



Rückgang der Flussperlmuscheln – Analyse möglicher ökotoxikologischer Ursachen

Silke Gerstmann, Katja Poxleitner, Hartmut Frank*, Bayreuth; encetox@uni-bayreuth.de

Zusammenfassung

Die Flussperlmuschel, *Margaritifera margaritifera*, die seit Jahrtausenden in Gebirgsbächen und Flussoberläufen in Beständen von vielen Millionen Tieren zu finden war, ist in Mitteleuropa vom Aussterben bedroht; nur in den subarktischen Regionen Finnlands und Russlands gibt es noch vitale Populationen. Muscheln in Nordbayerischen Bächen weisen dünne, brüchige Schalen auf, was auf unzureichende Calcium-Versorgung hindeutet. Chlorierte Insektizide wie DDT und das Schwermetall Cadmium, die beide auf verschiedenen physiologischen Ebenen die Calcium-Homöostase stören, sind in diesen Tieren in relativ hohen Konzentrationen vorhanden. Analytisch-chemische Untersuchungen und biochemisch-ökotoxikologische Überlegungen legen Kausalzusammenhänge nahe, auf deren Grundlage Rettungsmaßnahmen ergriffen werden können.

Einleitung

Nahezu unbemerkt, weil ohne wirtschaftliches Interesse, gehen in heimischen Gewässern die Populationen von Mollusken stark zurück. Flussperlmuscheln, die vom endgültigen Aussterben bedroht sind, besitzen ovale, braune bis schwarze Schalen, die Längen von bis zu 15 cm erreichen können (Abb. 1).



Abb. 1: *Margaritifera margaritifera* im Aquarium auf Glasperlen als künstlichem Substrat

In der Mitte des vorigen Jahrhunderts gab es sie in deutschen Mittelgebirgsbächen noch zu Millionen; auch in anderen Ländern Europas waren sie weit verbreitet. Ebenso stehen die Wasserschnecke *Anisus vorticulus* (Troschel), die Süßwas-

sermuscheln *Pseudanodonta complanata* (Rossmässler) und *Anodonta anatina* (Linnaeus) auf der Roten Liste [1]. Als Ursachen für den Rückgang in Mitteleuropa werden zahlreiche Faktoren diskutiert: Verdichtung des Bachbetts durch Feinsedimente aus der Landwirtschaft, Eutrophierung, Belastung durch Abwässer, Versauerung. Ökosysteme wie Bachläufe werden aber von so vielen Faktoren bestimmt und beeinflusst, dass erst bei Zusammenführen von chemischer Analytik, biologisch-hydrologischen Untersuchungen und ökotoxikologischen Betrachtungen die Hoffnung besteht, die Ursachen für diesen Rückgang aufklären zu können.

Nur weil Flussperlmuscheln in Mitteleuropa über 100 Jahre alt werden können, - im subarktischen Lappland und Nord-Russland sogar über 200 Jahre -, gibt es in Deutschland noch lebende Exemplare, die aber fast alle über 50 Jahre alt sind. Trotz der seit zwei Jahrzehnten verbesserten Wasser-Qualität der Bäche und Fluss-Oberläufe, in denen früher Flussperlmuscheln vorkamen, Kläranlagenbau und Vorschriften zur Einhaltung von breiten Gewässer-Schutzstreifen bei der Ausbringung von Dünge- und Pflanzenschutz-Mitteln ist eine Verjüngung der Populationen nicht zu beobachten; im Gegenteil, die Bestände nehmen weiter ab, weil erwachsene Tiere sterben und juvenile Muscheln nicht überleben.

Lebenszyklus

Der Lebenszyklus der Flussperlmuschel ist komplex, und daher sind die Tiere gegenüber Änderungen ihrer Umwelt-Bedingungen besonders empfindlich. Sie leben in nährstoffarmem Wasser, frei von eutrophierenden Substanzen wie Nitrat und Phosphat, mit relativ geringer Leitfähigkeit und niedrigen Elektrolyt-Gehalten. Ein guter Bestand an Forellen oder Lachsen als Zwischenwirte ist nötig, und der Bachgrund sollte ein durchströmtes Kiesbett sein, mit wenig Feinsediment. Im Frühjahr setzen männliche Muscheln Spermien ins Wasser frei, die die weiblichen Muscheln befruchten, die ihrerseits im Spätherbst Millionen von Muschellarven, sogenannte Glochidien, ins Wasser abgeben. Diese Embryonal-Formen der Perlmuschel müssen sich zum Überwintern an den Kiemen von Wirtsfischen anhaften, wo sie sich parasitär ernähren. Im Frühjahr fallen die Jungmuscheln (Abb. 2), die dann eine Größe von 0,2 bis 0,5 mm haben, von den Kiemen der Fische ab und leben im kiesigen Geröll des Bachbetts, bis sie im Alter von 5-10 Jahren einige Zentimeter groß sind und allmählich an die Bachbett-Oberfläche wandern. Alle Lebensphasen-Übergänge sind mit enormen Verlusten verbunden, und von den Millionen Glochidien schaffen es nur wenige bis zum Jungmuschel- und frühen Erwachsenen-Stadium [2];

