

Vorteile und Grenzen des Einsatzes von Bioindikationsmethoden bei der Beurteilung von Gewässerbeeinträchtigungen

D. Kury

Life Science AG, Greifengasse 7, CH-4058 Basel

E-mail daniel.kury@lifescience.ch

Kurzfassung Bioindikatoren sind ein vielseitig einsetzbares Werkzeug zur Bewertung des Zustands von Gewässern und dessen Veränderungen. Entsprechend der stark veränderten Beeinträchtigungen wurden die Methoden zur biologischen Bewertung der Gewässer sukzessive weiterentwickelt und bezüglich ihrer Empfindlichkeit und Aussagekraft stark verbessert. In Gewässern werden Fische, Makrozoobenthos, Kieselalgen, Vegetation und Meiobenthos am häufigsten eingesetzt. Menschliche Aktivitäten verursachen verschiedene Veränderung der Lebensräume. Diese werden mit Hilfe geeigneter Bioindikatoren untersucht. Eine Zusammenstellung zeigt auf, welche Indikatororganismen zur Überwachung und Beurteilung der Auswirkungen gängiger Massnahmen beispielsweise in den Bereichen Abwasserreinigung, Siedlungsentwässerung, Revitalisierung/Hochwasserschutz, Tiefbau, Landwirtschaft und Energieproduktion eingesetzt werden.

Schlagwörter: Biomonitoring, Erfolgskontrolle, Fliessgewässer

1 AUSGANGSLAGE

Die Bioindikation zur Bewertung des Gewässerzustands wird seit über 100 Jahren eingesetzt. Der als Folge der steigenden industriellen Aktivitäten als erstes festgestellte Rückgang der Fischbestände, bildete den Anlass zur Bezeichnung von Zeigerorganismen, die das Ausmass der Gewässerbelastung angeben. Während der Industrialisierung bestand die Belastung vor allem aus toxischen Substanzen und biologisch abbaubaren Stoffen. Die Auswirkungen waren einerseits der Tod oder die direkte Schädigung von Organismen und andererseits eine stark reduzierten Sauerstoffkonzentration als Folge der erhöhten Abbauprozesse.

Mit der Entwicklung der Aufgaben des Gewässerschutzes von der Vermeidung von Abwassereinleitungen hin zu einer gewässerökologischen Querschnittaufgabe haben sich die Themenfelder stark diversifiziert. Während zur Pionierzeit der Gewässerschutzgesetzgebung nach 1950 in erster Linie die Reduktion der Abwassermenge und der Fracht der organischen Belastungen im Zentrum standen, kamen nach ersten Erfolgen der ergriffenen Massnahmen bald neue Probleme hinzu wie zum Beispiel Pflanzenschutzmittel, Phosphatzusätze in Waschmitteln, Belastungen aus der Siedlungsentwässerung, Ökomorphologie, Mikroverunreinigungen oder hormonähnliche Substanzen. Schliesslich rückte die integrale Betrachtung des Lebensraums Gewässer ins Zentrum, was zur aktuell umzusetzenden Forderung einer Wiederherstellung der natürlichen Funktionen und der Revitalisierung der Gewässerlebensräume.

Die Bioindikation war seit Beginn des Gewässerschutzes ein Überwachungsinstrument und wurde laufend den jeweils neuen Bedürfnissen angepasst. So liegt nach über 100 Jahren Anwendung eine breite Auswahl von Ansätzen und Methoden zur Beurteilung des Zustands der Gewässer vor, die ausgehend von den wichtigsten Zielen nachfolgend vorgestellt werden sollen.

