



Insektizide können das Verhalten von Fischen beeinflussen

24. August 2023 | Annette Ryser

Themen: Ökosysteme | Schadstoffe | Gesellschaft

Die Sicherheit von Insektiziden wird vor allem danach beurteilt, ob sie für andere Tiere tödlich sind. Neue Erkenntnisse der Eawag untermauern jedoch, dass bereits geringere Konzentrationen problematisch sein können, denn sie wirken auf das Nervensystem von Fischen und beeinflussen deren Verhalten. Dies kann sich indirekt auf das Überleben von Populationen auswirken und könnte mit ein Grund sein für den Fischrückgang, den wir derzeit in der Schweiz beobachten. Die Forschenden decken Wirkmechanismen auf und machen Vorschläge, wie man diese Effekte bei der Zulassung und Evaluation von Insektiziden berücksichtigen könnte.

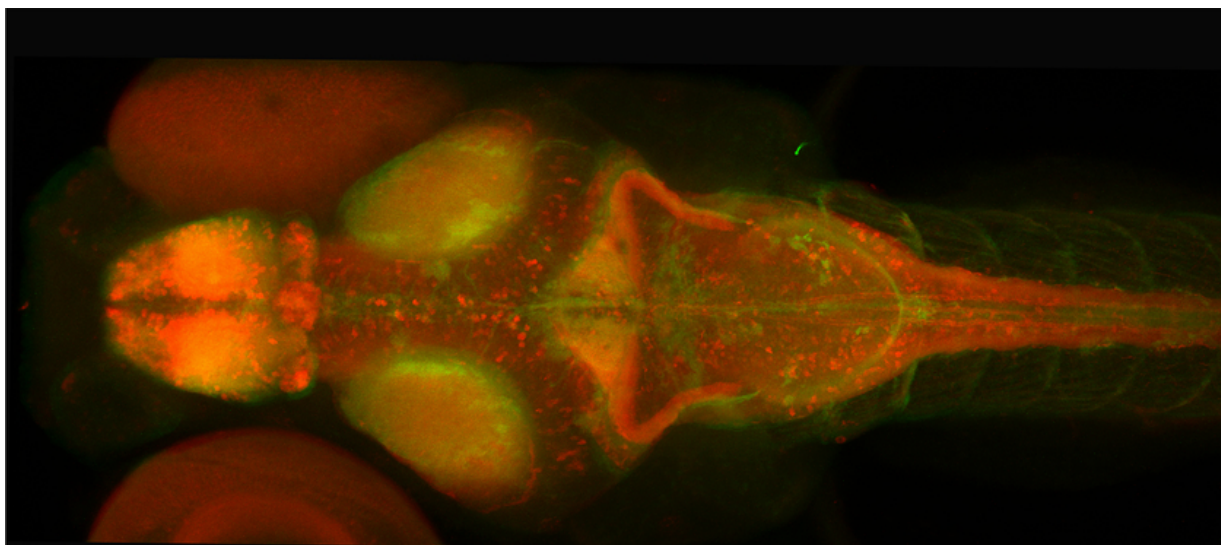
Insektizide haben einen schlechten Ruf. Die meisten wurden designt, um das Nervensystem von Schädlingen im Obst- und Ackerbau – wie etwa der Blattlaus – anzugreifen, machen aber oft auch vor dem Nervensystem anderer Organismen nicht Halt. Dazu gehören Bienen, Wasserinsekten und Wirbeltiere, wie Fische – oder der Mensch. Teilweise geschieht dies bereits in sehr geringen Konzentrationen. «Viele grundlegende Aspekte des Nervensystems haben sich im Lauf der Evolution nur wenig verändert», erklärt die Ökotoxikologin Sarah Könemann, die die Wirkung von Insektiziden in ihrer Doktorarbeit am Wasserforschungsinstitut Eawag und an der EPFL erforscht hat. Gewisse Insektizide greifen zum Beispiel bestimmte Moleküle im Nervensystem von Insekten an – aber fast genau die gleichen Moleküle besitzen auch wir in unserem Nervensystem. Deshalb können die Insektizide auch einen Einfluss auf den Menschen haben.

Die Konzentrationen, in denen Insektizide in der Umwelt vorkommen, sind meist nicht hoch genug, um akut toxisch – also tödlich – auf Wirbeltiere zu wirken. «Zwischen tödlicher Wirkung und keiner Wirkung ist jedoch ein sehr breites Feld», erklärt Könemann. «Hier wollte ich genauer hinsehen.»