besonders verlustreich ist der Übergang aus der parasitären Phase zum freien Juvenil-Stadium.



Abb. 2: Juvenile Flussperlmuschel, die ihren Fuß zum Ertasten und Einfangen von Nahrungspartikeln herausstreckt.

Muscheln benötigen zum Überleben saubere Gewässer, die aber meist auch arm an Calcium (Ca) sind, ein für alle Lebewesen essentielles Makro-Element, das für zelluläre Membranstabilisierung, Muskelkontraktion, Nervenreizleitung, Regulierung von Zellteilung und Zellwachstum [3] wesentlich ist. Besonders Mollusken benötigen für die Entwicklung ihrer Schalen große Ca-Mengen. Auch Perlen, die von Muscheln zur Ummantelung von Fremdkörpern gebildet werden, sind Produkte des Ca-Stoffwechsels.

Vergleiche von Perlmuschel-Schalen aus den sich noch weitgehend normal reproduzierenden Beständen Nordfinnlands mit denen von Tieren aus Oberfranken zeigen, dass die Schalen der letzteren dünner sind und relativ wenig kristallines Calciumcarbonat eingelagert haben. Dies ließ vermuten, dass die Störung der Ca-Homöostase und ein dadurch verursachter tendenzieller Ca-Mangel die Vitalität der Perlmuscheln in ihren verschiedenen Lebensstadien schwächen. Dies ist umso bedeutsamer, als Muscheln für den Ca-Stoffwechsel ca. 30 % ihrer gesamten metabolischen Energie [4] aufwenden.

DDT, DDE, PCB und Cadmium

Muscheln sind als filtrierende Organismen besonders stark durch solche Fremdstoffe gefährdet, die in der Schwebeteilchen-Fraktion und im Sediment angereichert sind. Dies ist für persistente organische Fremdstoffe (POP) wie DDT/DDE und polychlorierte Biphenyle (PCB) und für manche Schwermetalle der Fall. In den 1950er und 60er Jahren wurde das Insektizid DDT in großen Mengen verwendet; sein wichtigster Metabolit ist DDE. Seit 1929 wurden PCB in großen Mengen produziert und als hydraulische Flüssigkeiten, als Wärmeträger oder als Flammenschutzmittel eingesetzt. Weiterhin gelangt das Schwermetall Cadmium (Cd) als relativ flüchtiges Metall bei der Verbrennung fossiler Kohle in die Atmosphäre und wird regional verbreitet und durch Regen und Schnee in ländlichen Gebieten deponiert. Außerdem gelangt es durch industrielle Verwendung in den Klärschlamm und durch dessen landwirtschaftliche Verwendung in die Umwelt.

Der Rückgang der Perlmuschelbestände simultan zum Anstieg der POP-Emissionen legt nahe, dass ein wesentlicher Faktor eine mit der DDT/DDE-Belastung und dessen Bioakkumulation einhergehende Ca-Stoffwechselstörung ist, wie sie auch bei Greifvögeln zur Reduktion der Eischalen-Dicke führt [5,6]; allgemein erkannt sind auch die endokrinen Wirkungen von DDT/DDE

Die tendenzielle Ca-Unterversorgung der Muscheln wird durch das ebenfalls bioakkumulierte Cd verschärft. Der typische toxische Effekt von Cd ist die Behinderung der Ca-Rückresorption aus dem Primärfiltrat in den Nephronen der Niere [3, 7-8] und damit ein kontinuierlicher Ca-Verlust.

Ebenso wie die POP tritt Cd hauptsächlich adsorbiert am suspendierten Sediment sowie im Sediment selbst auf. Ersteres ist die Hauptnahrungsquelle der Flussperlmuscheln, letzteres das Substrat auf dem sie leben.

