



fischnetz-info

**Projekt «Netzwerk Fischrückgang Schweiz»
Projet «Réseau suisse poissons en diminution»**

Schwerpunkt / thème principal

**TeilprojektleiterInnenkonferenz vom 8. September 2001,
Ergebnisse aus den Teilprojekten
Conférence du 18 septembre 2001 des directeurs et directrices de projets partiels,
résultats des projets partiels**

N° 8, Dezember/Décembre 2001

In dieser Ausgabe

- 2 Editorial
- 3 Feinsedimente: Einträge in die Fließgewässer und die Auswirkungen auf die Fische und andere aquatische Lebewesen
- 5 PKD – die proliferative Nierenkrankheit der Forelle: Ergebnisse des Workshops in Kastanienbaum
- 7 Suche nach den Ursachen für das periodische Auftreten toter Fische im Oberengadin
- 9 Wie kann Ökotoxikologie einen Beitrag zum «Fischnetz» liefern?
- 11 Umgang mit komplexen Problemen
- 13 Lebensraum für Fließgewässer – ein Forschungsvorhaben von EAWAG und WSL
- 14 Ausblick
- 14 Termine

15 Traduction française

Impressum

«fischnetz-info» kann kostenlos bei der unten stehenden Adresse bezogen werden.

Verantwortlich für die Redaktion dieser Ausgabe:
Patricia Holm, Roman Bucher

Übersetzung ins Französische:
Laurence Frauenlob-Puech, D-Waldkirch

La brochure «fischnetz-info» peut être obtenue gratuitement auprès de l'adresse mentionnée ci-dessous.

Rédaction:
Patricia Holm, Roman Bucher

Traduction:
Laurence Frauenlob-Puech, D-Waldkirch

Projekt Fischnetz, Eva Ruh, EAWAG, Postach 611,
8600 Dübendorf, eva.ruh@eawag.ch,
Tel. 01-823 51 54, Fax 01-823 53 75

www.fischnetz.ch



Editorial



Im Jahre 1885, vor wenig mehr als hundert Jahren also, veröffentlichte der Legationsrath Alfred de Claparède im Auftrag des damaligen schweizerischen Handels- und Landwirtschaftsdepartements eine kleine Schrift mit dem Titel «Zur Frage der Verfolgung der den schweiz. Fischereien schädlichen Thiere». Er beschäftigt sich darin eingehend mit dem Fischotter und stellt dabei Hochrechnungen an, wieviel Kilogramm der besten Fische durch diesen Fischfeind verloren

gehen, «der mordet, um zu morden und häufig von gefangenen grösseren Fischen (Forellen, Karpfen) nur einen geringen Theil verzehrt». Zehn Seiten der Broschüre sind der Beschreibung der Massnahmen gewidmet, die der Verfasser für die Bekämpfung des Fischotters als tauglich erachtet. Sie werden ergänzt durch den Hinweis, dass das eidg. Jagdgesetz von 1875 die Kantone ermächtigt, Bestimmungen zu erlassen, nach welchen «für die Erlegung der für die Landwirtschaft, der Fischerei und dem Wildstande schädlichen Thiere angemessene Prämien zu verabfolgen sind».

Den Regieanweisungen zum Töten und den dafür ausgerichteten Prämien (zwischen 1889 und 1931 waren es für die ganze Schweiz immerhin 2098!) kann der Erfolg nicht abgesprochen werden. Trotzdem war schon in der Mitte des letzten Jahrhunderts, als der Fischotterbestand in der Schweiz bis auf 40 bis 60 Tiere zusammengeschrumpft war und die Art unter Schutz gestellt wurde, erkennbar, dass auch Gewässerverbauungen und Gewässerverschmutzungen sein Verschwinden massgeblich beeinflusst hatten. Als rund 30 Jahre später der Fischotter in unserem Land wieder angesiedelt werden sollte, musste die Absicht resigniert wieder aufgegeben werden, weil erkannt worden war, dass moderne Umweltgifte (PCB; polychlorierte Biphenyle) in den Nahrungsketten der Gewässer beim Fischotter Fruchtbarkeitsstörungen verursachen würden.

Für mich als Mitglied des Lenkungsausschusses des Projekts «Fischnetz» ist dieser Exkurs zum Fischotter auch für die Probleme, die im Projekt «Fischnetz» bearbeitet werden, von Relevanz. Dies gilt in zweifacher Hinsicht.

Seine Geschichte macht zuerst einmal deutlich, wie vielschichtig wir es verstehen, Ökosysteme zu beeinflussen. Sie wirkt sodann höchst beunruhigend, weil sie aufzeigt, dass wir uns der Komplexität unserer Einflussnahmen und ihrer Folgen nicht bewusst sind oder nicht bewusst werden können. Sie macht zudem klar, dass erkannte Missstände und Fehler nicht ohne weiteres zu korrigieren sind. Es ist für mich daher verständlich, dass uns die Ergründung der Ursachen des Missstands «Fischrückgang in der Schweiz» einen sehr grossen Aufwand abverlangt. Einsichtig ist auch, dass bei den dafür erforderlichen Abklärungen das Phänomen der rückläufigen Bestandesentwicklung bei unseren Fischen aus vielen verschiedenen Blickwinkeln ausgeleuchtet werden muss. Die verschiedenen Hypothesen im Projekt «Fischnetz» zeigen, dass diesem Erfordernis möglichst gut entsprochen wird. Wenn trotzdem nicht auch der letzten der möglichen Spuren nachgegangen wird, dann ist dies vor dem Hintergrund zu verstehen, dass dem Projekt zeitliche und insbesondere auch finanzielle Grenzen gesetzt sind.

Zum zweiten: Fischotter fressen Fische und sind deshalb ein untrügliches Zeichen dafür, dass in ihrem Lebensraum genügend davon vorhanden sind. Auch aus dieser Sicht betrachtet, könnte es in unseren Gewässern ein paar mehr von ihnen geben. Wir bräuchten das komplexe Projekt «Fischnetz» dann wohl nicht. Veränderungen im Fischbestand könnten wir «monokausal» der Anwesenheit des Otters zuordnen.

Peter Schönenberger, Regierungsrat, Vorsteher des Finanzdepartementes des Kantons St.Gallen, Mitglied des Lenkungsausschusses «Fischnetz»

TeilprojektleiterInnenkonferenz vom 18. September 2001 und weitere Ergebnisse aus den Teilprojekten

Ein wesentlicher Schwerpunkt unserer Arbeit im «Fischnetz» ist die Suche nach den möglichen Ursachen für den Fischfangrückgang und den gesundheitlichen Beeinträchtigungen bei Fischen in Schweizer Gewässern. Während zu zahlreichen Themen der Kenntnisstand aktualisiert wurde und die Diskussion fortgeschritten ist, so zum Umgang mit der proliferativen Nierenkrankheit PKD, stehen wir bei anderen Hypothesen noch am Anfang. Eine dieser Hypothesen stellt die Frage nach der Veränderung in der Menge von Feinsedimenten und ihrer Bedeutung für Fische. Hierzu wurde dieses Jahr ein Teilprojekt neu gestartet, an der TeilprojektleiterInnenkonferenz im September wurde über die ersten Resultate berichtet. Begonnen wurde auch ein gross angelegtes Revitalisierungsvorhaben an mehreren Flüssen, von dem sich auch «Fischnetz» wichtige Erkenntnisse verspricht, z.B. hinsichtlich der Konzepte für Erfolgskontrollen. Das Äschensterben im Oberengadin war Auslöser für eine Studie zur Zusammenführung und Diskussion der vorhandenen Daten. Die Art der Vorgehensweise zeigt einen Weg, wie pragmatisch mit dem vorhandenen, aber oft lückenhaften Wissen weiter umgegangen werden kann. Inwiefern ein Modul Ökotoxikologie im Modul-Stufen-Konzept zur Fliessgewässerbeurteilung für die Erforschung der «Fischnetz»-Fragen hilfreich sein kann wird, wird in einem anderen Artikel erörtert. Abschliessend zeigt ein Beitrag die Schwierigkeiten und Möglichkeiten des Umgangs mit komplexen Problemen auf. Wie immer finden Sie auf unserer homepage die Artikel dieses Heftes, inklusive Literaturangaben.