Fische riechen bestimmte Insektizide

Die Forscherin untersuchte deshalb, wie sich sechs verbreitete Insektizide auf die Bewegungsmuster und die neuronale Aktivität im Gehirn von Zebrafischlarven auswirken. Sie fand heraus, dass die Fische die beiden Insektizide Imidacloprid und Diazinon als Stress wahrnahmen, wenn sie kurze Zeit einer hohen Konzentration davon ausgesetzt waren. Und: Könemann konnte nachweisen, dass die Fischlarven diese Insektizide gerochen haben und die Substanzen in der Folge mieden. «Auf den ersten Blick erscheint das als ein sinnvolles Verhalten», so die Forscherin. «Sie fliehen vor dem Insektizid und verhindern dadurch chronische Schäden.»

Allerdings kann eine derartige Verhaltensänderung auch negative Konsequenzen haben – zum Beispiel, wenn die Fische dadurch gewisse Lebensräume meiden. Dies kann dazu führen, dass sie nicht mehr ausreichend Geschlechtspartner finden oder Gebiete mit besonders reichem Futterangebot aufgeben. «Diese Effekte könnten daher ein weiterer Faktor sein, der sich negativ auf die Fischpopulationen auswirkt, die bereits durch andere Stressfaktoren beeinträchtigt sind.»

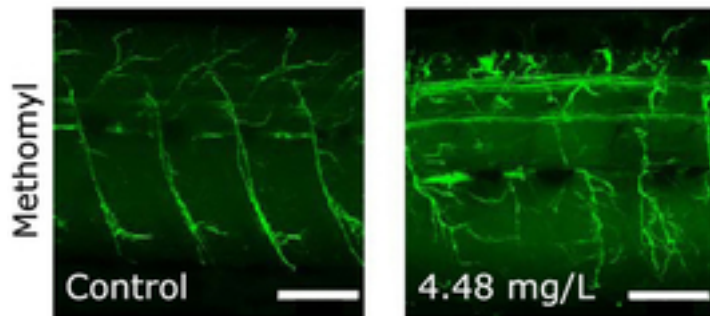


Ein mittels Konfokal-Mikroskopie aufgenommenes Bild eines Zebrafischgehirns, welches mit Fluoreszenzfarbstoffen gefärbt wurde um aktive (rot) und inaktive (grün) Nervenzellen sichtbar zu machen. (Foto: Eawag, Sarah Könemann)

Verhaltensänderung auf Knopfdruck

In ihrer Doktorarbeit hat sich Sarah Könemann auch das sich entwickelnde Nervensystem von Zebrafisch-Embryos angeschaut. «Wir hatten erwartet, dass bestimmte Insektizide gerade in dieser sensiblen Entwicklungsphase, wenn sich das Nervensystem ausbildet, einen besonders starken Einfluss haben würden», erklärt die Forscherin. Und tatsächlich konnte sie auch hier bei drei Vierteln der untersuchten Substanzen einen Effekt auf das Verhalten der Fische nachweisen: Die Larven bewegten sich weniger als Kontrollarven.

Könemann identifizierte auch strukturelle Veränderungen an den Muskelfasern sowie am peripheren Nervensystem, die das veränderten Bewegungsmuster erklären können. Was sie aber überraschte: Die meisten dieser Effekte waren (mit Ausnahme der Effekte durch Pirimicarb) reversibel, wenn die Larven dem Insektizid nicht mehr ausgesetzt waren. Das heisst: «Wir konnten die meisten Verhaltenseffekte und auch die strukturellen Veränderungen innert 72 Stunden rückgängig machen.»



Das Insektizid Methomyl führte zu strukturellen Veränderungen an den Nervenzellen im peripheren Nervensystem von Zebrafisch-Larven: Im Vergleich zur Kontrolle (links) sind rechts mehr Verästelungen der Nervenstränge entstanden. Dieser Effekt bildete sich zurück, wenn die Larven dem Insektizid nicht mehr ausgesetzt waren.

(Foto: Environ. Sci. Technol. 2022, 56, 12, 8449-8462)

Bedeutung für die Zulassung von Insektiziden

Könemanns Untersuchungen zeigten zudem, dass neuere Insektizide, die gezielt entwickelt wurden, um nur auf ein bestimmtes Organ zu wirken, das nur Insekten haben, auch keine weitreichenden Einflüsse auf das untersuchte Verhalten der Fische haben. Das gilt zum Beispiel für Pymetrozin und Flonicamid. «Das zeigt uns, dass man die Belastung für Wirbeltiere in der Umwelt reduzieren kann, wenn man Substanzen so entwickelt, dass sie spezifischer auf die Zielorganismen wirken», so Könemann.

Sie plädiert dafür, bei der Evaluation und Zulassung von Insektiziden nicht nur zu berücksichtigen, ob diese irgendwann zum Tod der Versuchstiere führen, sondern auch zu schauen, ob der Einsatz – schon bei viel geringeren Konzentrationen – Verhaltensänderungen nach sich zieht. «Da tut sich im Bereich der ökotoxikologischen Forschung derzeit viel, insbesondere bei der Entwicklung von Tests, mit denen die Wirkung von Insektiziden oder anderen Chemikalien auf das sich entwickelnde Nervensystem von Wirbeltieren bestimmt werden kann», sagt Könemann.

