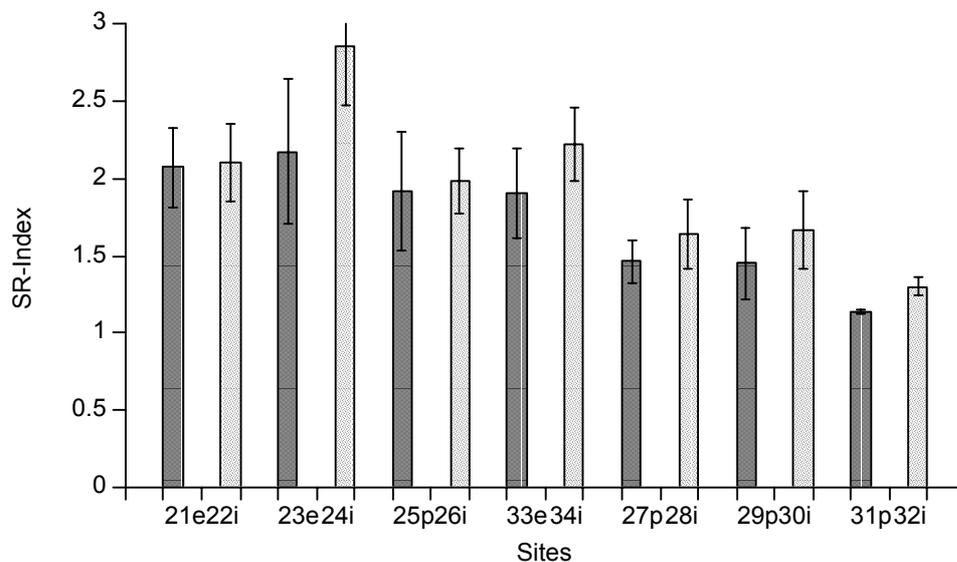


Fig. I-2 Mean and standard error of the SR-Index for the pairwise comparison of sites differing in the type of landuse (dark bars: e/p-sites: pale bars: i-sites) situated in northern and middle Germany. The SR-index is significantly higher at i-sites in comparison to e/p-sites ($p = 0.031$).

The relationship between contamination level and biological response was analyzed in a several-stage approach. The field assessments of invertebrate communities were supplemented by demonstrating that exposure to pesticides in the amounts detected can elicit a biological response and that the pesticides are bioavailable. A cholinesterase assay that can reveal contamination by organophosphate insecticides (e.g., parathion-ethyl) and carbamate insecticides was carried out on fishes (Section VI). Parathion at the concentrations found in the field proved to cause a significant reduction of cholinesterase activity in three-spined sticklebacks (*Gasterosteus aculeatus*) that had been caught in the streams concerned. From this demonstration of an effect at the suborganismic level one cannot infer changes in the population of this species, because of the physiological flexibility of organisms. However, the fact that parathion-ethyl does produce a biological effect in the field is important supplementary evidence of the plausibility of the entire project.

In order to estimate the influence of other field-relevant factors, experiments were performed in artificial stream microcosms approximating field conditions (Section VII). The action of

chronic nitrogen contamination (0.3 to 30 mg/L ammonium) and three brief (1 h) increases in concentration in suspended matter (0.3 to 30 g/L dw) was tested with selected macroinvertebrates (*Gammarus pulex*, *Limnephilus lunatus* and *Radix ovata*). With concentrations of 3 mg/L ammonium, 0.91 mg/L nitrite and 0.15 mg/L ammonia, the abundance of *G. pulex* decreased with respect to the control. In contrast, *R. ovata* and *L. lunatus* exhibited effects only at concentrations 10-fold higher. It was only at the highest suspended-matter concentration (30 g/L) that *L. lunatus* was significantly affected (decreased emergence). In the field studies carried out as part of this project, the concentrations of ammonium/ammonia, nitrite and other suspended substances were in considerably lower ranges than the concentrations found to be effective in the corresponding microcosm study. It can thus be concluded that these factors are of subordinate importance in the interpretation of the present field results.