Feinsedimente: Einträge in die Fliessgewässer und die Auswirkungen auf die Fische und andere aquatische Lebewesen

Roman Bucher, EAWAG

Durch Erosion in der Landschaft, der Flussufer und -sohle werden Feinsedimente (Ton, Schluff, Sand) freigesetzt, im Wasser transportiert und abgelagert. Solche Ablagerungen können zu Verfestigungen (Kolmation) oder Verschlammung der Sohle führen. Sie zerstören den Lebensraum von Tieren und Pflanzen und beeinträchtigen die Entwicklung von Eiern und Brütlingen kieslaichender Fische. Beobachtungen aus den letzten Jahrzehnten deuten auf einen erhöhten Eintrag von Feinsedimenten in die Fliessgewässer hin, vor allem aus der Landwirtschaft. Ob diese Einträge in Zusammenhang mit dem festgestellten Rückgang der Anglerfischfänge stehen, wird im Rahmen von «Fischnetz» in verschiedenen Teilprojekten untersucht.

Die Untersuchungen zu den Ursachen des Fischfangrückgangs in der Schweiz basieren auf 12 Hypothesen (siehe dazu fischnetz-info Nr. 7 oder www.fischnetz.ch). Die Hypothese 7 lautet: Ein erhöhter Feinsedimentanteil ist verant-

wortlich für den Fischrückgang. Im folgenden soll der Hintergrund dieser Hypothese beleuchtet werden.

Feinsedimente: Teil des aquatischen Systems

Das Sohlenmaterial der Fliessgewässer wird nach seiner Grösse in verschiedene Klassen eingeteilt. Als Feinsedimente werden die Partikel der Klassen Ton, Schluff und Sand bezeichnet (siehe Tabelle 1).

Man unterscheidet die Partikel nach ihrer chemischen Zusammensetzung als organische und als anorganische (mineralische) Stoffe. Die mineralischen Stoffe stammen vor allem aus der Verwitterung der Gesteine, während organische Partikel aus biologischen Prozessen hervorgehen. Die Feinsedimente werden durch Oberflächenwasser eingetragen oder entstehen direkt im Fluss durch Erosion der Ufer und der Sohle. Je nach lokalen Verhältnissen von Strömung und Gefälle werden die Partikel transportiert, auf der Sohle abgelagert, allenfalls wieder vom Wasser aufgenommen und weitertransportiert, abgelagert etc. Gut zu erkennen ist die hohe Konzentration von Partikeln nach Regenereignissen, wenn die Fliessgewässer richtiggehend «dreckig» und braun sind.

Die Flüsse transportieren enorme Mengen von Material aus der Landschaft ab, welche in Seen oder dem Meer abgelagert werden und zu Verlandungen führen. Schätzungen ergeben beispielsweise für die Aare bei Untersiggental (vor der Mündung in den Rhein) eine jährliche Fracht von 650 000 Tonnen!

Anthropogene Einflüsse und Quellen

Bedeutende Einträge von Feinsedimenten in die Fliessgewässer erfolgen aus der Landwirtschaft, ebenso aus der

Grösse	Name
0,02 – 4 µm	Ton
4 – 63 µm	Schluff/Silt
63 µm – 2 mm	Sand
2 – 63 mm	Kies
> 63 mm	Steine

} Feinsedimente

Tabelle 1: Einteilung des Sohlenmaterials in verschiedene Grössen (Skala nach Wentworth).

Forstwirtschaft, bei Kiesbaggerungen oder bei Bauten im Bereich der Flüsse. Innerhalb der Landwirtschaft gilt der Ackerbau mit den offenen Flächen als besonders anfällig auf Erosion. Verschiedene Entwicklungen in den letzten Jahrzehnten berechtigen zur Annahme, dass der Eintrag von Feinsedimenten in die Flüsse zugenommen hat:

► Die Mechanisierung und Rationalisierung in der Landwirtschaft haben dazu geführt, dass die bebauten Flächen immer grösser und «Hindernisse» wie Hecken, Mauern oder Feuchtgebiete aus dem Weg geräumt wurden. Kleinräumige Strukturen sind zerstört worden, und grosse Flächen dominieren heute das Landschaftsbild. Die Uferbereiche der Gewässer, welche als Pufferzone dienen, sind verschwunden, verbaut oder ohne Vegetation. Schwere Maschinen verursachen eine Verdichtung der Böden, wodurch es zu einem erhöhten Oberflächenabfluss kommt.

► Die Fläche des Ackerlandes hat in den Jahren 1970 bis 1985 zugenommen. Besonders stark ist der Anbau von Mais vorangetrieben worden, dessen Fläche sich in diesem Zeitraum verfünffachte (auf rund 60 000 ha oder $\frac{1}{5}$ der gesamten Ackerfläche). Maiskulturen gelten als besonders erosionsanfällig: geschätzter Abtrag von 2–10 Tonnen pro Hektare. Die durchschnittliche Erosion auf Ackerflächen wird mit rund 0,5–1 t pro Hektare geschätzt.

► Der sich rasant ausdehnende Siedlungsraum beansprucht die besten ebenen Flächen, die Landwirtschaft wird an Hang-

lagen gedrängt. Dort ist die Erosion natürlicherweise begünstigt.

► Die Versiegelung der Böden (durch Strassen, Siedlung) führt zu einem höheren Oberflächenabfluss und damit zu einer grösseren Erosionsrate.

Einflüsse auf Fische und Benthos

Zahlreiche Organismen leben im Kieslückensystem der Flusssohle, dem Interstitial, in Tiefen bis zu 70 cm. Dieses System ist ein lebenswichtiges Schutzbiotop, und hier entwickeln sich auch die Salmoniden in den ersten Wochen.

Feinsedimente werden im Kieslückensystem oder auf der Flusssohle abgelagert. Durch den hydrodynamischen Druck und die Schwerkraft kann es zu einer Verfestigung dieser abgelagerten Schichten und einer Verstopfung des Lückensystems der Sohle kommen (Kolmation). Natürlicherweise entsteht Kolmation in Fließstrecken mit geringen Strömungsgeschwindigkeiten oder in Infiltrationszonen. Hochwasser und entsprechende Geschiebebewegungen reissen diese Schichten regelmässig wieder auf (Entkolmation). Erhöhte Konzentrationen von Feinsedimenten oder die Veränderung der Strömungsgeschwindigkeiten und des Grundwasserspiegels können die Kolmation verstärken. Querverbauungen, die das grobe Geschiebe zurückhalten, fördern die Sedimentation der Feinpartikel und verhindern eine regelmässige Entkolmation (Abbildung 1).



Abbildung 1: Wigger bei Schötz: Fließgewässer mit Sohlschwellen, stark kolmatisierte Gewässersohle. (Foto: A. Peter, EAWAG)

Kolmation kann ein bedeutendes Problem bei der Inkubation von Fischeiern sein. Es sind vor allem kieslaichende Fische betroffen, so beispielsweise die Bachforelle, Aesche, Groppe, Alet etc. Die Eier der Bachforellen liegen meist in einer Tiefe von rund 10–30 cm (abhängig von der Grösse des Weibchens, der Struktur des Substrates und den Strömungsverhältnissen). Kritisch für das Überleben und die Entwicklung der Eier ist die vorhandene Sauerstoffkonzentration. Je nach Stadium der Entwicklung und Wassertemperatur sind rund 1–8 mg/l Sauerstoff notwendig. Der Schlüpfvorgang benötigt sogar eine Sauerstoffkonzentration von 8–10 mg/l. Feinsedimente können in den Laichgebieten abgelagert werden und vermindern die Versorgung der Eier mit Sauerstoff. Bisweilen entsteht an der Oberfläche eine undurchlässige Schicht, die schon geschlüpfte Brütlinge einschliesst und daran hindert, in die oberen Bereiche der Sohle zu gelangen und nach Nahrung zu suchen. Ein Anteil von mehr als 15% Feinsedimenten im Kiesbett verhindert das Überleben der Eier und Embryonen.

Juvenile und adulte Fische sind generell durch Feinsedimente im Wasser beeinträchtigt oder gestresst. Sie reagieren auf erhöhte Konzentrationen durch eine verminderte Nahrungsaufnahme und geringeres Wachstum und sind anfälliger gegenüber Krankheiten oder toxischen Stoffen. Sehr hohe Konzentrationen verursachen Meidereaktionen (ab 100 mg/l) und Abwanderungen oder können durch Kiemenschäden zum Tod führen (>1000 mg/l). Feinsedimente reduzieren in den Gewässern den Lichteintrag, und damit die Photosynthese und die Sicht.

Schwallbetrieb (durch Betrieb von Kraftwerken) kann zu einer ganzjährigen, hohen Konzentration von Feinsedimenten in den Fliessgewässern führen. Feinsedimente bedeuten ein Stressmoment für Fische und Kleinlebewesen und können eine erhöhte Drift bewirken. Die Abbildung 2 stellt die Quellen und Prozesse von Feinsedimenten sowie die Auswirkungen auf die Lebewesen in den Fliessgewässern dar.