Allerdings: «Einfach nur zu untersuchen, ob eine Substanz das Verhalten der Tiere beeinflusst, reicht meiner Meinung nach nicht aus, um die Bedeutung eines solchen Effekts einordnen zu können. Ich empfehle, auch genau hinzuschauen, welche Mechanismen es sind, die zu den Verhaltensänderungen führen und wie gross das Potenzial der Organismen ist, sich wieder zu erholen.»

Prämierte Forschung

Um zu neuen Einsichten zu kommen, lohnt es sich, über den Tellerrand zu schauen. In ihrer Doktorarbeit hat Sarah Könemann etablierte Methoden aus den Neurowissenschaften in einen ökotoxikologischen Kontext gebracht und wurde für diese detaillierte und interdisziplinäre Arbeit 2022 mit dem [Rifcon Early Career Scientist Award](#) der weltweit aktiven Gesellschaft für Umwelttoxikologie und Umweltchemie (SETAC) ausgezeichnet.

Technology' (36 chars) year => protected2021 (integer) volume => protected55 (integer) issue => protected'17' (2 chars) startpage => protected'11835' (5 chars) otherpage => protected'11847' (5 chars) categories => protected'insecticide exposure; behavioral response; olfaction; neuronal activity; str

ess response' (88 chars) description => protected'In agricultural areas, insecticides inevitably reach water bodies via leachi

ng or run-off. While designed to be neurotoxic to insects, insecticides have adverse effects on a multitude of organisms due to the high conservation of the nervous system among phyla. To estimate the ecological effects of insecticides, it is important to investigate their impact on non-target organisms such as fish. Using zebrafish as the model, we investigated how different classes of insecticides influence fish behavior and uncovered neuronal underpinnings of the associated behavioral changes, providing an unprecedented insight into the perception of these chemicals by fish. We observed that zebrafish larvae avoid diazinon and imidacloprid while showing no response to other insecticides with the same mode of action. Moreover, ablation of olfaction abolished the aversive responses, indicating that fish smelled the insecticides. Assessment of neuronal activity in 289 brain regions showed that hypothalamic areas involved in stress response were among the regions with the largest changes, indicating that the observed behavioral response resembles reactions to stimuli that threaten homeostasis, such as changes in water chemistry. Our results contribute to the understanding of the environmental impact

t of insecticide exposure and can help refine acute toxicity assessment.' (1364 chars) serialnumber => protected'0013-936X' (9 chars) doi => protected'10.1021/acs.est.1c01792' (23 chars) uid => protected23455 (integer) _localizedUid => protected23455 (integer)modified _languageUid => protectedNULL _versionedUid => protected23455 (integer)modified pid => protected124 (integer) 1 =>

Snowflake\Publications\Domain\Model\Publicationprototypepersistent entity (uid=24965, pid=124) originalId => protected24965 (integer) authors => protected'Könemann, S.; von Wyl, M.; vom Berg, C.' (55 chars) title => protected'Zebrafish larvae rapidly recover from locomotor effects and neuromuscular al

terations induced by cholinergic insecticides' (121 chars) journal => protected'Environmental Science and Technology' (36 chars) year => protected2022 (integer) volume => protected56 (integer) issue => protected'12' (2 chars) startpage => protected'8449' (4 chars) otherpage => protected'8462' (4 chars) categories => protected'recovery; neuromuscular junction; immunohistochemistry; locomotion; axon gro

wth; muscle development; birefringence' (114 chars) description => protected'Owing to the importance of acetylcholine as a neurotransmitter, many insecticides target the cholinergic system. Across phyla, cholinergic signaling is essential for many neuro-developmental processes including axonal pathfinding and synaptogenesis. Consequently, early-life exposure to such insecticides can disturb these processes, resulting in an impaired nervous system. One test frequently used to assess developmental neurotoxicity is the zebrafish light–dark transition test, which measures larval locomotion as a response to light changes. However, it is only poorly understood which structural alterations cause insecticide-induced locomotion defects and how persistent these alterations are. Therefore, this study aimed to link locomotion defects with effects on neuromuscular structures, including motoneurons, synapses, a