Quantitative Bestimmungen von DDT + DDE und Cd wurden an Flussperlmuscheln aus dem Zinnbach (Rehau, Oberfranken) und aus dem Fluss Suomo (Nord-Lapland, Finnland) durchgeführt und zu den Ca-Konzentrationen in den Speicher-Geweben der Tiere in Beziehung gesetzt. Außerdem wurde die Belastung der Tiere mit PCB bestimmt. Muscheln aus Oberfranken zeigen im Fettgewebe ca. sechsmal höhere DDT/DDE-Werte als Tiere aus Finnland (Abb. 3); Cd ist im Eingeweidesack, der die Niere enthält, ca. zehnmal höher. Entsprechend ist der Ca-Gehalt in den Kiemen, im Mantel- und Adduktorgewebe in Muscheln aus Deutschland signifikant niedriger als bei Tieren aus Finnland, obwohl die Verfügbarkeit von Ca, wie die tendenziell höheren Ca-Werte im Eingeweidesack der Muscheln aus Deutschland zeigen, nicht geringer ist als für Tiere aus Finnland. Im Prinzip steht den Muscheln in oberfränkischen Bächen also genügend Ca zur Verfügung; außerdem können sie einem zeitweiligen Ca-Mangel durch Mobilisierung aus den Schalen entgegenwirken [9].

Muscheln aus Oberfranken können also Ca durch die POP-Wirkung offenbar nicht in ausreichendem Maß aufnehmen und im Körper halten, sondern verlieren es unter der Wirkung von Cd wieder durch die Niere.

Diese Befunde zeigen, dass beide Fremdstoffe in funktionell synergistischer Weise den Ca-Stoffwechsel der Muscheln stören. Die signifikant niedrigeren Ca-Gehalte in Kiemen und im Mantel- und Adduktor-Gewebe sind ein sicheres Zeichen für eine gravierende Störung der Ca-Homöostase.

Zusätzlich sind die Perlmuscheln mit PCB und Hexachlorbenzol (HCB) belastet. Während die HCB-Gehalte in Tieren aus Deutschland und Finnland vergleichbar sind, sind PCB im Fettgewebe der Perlmuscheln aus Finnland mehr als doppelt so hoch wie in Tieren aus Deutschland (Abb. 4). Eine Erklärung für diese Differenzierung gibt es bisher nicht.

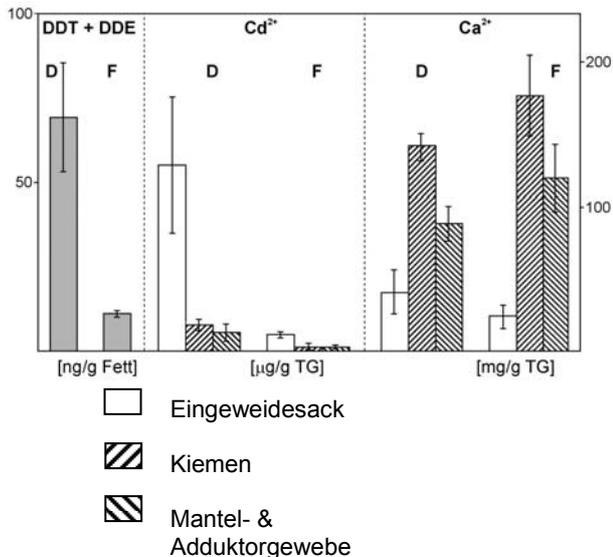


Abb. 3: DDT + DDE (ng/g Fett, n = 3), Cd (µg/g Trockengewicht, TG, n = 5) und Ca (mg/g TG, n = 5) in *M. margaritifera* aus Deutschland (D) und Finnland (F)

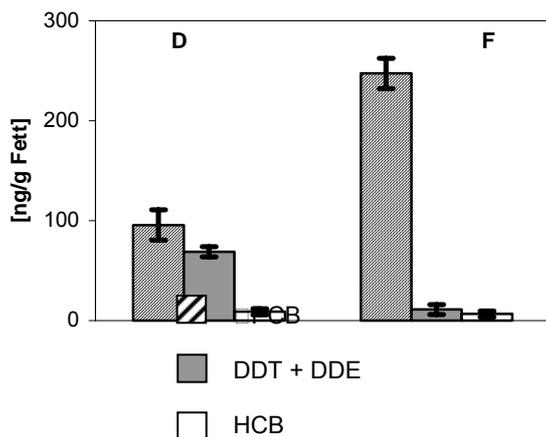


Abb. 4: ΣPCB, DDT + DDE und HCB (ng/g Fett, n = 3) in *M. margaritifera* aus Deutschland (D) und Finnland (F) (ΣPCB = PCB 28, 52, 77, 81, 101, 105, 114, 118, 123, 126, 138, 153, 156, 157, 167, 180, 189)

Weitere analytisch-umweltchemische und biochemisch-ökotoxikologische Untersuchungen sind erforderlich, um entsprechende öko-therapeutische Maßnahmen zur Rettung der Perlmuschel in Deutschland mit Aussicht auf Erfolg zu entwickeln und die wenigen noch vitalen Tiere zu erhalten. Endgültig kann die Frage nach den Ursachen des Rückgangs der Mollusken aber erst dann als vollständig beantwortet betrachtet werden, wenn wieder eine natürliche Populationsverjüngung einsetzt.