Bisherige Untersuchungen in der Schweiz, Arbeiten im Rahmen von «Fischnetz»

Die Beobachtungen deuten darauf hin, dass die Belastung der Oberflächengewässer mit Feinsedimenten in der Schweiz zugenommen hat. Bisherige Studien aus der Schweiz und dem nahen Ausland weisen auf interessante Aspekte hin:

- ▶ In der Moosach (Bayern) wird die Intensivierung der Landwirtschaft für den Einbruch der Fischpopulation verantwortlich gemacht.
- ▶ Laufende Untersuchungen am Alpenrhein zeigen einen Zusammenhang zwischen dem veränderten Eintrag von Feinstoffen durch Schwallbetrieb und der Reduktion der Biomasse.
- ▶ Ein vermehrter Eintrag von feinen Partikeln durch Pumpspeicherwerke wird als Ursache für den Ertragseinbruch bei Felchen im Brienzensee diskutiert.

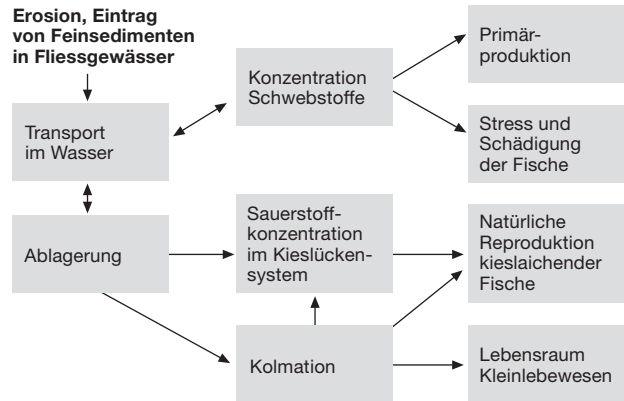


Abbildung 2: Quelle und Auswirkungen von Feinsedimenten im Fliessgewässer.

Insgesamt liegen jedoch nur wenige Untersuchungen vor. Messreihen zu Konzentrationen und Frachten von Feinsedimenten (u.a. aus dem Nationalen Programm für die analytische Daueruntersuchung der schweizerischen Fliessgewässer NADUF) werden in den kommenden Monaten ausgewertet. Im Rahmen der «Fischnetz»-Teilprojekte *Vorkommen von Sömmerlingen* (00/12, 01/12) wird der Zusammenhang von Kolmation und natürlicher Reproduktion näher untersucht, ebenso in einem Teilprojekt *Jura* an der Allaine (00/17) und in der umfassenden Studie *Testgebiete* (00/16) an Emme, Venoge, Necker und dem Liechtensteiner Binnenkanal. Das Teilprojekt *Feinsedimente* (01/07) beinhaltet eine Literaturstudie, die Zusammenstellung von Daten und Beobachtungen und eine Einschätzung der Relevanz für den Fischfangrückgang in der Schweiz. Ebenso werden Massnahmen zur Verminderung des Eintrages von Feinsedimenten (Pufferzonen, Ufervegetation, landwirtschaftliche Praxis) und der Bildung von Kolmation der Sohle diskutiert. Erste Resultate werden im Laufe des nächsten Jahres erwartet.

Hinweise und Daten, welche im Zusammenhang mit Feinsedimenten, Landschaftsveränderungen oder Kolmation stehen, werden gerne entgegengenommen (roman.bucher@eawag.ch).

PKD – die proliferative Nierenkrankheit der Forelle: Ergebnisse des Workshops in Kastanienbaum

Patricia Holm, EAWAG

Wie bereits im *fischnetz-info* Nr. 6 angekündigt, wurde Anfang Juli 2001 an der EAWAG in Kastanienbaum ein wissenschaftlicher Workshop durchgeführt, um das aktuelle internationale Wissen zur Nierenkrankheit PKD (proliferative kidney disease, proliferative Nierenerkrankung) zusammenzuführen und Antworten auf die spezifischen Fragen zur Schweizer Situation zu suchen. Für die Praxis wesentliche Diskussionspunkte werden hier vorgestellt, die vollständige

Publikation aller Referate erfolgt in einer der kommenden Ausgaben des «Journal of Fish Diseases».

Aufnahme und Nachweis des Parasiten in den Fischen

Neuerdings wurde nachgewiesen, dass der Parasit, in Form kleiner Sporen, nicht nur über die Kiemen, sondern auch über die Schleimzellen der Haut in den Fisch gelangt (Abbildung 3, vgl. auch fischnetz-info Nr. 6) – und das bereits innerhalb der ersten Minute nach Kontakt mit dem Erreger. Später können die Parasiten dann in der Skelettmuskulatur beobachtet werden, ohne dass Entzündungsreaktionen erkennbar wären. Erst etwa 6 Wochen später stellen sich die typischen klinischen Symptome der Krankheit ein (Aufreibung des Bauches, Nierenvergrößerung, apathisches Verhalten etc.). Die Diagnose der Krankheit ist nach wie vor schwierig. Selbst mit molekularen Methoden können bis heute falsch negative (vorhandener Erreger wird nicht erkannt) oder falsch positive Resultate (positives Ergebnis, obwohl Erreger nicht in der Probe war) nicht ausgeschlossen werden.

Eine sehr kurze Expositionszeit im Bereich von Minuten ist also ausreichend für den später erfolgenden Ausbruch der Krankheit. Diese schnelle Aufnahme des Parasiten in den Wirt ist für den Erreger auch lebensnotwendig, da er im Wasser, unter Bedingungen wie üblicherweise im Feld, weniger als einen Tag infektiös ist. Das heisst aber auch, dass der Parasit ohne Zwischenwirt keine Überlebenschance hat, was vermutlich mit der dünnen Kapselwand der Sporen zusammenhängen dürfte.

Der Zwischenwirt

Moostierchen oder Bryozoen stellen Zwischenwirte für den Parasiten dar. Sie wachsen in Kolonien, meist im Verborgenen, wie an der Unterseite von untergetauchten Pflanzen, Steinen oder in Rohren und filtrieren kleine Partikel im Wasser. Vermutlich nehmen sie filtrierend auch die möglicherweise über den Urin des Fisches ausgeschiedenen Sporen auf, darauf weisen erste Resultate einer englischen Arbeitsgruppe hin.

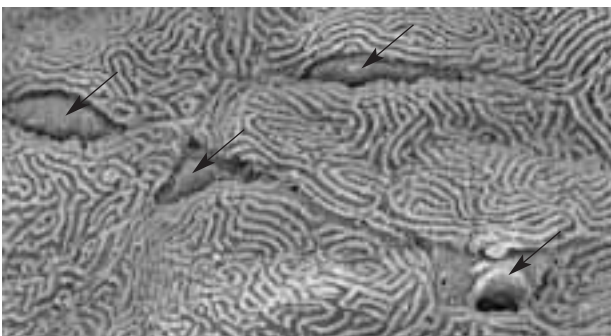


Abbildung 3: Rasterelektronenmikroskopische Aufnahme von Schleimzellen (Pfeile) in der Haut eines Fisches, durch die der Parasit in den Fisch gelangen kann. (Foto: M. Stoffel, Uni Bern)



Abbildung 4: Statoblast (Überwinterungsstadium) eines Moostierchens im Rasterelektronenmikroskop, Vergrößerung 260fach. (Foto: CRP Gabriel-Lippmann, Luxembourg)

Die Überwinterung der Moostierchen erfolgt meist in Form von Dauerstadien (Statoblasten; ca. 1 mm, Abbildung 4) aus denen im späten Frühjahr oder Frühsommer kleine Kolonien entstehen. Statoblasten sind gegenüber extremen Temperaturen, Austrocknungen sowie den Verdauungsprozessen im Magen von Wasservögeln sehr resistent und stellen die einzig bedeutende Möglichkeit für eine Übertragung in andere Gewässersysteme dar, nachgewiesenermassen über mehrere hundert Kilometer.

Nach wie vor fraglich ist, wie der Parasit überwintert, da er in Statoblasten bisher noch nie beobachtet wurde. Einige Bryozoen-Arten können jedoch auch in Form lebender kleiner Kolonien überwintern, in denen der Parasit auch nachgewiesen wurde. Ob dies die einzige Möglichkeit für den Parasiten ist, diese Jahreszeit zu überstehen, ist offen. Die Möglichkeit weiterer, bisher nicht identifizierter Wirte kann nicht ausgeschlossen werden.