2 ZIELE UND EINSATZMÖGLICHKEITEN DER BIOINDIKATION

Im Lauf der Zeit wurde das Ziel formuliert, eine möglichst einfache Methode zu entwickeln, die möglichst viele Beeinträchtigungen des Gewässers abbilden. In der Bioindikation wird dazu ein standardisiertes Verfahren verwendet, das aus Felderhebungen, dem Verarbeiten von Proben und dem

Bestimmen der erfassten Organismen besteht. Die Ergebnisse werden üblicherweise als biologische Werte ausgedrückt (Karr & Chu, 1999), mit Referenzzuständen oder -grössen verglichen und schliesslich Zustandsklassen zugeordnet. Die Beeinträchtigungen, die mit Hilfe der Bioindikation erfasst werden können betreffen jeweils verschiedene Aspekte der Wasserqualität, der Habitatstruktur, des Abflussregimes, der Nahrungs- und Energiequellen sowie biotischer Interaktionen (Tabelle 1).

Im Prinzip können alle Veränderungen der Gewässerlebensräume mit Bioindikatoren untersucht und bewertet werden. In der Schweiz wurden für eine Reihe von grundlegenden Fragestellungen Bioindikationsmethoden entwickelt. Sie sind im «Modulstufenkonzept» (MSK) zusammengefasst, welches aus verschiedenen methodischen Ansätzen («Module») besteht, die in unterschiedlich grossen Untersuchungsräumen («Stufen») verwendet werden können (www.modul-stufen-konzept.ch).

Das Schwergewicht des Modulstufenkonzepts liegt auf der Bewertung des Zustands von Fliessgewässern und umfasst die abiotischen Module Ökomorphologie, Hydrologie, Temperatur und Chemie sowie die eigentlichen Bioindikationsmodule Äusserer Aspekt, Makrozoobenthos, Kieselalgen, Fische und Ökotoxikologie. Bei der Erfolgskontrolle der Gewässerrevitalisierungen werden ebenfalls Bioindikationsmethoden angewendet (Woolsey et al., 2005). Im entsprechenden Handbuch werden über 50 Messgrössen vorgeschlagen, die je nach Revitalisierungsprojekt eingesetzt werden können.

Tabelle 1: Wichtige Veränderungen der Gewässer, die durch menschliche Aktivitäten verursacht werden.

| Veränderungen | Komponenten | Typische Quellen / Verursacher |
|---|------------------------------------|---|
| Wasserqualität | Temperatur | Kühlung, Abwasser, Siedlungswasserwirtschaft, Restwasser |
| | Trübung | Abwasser, Siedlungswasserwirtschaft, Landwirtschaft (Erosion) |
| | Gelöster Sauerstoff | Abwasser, Siedlungswasserwirtschaft, Industrie |
| | pH | Industrie, Luft, |
| | Alkalinität | |
| | organische/anorganische Stoffe | Industrie, Landwirtschaft |
| | Toxische Substanzen | Industrie, Landwirtschaft (Pestizide), Altlasten, |
| | Schwermetalle | Industrie, Luft |
| Habitatstruktur Ökomorphologie | Substrattyp | Kraftwerke, Erosion |
| | Wassertiefe, Fliessgeschwindigkeit | Kraftwerke, Hochwasserschutz |
| | Räumliche Habitatvielfalt | Siedlung, Hochwasserschutz |
| Abflussregime | Wasservolumen | Kraftwerke |
| | Abflussereignisse | Kraftwerke, Landwirtschaft |
| Nahrungs-, Energiequelle | Typ, Menge, Grösse der Partikel | Abwasser, Kraftwerke, Landwirtschaft, |
| | Jahreszeitliche Verfügbarkeit | Unterhalt, Landwirtschaft |
| Biotische Interaktionen | Konkurrenz | Neozoen, Fischerei |
| | Prädation | Neozoen, Fischerei |
| | Krankheiten | Fischerei |
| | Parasitismus | Fischerei |
| | Mutualismus | Landwirtschaft, Abwasser |

Im Vergleich zur chemischen Analytik besitzen Bioindikationsmethoden den Vorteil, dass sie direkt oder indirekt die Veränderungen (Beeinträchtigungen und Verbesserungen) der Lebensgemeinschaft aufzeigen. Ihr Nachteil besteht darin, dass die Ursache der Beeinträchtigung in vielen Fällen nicht direkt benannt werden kann.