nd muscles, and to investigate the longevity of the effects. The cholinergic insecticides diazinon and dimethoate (organophosphates), methomyl and pirimicarb (carbamates), and imidacloprid and thiacloprid (neonicotinoids) were used to induce hypoactivity. Our analyses revealed that some insecticides did not alter any of the structures assessed, while others affected axon branching (methomyl, imidacloprid) or muscle integrity (methomyl, thiacloprid). The majority of effects, even structural, were reversible within 24 to 72 h. Overall, we find that both neurodevelopmental and non-neurodevelopmental effects of different longevity can account for the reduced locomotion. These findings provide unprecedented insights into the underpinnings of insecticide-induced hypoactivity.' (1616 chars) serialnumber => protected'0013-936X' (9 chars) doi => protected'10.1021/acs.est.2c00161' (23 chars) uid => protected24965 (integer) _localizedUid => protected24965 (integer)modified _languageUid => protectedNULL _versionedUid => protected24965 (integer)modified pid => protected124 (integer) 2 => Snowflake\Publications\Domain\Model\Publicationprototypepersistent entity (uid=30029, pid=124) originalId => protected30029 (integer) authors => protected'von Wyl, M.; Könemann, S.; vom Berg, C.' (55 chars) title => protected'Different developmental insecticide exposure windows trigger distinct locomotor phenotypes in the early life stages of zebrafish' (128 chars) journal => protected'Chemosphere' (11 chars) year => protected2023 (integer) volume => protected317 (integer) issue => protected'' (0 chars) startpage => protected'137874 (10 pp.)' (15 chars) otherpage => protected'' (0 chars) categories => protected'spontaneous tail coiling; touch-evoked response; locomotion; recovery; critical window; insecticides; developmental neurotoxicity' (129 chars) description => protected'Due to their extensive use and high biological activity, insecticides largely contribute to loss of biodiversity and environmental pollution. The regulation of insecticides by authorities is mainly focused on lethal concentrations. However, sub-lethal effects such as alterations in behavior and neurodevelopment can significantly affect the fitness of individual fish and their population dynamics and therefore deserve consideration. Moreover, it is important to understand the impact of exposure timing during development, about which there is currently a lack of relevant knowledge. Here, we investigated whether there are periods during neurodevelopment of fish, which are particularly vulnerable to insecticide exposure. Therefore, we exposed zebrafish e

t using an age-matched behavior assay. We used the organophosphates diazinon and dimethoate, the carbamates pirimicarb and methomyl as well as the neonicotinoids thiacloprid and imidacloprid because they are abundant in the environment and cholinergic signaling plays a major role during key processes of neurodevelopment. We found that early embryonic motor behaviors, as measured by spontaneous tail coiling, increased upon exposure to most insecticides, while later movements, measured through touch-evoked response and a light-dark transition assay, rather decreased for the same insecticides and exposure duration. Moreover, the observed effects were more pronounced when exposure windows were temporally closer to the performing of the respective behavioral assay. However, the measured behavioral effects recovered after a short period, indicating that none of the exposure windows chosen here are particu

larly critical, but rather that insecticides acutely interfere with neuronal function at all stages as long as they are present. Overall, our results contribute to a better understanding... (2165 chars) serialnumber => protected'0045-6535' (9 chars) doi => protected'10.1016/j.chemosphere.2023.137874' (33 chars) uid => protected30029 (integer) _localizedUid => protected30029 (integer)modified _languageUid => protectedNULL _versionedUid => protected30029 (integer)modified pid => protected124 (integer)

Könemann, S.; Meyer, S.; Betz, A.; Županič, A.; vom Berg, C. (2021) Sub-lethal peak exposure to insecticides triggers olfaction-mediated avoidance in zebrafish larvae, *Environmental Science and Technology*, 55(17), 11835-11847, [doi:10.1021/acs.est.1c01792](https://doi.org/10.1021/acs.est.1c01792), [Institutional Repository](#)

Könemann, S.; von Wyl, M.; vom Berg, C. (2022) Zebrafish larvae rapidly recover from locomotor effects and neuromuscular alterations induced by cholinergic insecticides, *Environmental Science and Technology*, 56(12), 8449-8462, [doi:10.1021/acs.est.2c00161](https://doi.org/10.1021/acs.est.2c00161), [Institutional Repository](#)

von Wyl, M.; Könemann, S.; vom Berg, C. (2023) Different developmental insecticide exposure windows trigger distinct locomotor phenotypes in the early life stages of zebrafish, *Chemosphere*, 317, 137874 (10 pp.), [doi:10.1016/j.chemosphere.2023.137874](https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2023.137874), [Institutional Repository](#)

Finanzierung / Kooperationen

Eawag EPFL Universität Zürich Schweizerischer Nationalfonds

Links

Forschungsgruppe «Molekulare Toxikologie»

Informationen zu Pflanzenschutzmitteln im Wasser

Dialogtag Oekotoxzentrum

Kontakt



Colette vom Berg

Abteilungsleiterin

Tel. +41 58 765 5535

colette.vomberg@eawag.ch



Annette Ryser

Wissenschaftsredaktorin

Tel. +41 58 765 6711

annette.ryser@eawag.ch

<https://www.eawag.ch/de/info/portal/aktuelles/newsarchiv/archiv-detail/insektizide-koennen-das-verhalten-von-fischen-beeinflussen>