Bedeutung anderer Faktoren für die Krankheit

Die Bedeutung natürlicher und anthropogen beeinflusster Umweltfaktoren für die Krankheit ist noch nicht gut bekannt, es liegen jedoch verschiedene Hinweise vor, dass eine organische Verschmutzung des Gewässers den Ausbruch der PKD fördert. Sowohl Studien in Süddeutschland als auch in England und Frankreich legen eine krankheitsfördernde Wirkung durch niedrigen Sauerstoffgehalt oder chemische Verschmutzung des Wassers nahe. Bekannt ist die wesentliche Rolle der Wassertemperatur, da die klinischen Symptome der Krankheit (bei Regenbogenforellen) erst oberhalb von 15 °C ausbrechen und auch der Parasit eine Mindesttemperatur von 7–8 °C für seine Vermehrung und die Infektion des Fisches benötigt.

Verbreitung der Krankheit

In Grossbritannien wurde die Verbreitung der PKD an freilebenden Salmoniden (185 Lachse, 235 Bachforellen, 16 See-

saiblinge und 5 Äschen) in 16 Flüssen untersucht. Nur in Lachsen und Bachforellen wurde die Krankheit diagnostiziert, wobei die Probenzahlen nicht ausreichend waren, um zuverlässige Aussagen über ein Vorkommen oder Fehlen in den anderen beiden Arten zu treffen. Dies mag auch der Grund sein, weshalb keine niedrigeren Krankheitsraten als 11% gefunden wurden, in stark verseuchten Gewässern lag die Häufigkeitsrate bei 43%. Zwischen den Fließgewässern gibt es beträchtliche Unterschiede im Vorkommen von PKD, was ebenfalls für die Bedeutung von Umweltfaktoren spricht. Studien zur Verbreitung der PKD sollten Umweltfaktoren sowie andere Krankheiten und Parasiten dementsprechend ebenfalls berücksichtigen.

Der Schweizer Beitrag auf dem Symposium beschrieb einerseits die Auswertungen der diagnostischen Fälle des Zentrums für Fisch und Wildtiermedizin (FIWI, Uni Bern) von 1979–2000. Hierbei ist zu vermerken, dass neben Bach- und Regenbogenforellen einmal eine Äsche (von n = 146 untersuchten) PKD-positiv war, die Krankheit jedoch weder im Seesaibling (n = 295) noch im Hecht (n = 135) diagnostiziert wurde. Andererseits wurde über den derzeitigen Stand der Auswertung des Teilprojektes 00/02 (*Verbreitung von PKD in der Schweiz und Auswirkung auf die Fischbestände*) (siehe fischnetz-info Nr. 6) referiert. Die jetzt histologisch ausgewerteten Forellen zeigten in den meisten Fällen eine gute Übereinstimmung mit der zuvor durchgeführten makroskopischen Diagnose. In einigen Fällen ergaben sich jedoch sowohl falsch negative (Forellen, die mikroskopisch bereits den Erreger zeigten, aber noch keine makroskopisch erkennbaren Symptome entwickelt hatten) wie auch falsch positive (Forellen, die zwar makroskopische Nierenveränderungen zeigten, sich aber histologisch als negativ für den PKD-Erreger erwiesen) Proben. Bekannt ist, dass auch andere Erreger PKD-ähnliche makroskopische Veränderungen der Nieren hervorrufen können. Zuverlässige Diagnostiktechniken, die



Abbildung 5: Teilnehmende am Workshop in Kastanienbaum, 1.–3. Juli 2001 (Foto: P. Holm, EAWAG)

histologische und molekulare Methoden umfassen, sind also unabdingbare Werkzeuge in der Aufklärung der Biologie, Verbreitung und fischereilichen Bedeutung der Krankheit.

Mögliche Massnahmen

Die Zerstörung von Bryozoen-Lebensräumen, wie etwa Pflanzen(teile) unter Wasser, dürfte eine erfolgreiche, jedoch in freien Gewässern nicht praktikable Strategie zur Eliminierung der Parasiten darstellen.

Was die Bewirtschaftung der Gewässer anbetrifft, wurden in der gemeinsamen Diskussion folgende Empfehlungen erarbeitet:

- ▶ Besatz von PKD-freien Fließgewässern nur mit Forellen, die PKD-negativ sind.
- ▶ Nach derzeitiger Kenntnis grundsätzlich kein Besatz mit PKD-positiven Forellen, solange nicht klar ist, ob es nicht unbekannte Übertragungswege und zusätzliche Reservoirs in der Natur gibt.
- ▶ Besatz der Fließgewässer im Herbst.
- ▶ Eine Risikoanalyse und -abschätzung sollte für jedes Fließgewässer gemacht werden, und die Empfehlungen sollten sich daran orientieren.

Suche nach den Ursachen für das periodische Auftreten toter Fische im Oberengadin

Zusammenfassung der Studie Äschensterben im Inn (Kt. Graubünden) von Daniel Bernet (Universität Bern) und Patricia Holm (EAWAG)

Marco Lanfranchi (Amt für Umwelt Graubünden)
Guido Ackermann (Jagd- und Fischereinspektorat Graubünden)

Die Äschenpopulation im Oberengadin gilt als die höchst gelegene in Europa. Sie ist dank ihrer Populationsstärke und der selbsterhaltenden Naturverlaichung von nationaler Bedeutung. Periodisch im Frühjahr werden seit Jahren im Talfluss Inn viele tote oder stark geschwächte Äschen beobachtet. Die Ursachen dafür sind unklar. In einer Studie der EAWAG, vertreten durch die Projektleitung «Fischnetz», wurden die vorhandenen Daten aufgearbeitet, verschiedene Hypothesen zu den Ursachen diskutiert und Vorschläge für das weitere Vorgehen entwickelt.

Tote oder stark geschwächte Äschen und in geringerem Masse auch Bachforellen werden alljährlich in beträchtlicher Zahl beim Rechen der Wasserfassung in S-chanf sowie beim Dücker des Inn-Altlaufes in Cristansains, Samedan, angeschwemmt. In S-chanf werden seit der Aufzeichnung im Jahre 1976 jährlich zwischen 200 und 1500 Äschen sowie 10 bis 170 Bachforellen registriert (Abbildung 6). Hingegen werden beim Dücker in Samedan, nach ähnlich hohen Fisch-

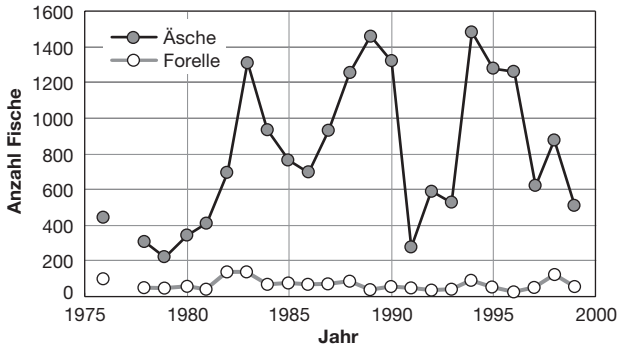


Abbildung 6: Angeschwemmte Fische beim Rechen der Wasserfassung in S-chanf. 1977: keine Daten vorhanden.

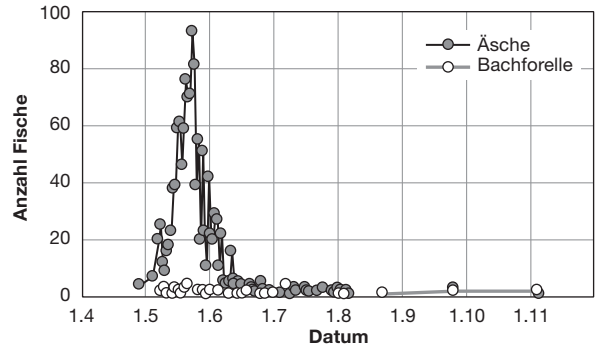


Abbildung 7: Mortalitätsverlauf im Jahr 1990 beim Rechen der Wasserfassung in S-chanf.

abgingen in den 80er Jahren, ab 1991 nur noch vereinzelt tote Fische festgestellt. Die Gründe für den Rückgang der Fischabgänge ab 1991 sind unbekannt. Die Diskussion reicht von einer geänderten Wasserqualität durch ARA-Einfluss bis zur kleineren Bestandesdichte von Äschen im betroffenen Inn-Altlauf. Das Auftreten toter Fische hat das Jagd- und Fischereinspektorat sowie das Amt für Umwelt Graubünden veranlasst, die EAWAG (Eidg. Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz) zu beauftragen, die Situation zu analysieren, mögliche Ursachen zu diskutieren und Vorschläge für das weitere Vorgehen auszuarbeiten.