3 BEISPIELE DER ANWENDUNG

Die folgenden Fallbeispiele zeigen verschiedene Anwendungsbereiche und Fragestellungen, bei denen die Bioindikation mit Gewässerorganismen eingesetzt wurde.

Bei der Untersuchung des Einflusses von **Entlastungen aus der Mischwasserkanalisation** auf die Lebensgemeinschaft der Fliessgewässer werden der Äussere Aspekt (Ciliaten, Abwasserbakterien, Bewuchs mit Aufwuchsalgen und Moosen, Entstehung von FeS-Flecken), Kieselalgen und Makrozoobenthos (Kleintiere > 2 mm) eingesetzt (AquaPlus, 2009, Küry et al., 2015). Diese erlauben Rückschlüsse auf die Häufigkeit und Intensität der Entlastungsereignisse und ermöglichen Aussagen über die stoffliche Belastung und die hydraulische Beeinträchtigung der untersuchten Strecken.

Mit Hilfe von Kieselalgen und dem Makrozoobenthos werden auch die Auswirkungen von Boden-**Abschwemmungen aus intensiv landwirtschaftlich genutzten Flächen** untersucht. Der SPEAR-Index ermöglicht dabei spezifische Aussagen zur Beeinträchtigung auf der Basis der Empfindlichkeit der Arten gegenüber Pflanzenschutzmitteln (Liess & von der Ohe, 2005).

Mit dem Rhithron-Ernährungstypen-Index (RETI) des Makrozoobenthos wird untersucht, wie stark die Lebensgemeinschaft im untersuchten Abschnitt von derjenigen einer Referenzstrecke in gleicher Lage innerhalb eines Fliessgewässereinzugsgebiets abweicht. Dieses kann allgemein verwendet werden beim **Vergleich von Gewässerstrecken mit unterschiedlicher Struktur**.

4 WAHL DER METHODE IN DER PRAXIS

In der Schweiz werden zur Zeit verschiedene Methoden eingesetzt, die in Ergänzung zu den Bioindikationsmethoden des Modulstufenkonzepts für verschiedene Fragestellungen zur Anwendung kommen. Als Ansatz wird bei Untersuchungen zur Wasserqualität und zur Struktur mehrheitlich ein Monitoring gewählt. Bei Erfolgskontrollen von Revitalisierungen oder sonstigen Veränderungen kommen BACI-Untersuchungen zur Anwendung (before/after – controll/impact), welche die veränderte Strecke vor und nach dem Eingriff mit einer Referenzstrecke vergleichen. Am häufigsten werden Fische, Makrozoobenthos (IBCH, Stucki, 2010), Kieselalgen (DI-CH, Hürlimann & Niederhauser, 2007) und Vegetation als Indikatororganismen eingesetzt (Tabelle 2). In wenigen Studien wurden auch die Auswirkungen von Revitalisierungen auf das Meiobenthos (Kleintiere von 0,5 bis 2 mm Grösse) in der hyporheischen Zone und im Grundwasser untersucht (Life Science, 2003).

Zur Beurteilung der Einflüsse der Siedlungsentwässerung können das Makrozoobenthos und/oder die Kieselalgen eingesetzt werden. In früheren Untersuchungen wurden auch Behälter mit Substrat exponiert (Mesokosmen) und deren Besiedlung durch das Makrozoobenthos unterhalb und oberhalb einer Entlastungsstelle verglichen (Krejci et al. 1994).

Verbesserungen der Abwasserreinigungsanlagen aber auch eine kontinuierliche Zunahme der Belastung als Folge einer Überlastung von Abwasserreinigungsanlagen werden im Rahmen eines Monitoring des Makrozoobenthos und / oder der Kieselalgen durchgeführt. Für diese Fragestellung liegt in vielen Kantonen bereits eine lange Zeitreihe von Bioindikatoruntersuchungen vor, die bis in die 1980er-Jahre zurückreichen.