The relationships found in the field between contamination and altered population density of individual species were also found in experiments with complex mesocosms under controlled boundary conditions, designed to verify pesticide load as a stress factor (Section VIII). These 20-m-long channels filled with running water have many advantages over smaller and more artificial laboratory systems. Because sorption processes are involved, the exposure is more realistic. Intra- and interspecific interactions between the organisms are possible, and a large number of species can be monitored for several months for a response to contaminants. Recolonization is also possible for flying insects, as an uncontaminated stream is only a few meters away. The insecticides used here (esfenvalerate in 1997, esfenvalerate and parathion-ethyl in 1998) and the degree of contamination (exposure duration 1 h, concentrations 0.01 - 10 µg/L) correspond to those found in the field. In both experiments exposure was followed by a decrease in abundance of all species in the mesocosm, greater with increasing contamination. An increase in the contribution of insensitive species to the overall abundance, with respect to the control, was at times significant for the group of low-concentration trials (0.1 µg/L, 0.316 µg/L, 1 µg/L; ANOVA, $p = 0.013$) as well as the high-concentration group (3.16 µg/L, 10 µg/L; $p = 0.033$). Thus the LOEC for the community effect can be set at a concentration lower than or equal to 1 µg/L esfenvalerate and parathion-ethyl (nominal concentration). The actually measured concentration in the mesocosm was lower by about the factor 10 (0.1 µg/L esfenvalerate and parathion-ethyl). On the basis of these findings, then, a change in community composition can be expected to occur in the field below the detection limit for insecticides.

In conclusion, in Section IX the project results are organized to show the relative value of invertebrate communities for indicating the pesticide contamination of bodies of water. This organization is mainly based on the SR index presented in Section IV, which in turn is based on the physiological and autecological features of the species. It shows that a reference body of water is characterized by a comparatively high proportion (>5%) of semivoltine species, with a generation duration of more than 12 months. At the same time, the proportion of bi- to plurivoltine species, with two or more generations per year, is relatively low (<15%). In analogy to the customary target values for general quality monitoring of bodies of water, it is proposed to use the status „Good status“ of the European Water Directive as a target for small

bodies of water as well. For this condition an SR-index range from 1.6 to 2.0 was specified, which matches the value for the group of waters classified as „uncontaminated“ in Section IV (Tab. I-1). All waters with an SR index of 2.1 or more, according to the European Water Directive, are in the category „Moderate status“ or worse. The bodies of water classified as worst in Section IV, with an SR index >2.6, should be assigned to the the European Water Directive category „Poor Status“.

Tab. I-1: Suggested relation of the SR-Index based on the macroinvertebrate community and the status classification of surface waters according to the European Water Directive. Additionally, the qualitative description of the pesticide contamination is given.

| European Water Directive | | SR-Index (community) | | Qualitative description of the pesticide contamination |
|--------------------------|--------------|----------------------|--------------|--|
| Status | EQR-scale | Value | as EQR | |
| High status | 0.96 to 1 | 1.0 to 1.5 | 0.97 to 1 | Reference site, permanently free of pollution |
| Good status* | 0.81 to 0.95 | 1.6 to 2.0 | 0.77 to 0.96 | Even peak values do usually not indicate a pollution |
| Moderate status | 0.61 to 0.8 | 2.1 to 2.5 | 0.57 to 0.76 | Herbicides and fungicides** |
| Poor status | 0.31 to 0.6 | 2.6 to 3.0 | 0.37 to 0.56 | Insecticides, herbicides and fungicides** |
| Bad status | 0 to 0.3 | 3.1 to 4.0 | 0 to 0.36 | High levels of insecticides, herbicides and fungicides** |

* Target status for all surface waters.

** Resulting from peak measurements.