Ursache unbekannt

Die Ursachen des Fischsterbens im Oberengadin können zum heutigen Zeitpunkt nicht eindeutig identifiziert werden. Das Auftreten toter Äschen konzentriert sich auf die Zeit von Ende April bis Ende Mai (Abbildung 7). Diese Tatsache deutet auf einen Zusammenhang mit der Laichperiode der Äschen hin. Wie viele andere Arten sind Äschen nach dem Laichgeschäft eher geschwächt und zeigen oft Verpilzungen. Trotz der Stressfaktoren, die die Fische während der Laichzeit natürlicherweise schwächen, vermutet man, dass das Ausmass des jährlichen Sterbens den «natürlichen Abgang» übertreffen könnte. Wesentliche

Faktoren, die die Sterblichkeit der Äschen zur Laichzeit verstärken können, sind die hohe Bestandesdichte, die starken täglichen Wasserstandsschwankungen bzw. die Restwassersituation im Einflussbereich der Elektrizitäts-

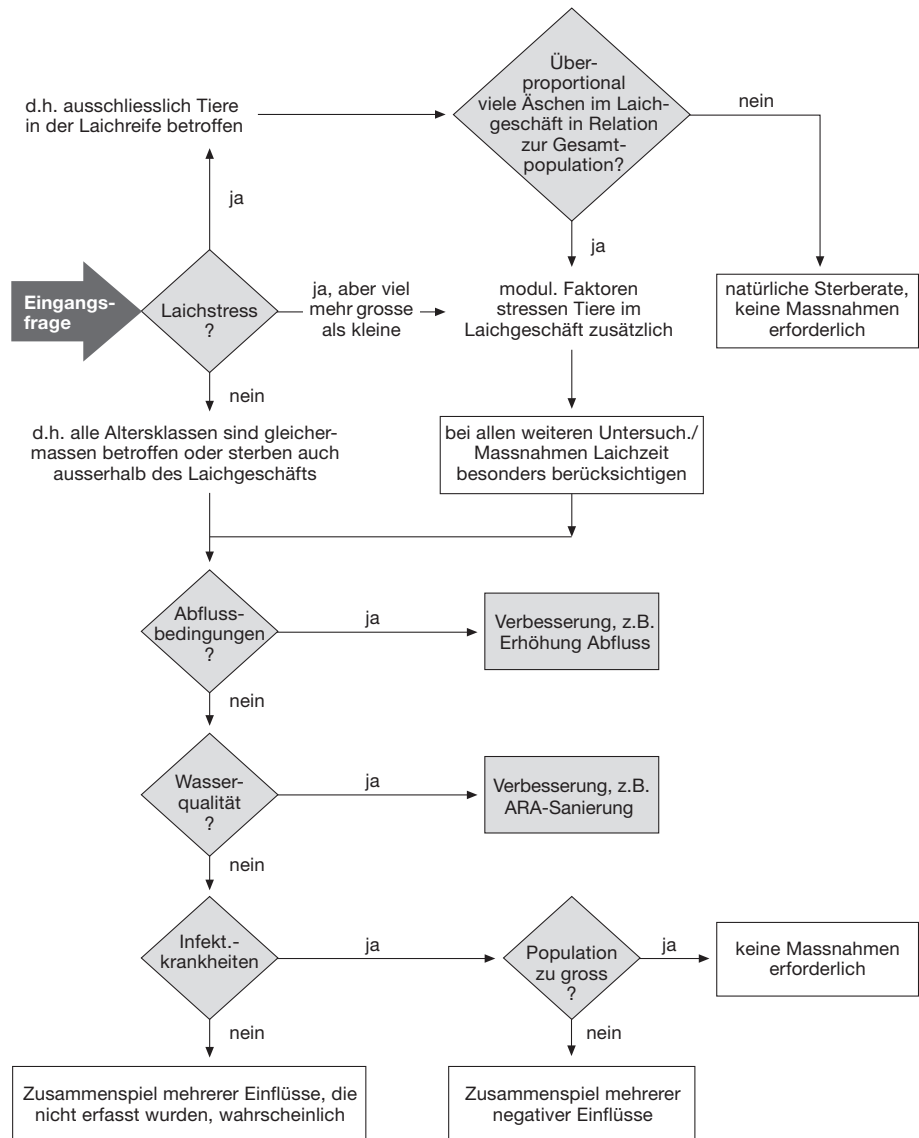


Abbildung 8: Entscheidungsbaum zur Reihenfolge der vorgeschlagenen Massnahmen.

werke sowie die chronische, aber auch wechselnde Belastung der Fische durch die Einleitung grosser Mengen an gereinigtem Abwasser im Winter bei ungünstigem Verdünnungsverhältnis.

Natürliches Phänomen?

Falls es sich beim Äschensterben ausschliesslich um einen Effekt des Laichgeschäftes handelt, so ist dies wohl als naturgegeben zu akzeptieren. Möglicherweise ist das Sterben jedoch auf die Wirkung anderer, zusätzlicher Stressoren zurückzuführen oder es liegt eine Wirkungskombination vor. Es geht nun darum, den möglichen Ursachen mit weiteren gezielten Untersuchungen auf den Grund zu gehen. Dazu gehören die Untersuchung der angeschwemmten Fische auf Alter, Krankheiten, Kondition etc., Erhebungen zur Grösse und Dynamik des Äschenbestandes und dessen Lebensraumbedingungen sowie weitere Untersuchungen zur Wasserqualität, insbesondere zum Vorkommen fischtoxischer Stoffe.

Entscheidbaum für mögliches Vorgehen

Aufgrund der Eingangsfrage «Was ist die Ursache für das Auftreten toter Fische?» wird das weitere Vorgehen in einem Entscheidbaum skizziert (Abbildung 8). In der Studie werden die im Entscheidbaum angedeuteten möglichen Massnahmen ausführlich dargelegt.

Wie kann Ökotoxikologie einen Beitrag zum «Fischnetz» liefern?

Nina Schweigert, Rik Eggen, Beate Escher, Patricia Holm und Renata Behra (EAWAG)

In der Schweiz sollen die Fliessgewässer im Rahmen des Modul-Stufen-Konzeptes in Zukunft auch ökotoxikologischen Untersuchungen unterzogen werden. Diese Studien können mithelfen, die Wirkungen von Schadstoffen auf die einheimischen Fische zu verstehen und den Beitrag von Schadstoffen am Rückgang der Fischpopulationen aufzuklären.

Das Modul-Stufen-Konzept (MSK)

Im MSK, das in der Schweiz für eine Fliessgewässerbewertung entwickelt worden ist, werden die Bewertungen in folgenden Modulen vorgenommen: Hydrologie, Ökomorphologie, Chemie, Ökotoxikologie und in den Biologiemodulen Algen, Makrophyten, Ufervegetation, Makrozoobenthos und Fische. Bewertungen erfolgen für jedes Modul in drei verschiedenen Stufen, die sich in der Untersuchungstiefe unterscheiden. Je grösser das zu untersuchende Gebiet ist, desto geringer ist die Untersuchungstiefe. So wird bei den Fischen z.B. in der Stufe F (flächendeckend), die für grossräumige

Untersuchungen steht, ein Überblick über das Artenspektrum gegeben, während in der Stufe S (systembezogen) detailliertere Studien mit Populationsdiagnosen durchgeführt werden. In der letzten Stufe (A, abschnittsbezogen) werden nur kleine Bereiche eines Fliessgewässers untersucht, und hier werden gezielte Untersuchungen durchgeführt, um Detailfragen zu beantworten. Im Fisch-Modul werden unter anderem quantitative Populations- und Habitatsanalysen gemacht.

Ökotoxikologie

Die Ökotoxikologie befasst sich mit dem Zusammenhang zwischen Schadstoffen und ihren Effekten auf Organismen und auf das Ökosystem. Die Schadstoffbelastung der Gewässer ist in der Schweiz in den letzten Jahrzehnten zwar zurückgegangen, aber es gelangen immer noch Tausende Chemikalien aus Industrie und Haushalt in die Umwelt. Dass auch die vorliegenden, relativ niedrigen Schadstoffkonzentrationen grosse Schäden in Ökosystemen anrichten können, haben Substanzen mit hormonaktiven Wirkungen bewiesen, die bei Schnecken zur Vermännlichung führen und bei Fischen die Ausbildung von Ovotestis zur Folge haben. Mit dem Modul Ökotoxikologie soll durch eine frühzeitige Erkennung von möglichen toxischen Schadstoffwirkungen verhindert werden, dass sich solche Fälle wiederholen.