Experimenteller Teil

Margaritifera margaritifera: In Deutschland wurden Muscheln am Zinnbach bei Rehau, Oberfranken, im August 2002 gesammelt, in Finnland am Fluss Suomo im Oktober 2004. Sie wurden direkt ins Labor gebracht und bei -20 °C gelagert. Zur Analyse wurden die Proben gefriergetrocknet.

DDT, DDE, PCB, HCB Analysen: DDT, DDE, PCB und HCB Extraktionen wurden mit einem Accelerated Solvent Extractor (ASE 200, Dionex Ltd., Camberley, Surrey, U.K.) durchgeführt. Die quantitative Analyse erfolgte mittels Kapillar-GC (5890 Series II, Hewlett-Packard; DB-5MS, 30 m x 0.25 mm x 0.25 µm, Agilent Technologies) gekoppelt mit hochauflösender Massenspektrometrie (VG-AutoSpec-Ultima).

Cadmium und Calcium Analysen: Die Gewebeproben wurden in einem Hochdruckverascher (Anton Paar, Graz, Österreich) aufgeschlossen. Calcium wurde mit induktiv gekoppelter ICP-OES (GBC, Integra XMP; Nachweisgrenze: 0.05 mg/L), Cadmium mit induktiv gekoppelter ICP-MS (Agilent 7500 C; Nachweisgrenze: 0.5 µg/L) bestimmt. Zur Kalibrierung diente das Europäische Referenzmaterial ERM[®]-CE278 (Promochem, Wesel, Deutschland).

Literatur

- [1] Bayerisches Staatsministerium für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz: Rote Liste der gefährdeten Tiere und Gefäßpflanzen Bayerns, 2005.
- [2] Young M. R., Cosgrove P. J., Hastie L. C. in: Ecology and Evolution of the Freshwater Mussels Unionoida, Ecological Studies, Volume 145, Bauer G., Wächtler K. (Eds.), Springer-Verlag, Berlin, Germany, 2001, p. 337ff.
- [3] Larsson, D., Nemere, I.: J. Biomed. Biotechnol. 2:3, 117-119 (2002).
- [4] Schatzmann, H. J. J.: Physiol. (London) 235, 551-569 (1973).
- [5] Ratcliffe, D. A.: Nature 215, 208-210 (1967).
- [6] Ratcliffe, D. A.: J. Appl. Ecol. 7, 67-115 (1970).
- [7] Leffler, P. E., Taiyi, J., Nordberg, G. F.: Toxicol. 143, 227-234 (2000).
- [8] Sonne-Hansen, C., Dietz, R., Leifsson, P. S., Hydstrup, L., Riget, F. F.: Sci. Total Environ. 295, 167-181 (2002).
- [9] Machado, J., Castilho, F., Coimbra, J., Sá, C., Monteiro, E.: Tissue Cell 20, 797-807 (1988).

Danksagung

Wir danken der Fachberatung für Fischerei des Bezirks Oberfranken, besonders Herrn Dr. R. Klupp und Herrn Dr. J. Schadt, dem Bezirksfischereiverband Oberfranken und seinem Präsidenten Herrn A. Schütze, sowie dem Regierungspräsidenten Herrn Hans Angerer als Vorsitzendem der Oberfranken-Stiftung für die finanzielle Unterstützung. Besonderer Dank gilt Herrn Dr. Y. Norokorpi, Finnish Forest and Park Service Metsähallitus, Rovaniemi, Finnland, für die Überlassung von Flussperlmuscheln aus dem Fluss Suomo. Ebenso danken wir dem Wasserwirtschaftsamt Hof für das Überlassen frischtotter Flussperlmuscheln.

Korrespondenzadresse

Prof. Dr. Hartmut Frank
Lehrstuhl für Umweltchemie und Ökotoxikologie, Universität Bayreuth, D-95440 Bayreuth
Tel: 0921/55-2373, Fax: 0921/55-2334