Oft werden beim Bau von Strassen Quell-Lebensräume verändert oder die Austrittsstelle verlegt. Das Ausmass dieser Veränderungen kann mit Hilfe des Makrozoobenthos und des Meiobenthos beurteilt werden.

Mit Drainagen oder Meliorationen wurde früher Landwirtschaftsland neu gewonnen oder ertragreicher gemacht. Der Rückbau von Drainagen und die Wiedervernässung von Talsohlen schaffen neue Lebensräume. Die Wirkungskontrolle berücksichtigt dabei das Makrozoobenthos aber auch aquatische Wirbeltiere.

Eindolungen dürfen nur noch bei höher einzustufenden Interessen gebaut werden. Die Ausdolung von Fliessgewässern hingegen ist eine wichtige Revitalisierungsmassnahme, bei der zum Beispiel die Veränderung der Wanderung von Fische oder des Makrozoobenthos im Rahmen eines Monitorings untersucht werden kann.

In intensiv landwirtschaftlich genutzten Gebieten finden oft beträchtliche Abschwemmungen von Bodenpartikeln, Dünger und Pflanzenschutzmitteln statt. Makrozoobenthos mit den SPEAR-Index und Kieselalgen mit dem Diatomeenindex (DI-CH) sind gängige Ansätze im Rahmen von Erfolgskontrollen.

Bei Veränderungen der Gewässer im Rahmen des Kraftwerksbetriebs ist vor allen die Durchgängigkeit für Fisch und Makrozoobenthos ein wichtiger Parameter bei der Wirkungskontrolle. Meist werden sie als BACI-Untersuchungen auf verschiedenen Strecken durchgeführt.

Tabelle 2: Praktischer Einsatz der Bioindikation zur Beurteilung verschiedener Massnahmen. MSK: Modulstufenkonzept, IBCH: Indice Biologique CH (Makrozoobenthosmethoden im MSK), DI-CH: Diatomeen- (Kieselalgen-) Index innerhalb des MSK, SPEAR: Species at Risk (Methode zur Bewertung der Belastung mit Pflanzenschutzmitteln), BACI: before/after – control/impact-Untersuchung.

| Massnahme | Organismengruppe | Beispiele Indices, Vorgehen |
|---|--|--|
| Revitalisierung / Renaturierung / moderner Hochwasserschutz | Fische, Makrozoobenthos, Meiobenthos, Ufervegetation | Handbuch Erfolgskontrolle, MSK Fische, BACI |
| Siedlungsentwässerung (Kanalisation) | Makrozoobenthos, Kieselalgen | IBCH, DI-CH, Ökotoxizität, Mesokosmen, Monitoring |
| Veränderung Abwasserreinigungsanlagen | Makrozoobenthos, Kieselalgen | IBCH, DI-CH, Saprobität, BACI |
| Tiefbau, Brücken, Strassen | Fische, Makrozoobenthos | MSK Fische, Durchgängigkeit, Diversität, Dichte, |
| Verlegung von Quellen | Meiobenthos, Makrozoobenthos | Diversität, Dichte, ökologische Bindung an Quellen, BACI |
| Rückbau Drainagen, Melioration | Makrozoobenthos, Vegetation | Diversität, Dichte, BACI |
| Rückbau von Strecken mit Eindolungen | Fische, Makrozoobenthos | Besiedlung unterhalb und oberhalb Eindolung, Durchgängigkeit, BACI |
| Landwirtschaft (Pflanzenschutzmittel, Dünger) | Makrozoobenthos, Kieselalgen | Dichte, Diversität, SPEAR, DI-CH, Monitoring |
| Bau oder Rückbau Kraftwerke | Fische, Makrozoobenthos, | MSK Fische, Durchgängigkeit, IBCH, Dichte, Diversität, Monitoring Fischaufstieg, Fischabstieg |