Schadstoffe

Jährlich kommen 500–1000 neue Chemikalien auf den Markt, deren Folgen für die Ökosysteme oft ungenügend bis gar nicht bekannt sind, die Wirkungen in Kombination mit anderen Schadstoffen ist erst recht nicht abschätzbar. Deshalb können immer wieder neue, unerwartete Schadstoffeffekte auftreten. Auch mit dem Modul Ökotoxikologie kann dieses nicht ganz ausgeschlossen werden, da es unmöglich ist, alle möglichen Schadstoffeffekte an allen Organismen eines Ökosystems zu erfassen. Ein Grossteil der möglichen Effekte kann aber abgedeckt und frühzeitig erkannt werden. Detaillierte Betrachtungen des gesamten Ökosystems, wie sie in der Stufe A in den Biologie-Modulen durchgeführt werden, können hier zwar helfen, aber sie können nur vereinzelt durchgeführt werden, da sie sehr aufwändig und teuer sind. Hinzu kommt, dass es bei derartigen Untersuchungen sehr schwierig ist, Veränderungen, wie z.B. das Verschwinden einer Fischart, auf Schadstoffe zurückzuführen. Ein Nachweis, dass dies nicht durch andere Faktoren wie verändertes Nahrungsangebot, Zunahme der Räuber oder geringfügige Habitatsveränderungen hervorgerufen wird, ist mit diesen Studien schwer zu erbringen, wie es verschiedene Untersuchungen im Rahmen des «Fischnetz» auch schon gezeigt haben. Ausserdem werden die Schadstoffeffekte erst gemessen, wenn sie sich etabliert haben und der Schaden bereits eingetreten ist. Vom Auftreten der Schäden auf zellulärer Ebene bis zu dem Zeitpunkt, wo die Schäden im Öko-

system messbar sind, können aber Monate bis Jahre vergehen. Vor allem bei niedrigen Schadstoffkonzentrationen ist diese Zeitspanne sehr lang. Hier kann die Ökotoxikologie mit modernen Methoden helfen, indem sie zum Erfassen dieser toxischen Antworten *In-vitro*-Untersuchungen durchführt und auf molekularbiologische Verfahren zurückgreift.

Neues Konzept für die Fließgewässerbeurteilung

Der Aufbau des Konzeptes ist in Abbildung 9 zusammengefasst. Die Wasserproben sollen für das Modul Ökotoxikologie stichprobenartig genommen werden, es soll aber auch Hinweisen nachgegangen werden, die auf toxische Abwassereinleitungen oder auf die Präsenz von Schadstoffen hinweisen. Hier ist eine Zusammenarbeit zwischen den einzelnen Modulen genauso wichtig wie die Hinweise aus anderen Projekten, wie z.B. dem «Fischnetz». Es gibt bei den Untersuchungen keine Einteilung in die Stufen F, S und A, das heisst, alle Wasserproben werden mit der gleichen

Untersuchungstiefe untersucht, da nur so alle relevanten toxischen Antworten erfasst werden können. Um mit einem entsprechend grossen Probenaufkommen sinnvoll umgehen zu können, wurde bei dem Aufbau des Konzeptes unter anderem darauf geachtet, dass die verwendeten Methoden neben ihrer Sensitivität auch kostengünstig und schnell und einfach durchzuführen sein müssen. Die Untersuchung der Wasserproben wird in zwei Schritten vorgenommen. Zunächst wird das toxische Gefahrenpotenzial aller Wasserproben mit Hilfe von *In-vitro*-Tests ermittelt. Nur die Proben, die ein toxisches Potenzial aufweisen, werden in der 2. Stufe weiter untersucht. Hier wird überprüft, ob die Wasserproben auch auf Organismen toxisch wirken.

Stufe 1: Das Gefahrenpotenzial einer Wasserprobe wird mit Hilfe von einzelligen Organismen, Zellkulturen und Fischembryonen ermittelt, dabei werden die Wasserproben auf alle toxischen Antworten geprüft. In dieser ersten Stufe werden mögliche Effekte auf Mikroorganismen (Abbildung 10),

pflanzliche Zellen, Wirbellose und Fische getrennt untersucht. Effekte, wie DNA-Schäden, Keimschäden und Reproduktionshemmung durch verschiedene Hormonwirkungen, werden also auch spezifisch für Fische untersucht. Die direkte Toxizität der Wasserproben wird mit Hilfe von Bakterien bestimmt. Für den Fall, dass alle Tests der Stufe 1 negativ ausfallen, werden die Wasserproben als ungefährlich eingestuft. Es folgen keine weiteren Untersuchungen. Die vorgestellte Testbatterie sollte stets an den neuesten Stand der Forschung angepasst werden, das heisst z.B., dass bei der Entwicklung einfacherer oder sensitiverer Methoden einzelne Tests ausgetauscht werden können. Zusätzlich kann die Batterie auch erweitert werden, falls heute noch unbekannte Wirkmechanismen bekannt werden.

Stufe 2: Es wird jeweils nur die Organismengruppe weiter untersucht, bei der in der 1. Stufe eine positive Antwort gemessen wurde. Als Vertreter für die jeweiligen Organismengruppen sollen Arten herangezogen

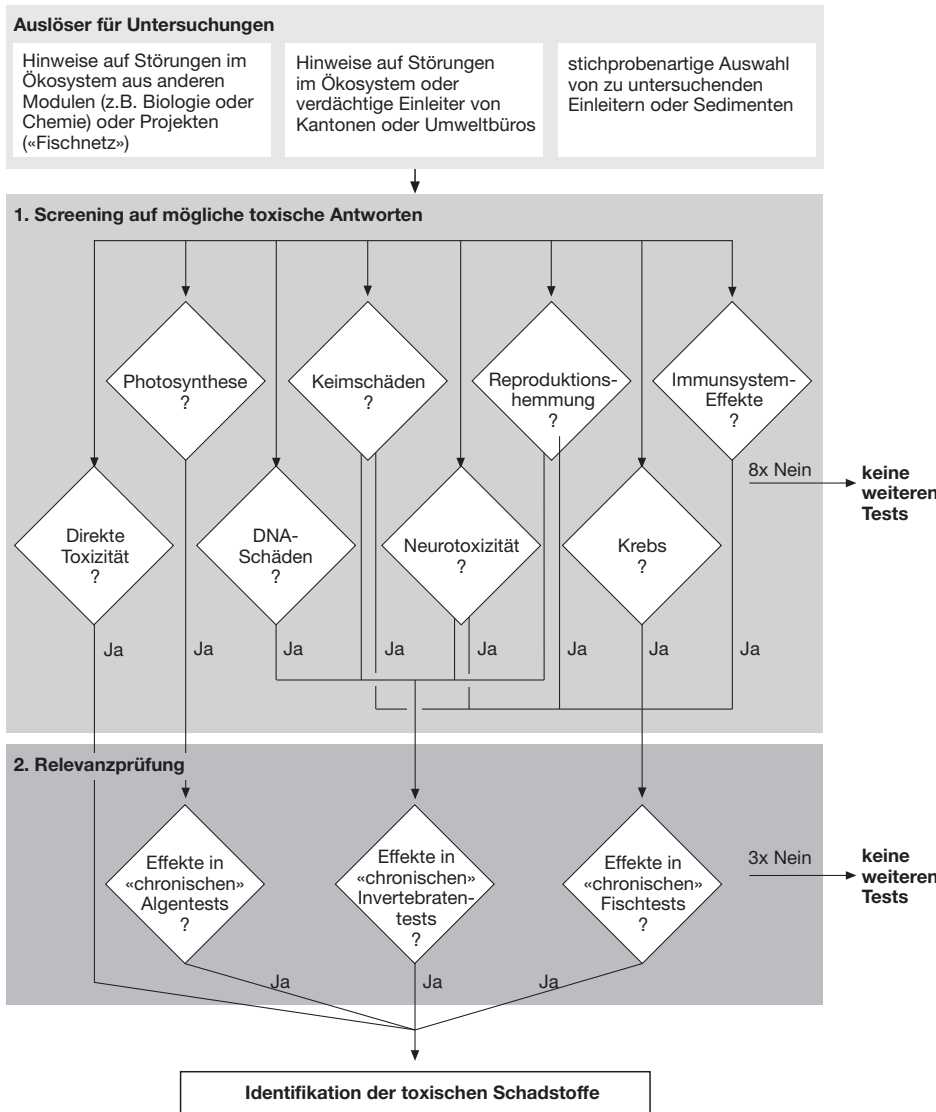


Abbildung 9: Zweistufiges Vorgehenskonzept im Modul Ökotoxikologie.

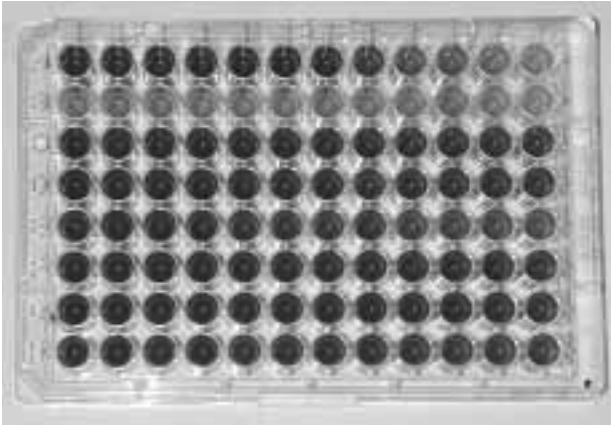


Abbildung 10: Nachweis östrogen wirksamer Substanzen in Abwässern mit genetisch veränderten Hefezellen.
Dunkle Reagenzgefässe: östrogene Wirkung; helle Reagenzgefässe: keine östrogene Wirkung. (Foto: N. Schweigert, EAWAG)

werden, die typisch für das Gewässer sind, in der die Wasserprobe genommen wurde. Es muss sich aber auch um eine Art handeln, die im Labor gehalten werden kann und relativ sensitiv ist. Der durchzuführende Test soll der Fragestellung bzw. der positiven toxischen Antwort aus Stufe 1 angepasst werden. Um einen geeigneten Test durchzuführen, wird eine Rücksprache mit Experten stattfinden. Informationen aus den anderen Modulen, vor allem aus den Modulen der Biologie und Chemie, werden ebenfalls immer mit in Betracht gezogen, wenn diese vorliegen. Dies kann bei der Auswahl des Tests für die 2. Stufe wichtige Informationen liefern. Ist die Antwort in diesem Test negativ, so ist zwar auf zellulärer Ebene ein Gefahrenpotenzial vorhanden, welches sich aber auf Organismenebene wahrscheinlich nicht etabliert. Die Wasserproben werden als ungefährlich eingestuft. Bestätigt sich die Toxizität in der 2. Stufe, muss versucht werden, den oder die Schadstoffe zu identifizieren, um geeignete Massnahmen einleiten zu können. Ist das Zusammenwirken mehrerer Schadstoffe die Ursache für den gemessenen Effekt, kann eine Identifikation der Schadstoffe jedoch schwierig oder gar unmöglich sein. In diesem Fall muss pragmatisch vorgegangen werden, indem beispielsweise die Reduktion aller vorhandenen Schadstoffe angestrebt wird.

Fazit

Mit diesem Konzept, das für die ökotoxikologische Fließgewässerbewertung erstellt worden ist, werden auch für das «Fischnetz» interessante Fragestellungen behandelt. Die Chemikalienwirkung ist eine Hypothese des «Fischnetz» für den Rückgang der Fischbestände in der Schweiz. Mit diesem hier vorgestellten Konzept kann das Risikopotenzial der Schadstoffe in den Gewässern abgeschätzt werden und anschliessend mittels spezifischer Experimente überprüft werden.

Umgang mit komplexen Problemen

Patricia Holm, EAWAG

«Können wir nicht einmal über komplexe, multifaktorielle Probleme diskutieren, und darüber, wie wir sie am besten lösen?» Dieser nun schon mehrmals gehörte Frage sind wir mit einem Beitrag und einem Arbeitskreis an der TeilprojektleiterInnenkonferenz vom 18. September 2001 nachgegangen.

Wer oder was ist komplex?

Komplexe Systeme zeichnen sich dadurch aus, dass sie aus zahlreichen Teilen bestehen, die sich in verschiedener Weise verhalten können und die in veränderlichen Beziehungen zueinander stehen. Zusätzlich weisen komplexe Systeme eine hohe Dynamik auf. Die Dynamik, also die Geschwindigkeit, mit der sich die Systemzustände ändern, erschwert die Beherrschung der Komplexität deutlich. Problematisch ist vor allem der kaum vorhersehbare Verlauf dieser Entwicklungen. Durch zirkuläre Beziehungen können Teile auf sich selbst zurückwirken, dadurch entstehen positive und negative Regelkreise. Beispiele sind soziale und ökologische Systeme. Das Problem der abnehmenden Fischfangerträge ist also ein solches komplexes Problem: Es umfasst viele Teile, sowohl auf der Seite der möglichen Ursachen als auch auf der Seite der beobachteten Effekte; diese Teile stehen untereinander in vielfältiger Beziehung, die sich ständig ändert (vgl. fischnetz-info Nr. 5). Schliesslich kommt die dynamische Komponente dazu: Diese Systemzustände ändern sich schnell und oft unvorhersehbar (z.B. Hochwasser, bei Schwallbetrieb oder Unwetter).

Vorgehensweise zur Lösung komplexer Probleme

Bestimmen der Ziele

Oft wird ein Zustand als unbefriedigend eingeschätzt, ohne dass klar ist, was denn befriedigend wäre. Andere Schwierigkeiten entstehen, wenn bemerkt wird, dass es verschiedene Ziele gibt, die sich teilweise widersprechen (z.B. möglichst naturnahes Ökosystem und möglichst hoher Bestand einer Fischart). Es ist deshalb wichtig, das Ziel genau zu definieren und festzulegen, was gemessen werden muss (Zielgrössen), um nach der Umsetzung von Massnahmen schliesslich die Zielerreichung zu überprüfen (Erfolgskontrolle).

Erstellen eines Netzwerkes

Die Besonderheiten komplexer Situationen bringen es mit sich, dass sie an sich nie vollständig abzubilden sind. Es ist deshalb wichtig, die Situation bewusst von verschiedenen Perspektiven, aus Sicht verschiedener Interessengruppen zu betrachten und ein möglichst umfassendes Bild zu entwerfen, um die bestehenden Zusammenhänge zu erkennen. Dazu werden unterschiedliche Wahrnehmungen und Inter-

Beeinflusste Elemente	Einflussfaktoren		
	Lufttemperatur	Trübung	Primärproduktion
Fischbestand	X	X	
Wassertemperatur		X	
Zooplankton	X	X	X

Tabelle 2: Relevante Beziehungen zwischen Einflussfaktoren auf Bestandteile («beeinflusste Elemente») eines Ökosystems sind mit Kreuzen markiert.

pretationen der Beteiligten verglichen, Überschneidungen und Differenzen festgestellt. Die erarbeiteten Zusammenhänge werden am besten in Form eines Netzwerkes dargestellt. In diesem können die Beziehungen zwischen den wesentlichen Einflussfaktoren in Form von Pfeilen dargestellt werden. Ein kleines Team, das sich aus SpezialistInnen unterschiedlicher Disziplinen oder beruflicher Herkunft zusammensetzt, erlaubt am ehesten eine umfassende Annäherung. Um verschiedene Grössen wie Wirkungsrichtung, Wirkungsverläufe und Wirkungsintensitäten zu analysieren und strukturiert darzustellen, gibt es zahlreiche weitere Zwischenschritte, auf die der Einfachheit halber hier verzichtet wird.

Relevanzmatrix

Zusammenfassend werden die Ergebnisse dieser Schritte in einer Relevanzmatrix dargestellt. Ein Beispiel ist der aktuellen Bearbeitung der Problematik Brienersee entnommen (siehe Tabelle 2). Aus der Zahl angekreuzter Spalten ergeben sich Hinweise auf die Elemente, die am häufigsten durch verschiedene Faktoren beeinflusst werden. So wird der Fischbestand in diesem Beispiel durch Lufttemperatur und Trübung beeinflusst. Umgekehrt lässt sich errechnen, welcher Faktor die meisten Elemente beeinflusst, im Beispiel ist es die Trübung. Da hierbei die Intensität und Dynamik der Wechselwirkungen nicht berücksichtigt ist, muss dies für die weitere Betrachtung unbedingt einbezogen werden.