5 SCHLUSSFOLGERUNGEN

Den Gewässerökologen steht eine breite Auswahl von biologischen Ansätzen zur Bewertung von gewässerrelevanten Massnahmen zur Verfügung. Mit einem Einsatz bei der Überwachung und im Rahmen von Erfolgskontrollen können damit Beeinträchtigungen aufgezeigt oder die Wirkungen vollzogener Eingriffe beurteilt werden. Dabei liegt der Fokus auf der im Rahmen der Gewässerschutzgesetzgebung immer wichtiger gewordenen aquatischen Lebensgemeinschaft als Gesamtes. Mit einer frühzeitigen Planung des Einbezugs eines der vielfältigen Ansätze der Bioindikation können Projekte an den Gewässern im Hinblick auf ihre Wirkung auf die Gewässer und ihre Lebensgemeinschaft beurteilt werden. Werden die gesteckten Ziele nicht erreicht, können die Massnahmen entsprechend ihrer Auswirkungen auf die aquatische Biozönose optimiert und im Hinblick auf zukünftigen Vorhaben verbessert werden.

6 REFERENZEN

- AquaPlus, 2009. Konzept für die immissionsorientierte Erfolgskontrolle Unveröffentlichter Bericht, Departement Bau, Verkehr, Umwelt Kanton Aargau.
- Birk, S., Bonne, W., Birja, A., Brucet, S., Courrat, A., Poikane, S., Solimini, A., van de Bund, W., Zampoukas, N. and Hering, D. 2011. Three hundred ways to assess Europe's surface waters: An almost complete overview of biological methods to implement the Water Framework Directive. *Ecological Indicators* 18: 31–41.
- Bonada, N., Prat, N., Resh, V. H. and Statzner B. 2006. Developments in Aquatic Insect Biomonitoring: A Comparative Analysis of Recent Approaches. *Annual Review of Entomology* 51: 495–523.
- Hürlimann, J. and Niederhauser, P. 2007. Methoden zur Untersuchung und Beurteilung der Fliessgewässer. Kieselalgen Stufe F (flächendeckend). Umwelt-Vollzug Nr. 0740. Bundesamt für Umwelt, Bern. 130 S.
- Karr, J.R., Chu, E.W., 1999. Restoring Life in Running Waters: Better Biological Monitoring. Island Press, Washington.
- Krejci, V., Fankhauser R., Gammeter S., Grottker M., Harmuth B., Merz P. and Schilling, W. 1994. Integrierte Siedlungsentwässerung Fallstudie Fehraltdorf, EAWAG, Dübendorf.
- Küry, D., Mertens, M., King, L. and Ritschl, A. 2015. Ökologischer Gewässerzustand im Birsig. Erfolgskontrolle der Sanierung von Mischwasserentlastungen, Ausgangszustand 2015. Unveröffentlichter Bericht, Amt für Industrielle Betriebe Basel-Landschaft.
- Liess, M. and von der Ohe, P. C. 2005. Analyzing effects of pesticides on invertebrate communities in streams. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 24 (4), 954-965.
- Life Science, 2003: Revitalisierung Wiese. Auswirkungen auf die Lebensgemeinschaften der Flusssohle und des Grundwassers. Unveröffentlichter Bericht, Tiefbauamt Basel-Stadt.
- Niemi, G. J. & McDonald, M. E. 2004. Application of ecological Indicators. *Annual Review of Ecology and Systematics* 35: 89–111.
- Schager, E. and Peter, A., 2004. Fische Stufe E (flächendeckend). Methoden zur Untersuchung und Beurteilung der Fliessgewässer. Mitteilungen zum Gewässerschutz Nr. 44, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern.
- Stucki P. 2010: Methoden zur Untersuchung und Beurteilung der Fliessgewässer. Makrozoobenthos Stufe F. Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Vollzug Nr. 1026: 61 S.
- Woolsey, S., Weber, C., Gonser, T., Hoehn, E., Hostmann, M., Junker, B., Roulier, C., Schweizer, S., Tiegs, S., Tockner K. and Peter A. 2005. Handbuch für die Erfolgskontrolle bei Fliessgewässerrevitalisierungen. Publikation des Rhone-Thur Projektes. Eawag, WSL, LCH-EPFL, VAW-ETHZ.