Bestimmung der Lenkungsmöglichkeiten

Grundlage ist die Einteilung der Einflussfaktoren in lenkbare (also solche, die zielgerichtet beeinflusst werden können) und nicht lenkbare Grössen. Dann erfolgt die breit angelegte Suche nach Lösungsmöglichkeiten, zum Beispiel unter Zuhilfenahme von Kreativitätstechniken wie Brainstorming. Wichtig ist dann die Analyse, welche Wirkung die beabsichtigten Eingriffe bei den lenkbaren Faktoren auf die Problemsituation haben. Die Lenkungseingriffe müssen der Komplexität des Problems entsprechen (d.h. wenn an zu vielen Punkten gleichzeitig angesetzt wird, können die ausgelösten Wechselwirkungen nicht mehr sauber den beeinflussten Faktoren zugeordnet werden). Jetzt soll die bevorzugte Variante kritisch geprüft werden. Zur Beurteilung bieten sich folgende Fragen an:

- ▶ *Mittel? Zeit? Ausreichend zur Umsetzung?*
- ▶ *Wird das Ziel damit erreicht?*
- ▶ *Bedarf es einer Krisenstrategie?*
- ▶ *Wie kann die Strategie in Projekte aufgegliedert werden?*
- ▶ *Welche Massnahmen sind zur Realisierung der Projekte notwendig?*
- ▶ *Zeitlicher Verlauf von Projekten und Massnahmen? Prioritäten?*

Eine Lösung basiert stets auf dem derzeitigen Wissen und der Einschätzung bezüglich Erfolgsaussichten. Da komplexe Systeme jedoch einem ständigen Wandel unterworfen sind, kann es nötig sein, zu einem späteren Zeitpunkt, unter veränderten Bedingungen, eine andere Lösung vorzuschlagen. Es muss deshalb auch eine Frühwarnung sichergestellt werden, die Veränderungen im System und in der Umwelt ankündigt. Schliesslich ist die Erfolgskontrolle ein wesentliches Element jeder Problemlösung.

Probleme bei der dargelegten Herangehensweise

Die Fähigkeit zu vernetztem Denken ist dem Menschen nur begrenzt gegeben, vor allem der Umgang mit Unbestimmtheiten und das Erfassen von bestimmten Dimensionen von Raum und Zeit (Mikro- und Makrobereiche) ist kaum möglich, was sich beispielsweise daran zeigt, wie schwer exponentielle Entwicklungen abgeschätzt werden können. Zusätzlich entstehen strategische Denkfehler leicht unter Zeitdruck, indem zum Beispiel nur der augenblickliche Zustand des Systems beurteilt wird.

Konsequenz für «Fischnetz»?

Obwohl der dargestellte Umgang wichtig und nützlich ist, haben wir doch das Problem, dass oftmals (a) zu wenig Wissen vorhanden ist, um z.B. alle Faktoren benennen zu können und zueinander in Beziehung zu setzen und (b) der zeitliche Aufwand für die Art der Herangehensweise erheblich ist. Darüber hinaus haben die Beteiligten aufgrund ihrer Erfahrung oft den Eindruck (es bleibt offen, ob zu Recht oder zu Un-

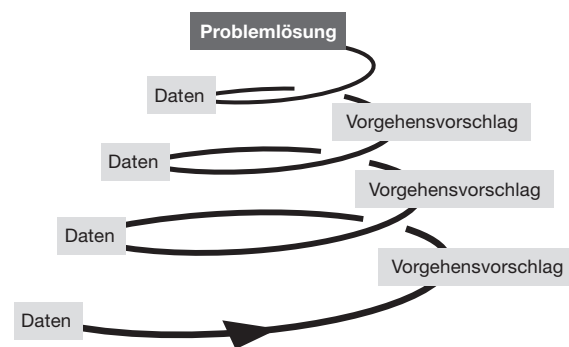


Abbildung 11: Spirale, die einen Optimierungsprozess zeigt, wie bessere Daten Voraussetzung für genauere Vorgehensvorschläge zur Problemlösung sind, die dann wiederum erlauben, schneller und exakt die benötigten Daten zu liefern.

recht), dass zahlreiche Ursachen und Lösungsansätze ausklammert werden. Demzufolge ist eine Kombination aus konventioneller und komplexer Herangehensweise am häufigsten und findet am ehesten Zustimmung. Je mehr Daten vorhanden sind, desto besser und genauer kann ein Vorgehensvorschlag zur Problemlösung skizziert werden, was sich wiederum positiv auf die Geschwindigkeit und Akkuratheit neu zu erhebender Daten auswirkt (Abbildung 11).

Kurzmeldungen

Lebensraum für Fliessgewässer – ein Forschungsvorhaben von EAWAG und WSL

Der grösste Teil der Fliessgewässer in Westeuropa wurde in den letzten beiden Jahrhunderten durch die Menschen stark genutzt und verändert. In der Schweiz befinden sich nur noch vereinzelt, kleinere Fliessgewässersysteme in einem natürlichen oder naturnahen Zustand ohne wesentliche Eingriffe. Aus diesem Grunde ist das Revitalisierungspotenzial in der Schweiz sehr gross, es wird auf 12 300 km Fliessgewässerslänge geschätzt (ohne eingedolte Gewässer), dies entspricht zirka 20% der gesamten Fliessgewässersstrecke. Werden die Eindolungen mitberücksichtigt, beträgt das geschätzte Revitalisierungspotenzial zirka 30 000 km.

Die Schweiz hat 1994 die Biodiversitätskonvention von Rio (1992) ratifiziert und verpflichtet sich unter anderem, geschädigte Ökosysteme wiederherzustellen. Schweiz- und weltweit haben Revitalisierungsprojekte an Fliessgewässern eine hohe Bedeutung erreicht. Die Restaurationsökologie ist jedoch eine noch junge Wissenschaft, und Prognosen, wie sich das Ökosystem nach bestimmten Revitalisierungsmassnahmen entwickeln wird, sind schwierig.



Abbildung 12: Begradigte Rhone bei Gampel. (Foto: A. Peter, EAWAG)

Um den Bereich problemorientierte Forschungsprojekte und den Bezug zur Praxis zu verstärken, haben sich EAWAG und WSL (Eidg. Forschungsanstalt WSL) entschlossen, umfangreiche Studien bei wasserbaulichen Projekten mit Massnahmen zur Lebensraumverbesserung durchzuführen: einerseits an der Rhone (3. Rhonekorrektur), andererseits an der Thur und eventuell an weiteren Fliessgewässern. Bei Rhone und Thur handelt es sich um Projekte, die die wasserbauliche Sicherheit, die Umwelt sowie soziale Aspekte berücksichtigen.

An der Walliser Rhone wird sich die Gelegenheit ergeben, den Einfluss von Lebensraumverbesserungen bei gegebenen hydroelektrischen Nutzungen zu untersuchen. Ein wesentlicher Schwerpunkt wird dem Einfluss von Schwall-Sunk auf die Lebensgemeinschaften gewidmet sein. An der Rhone werden sich die Bauarbeiten auf die nächsten 25–30 Jahre erstrecken, der Baubeginn ist auf das Jahr 2003 festgelegt. Damit ergibt sich die Möglichkeit, Strecken im heutigen verbauten Zustand (Ist-Zustand) ausreichend zu dokumentieren und nach der Durchführung der Verbesserungsmassnahmen mittels Monitoring die Entwicklung zu verfolgen. Anders wird dagegen das Untersuchungsdesign an der Thur festgelegt. Dort werden in erster Linie mehrere verbaute Flussabschnitte mit veränderten, bereits aufgeweiteten (revitalisierten) Abschnitten verglichen.

Das die Rhone und Thur umfassende Projekt besteht aus vier Themenschwerpunkten:

- ▶ Schwall-Sunk,
- ▶ Flussaufweitungen,
- ▶ Erfolgskontrolle/Monitoring,
- ▶ Entscheidungsfindung und -ablauf.

Die naturwissenschaftlichen Projekte sind im Modul «Naturwissenschaftliche Prozesskette» zusammengefasst. Das Thema Erfolgskontrolle wird hier von zentraler Bedeutung sein. Ein zweites Modul wird sich mit sozialwissenschaftlichen Aspekten wie Entscheidungsfindung, Kosten-Nutzen-Analysen sowie mit Massnahmen-Wirkungsmodellen beschäftigen. Dabei kommt den Themen Ökonomie und Gesellschaft eine wesentliche Bedeutung zu. Das dritte Modul ist wasserbaulich ausgerichtet und wird auch den Geschiebehauhalt berücksichtigen.

Das Forschungsvorhaben wird wichtige, für zukünftige Projekte hilfreiche Produkte herstellen. Dies sind Analysen und Leitfäden zur Revitalisierung, Konzepte für Erfolgskontrolle, Analysen von geeigneten Indikatoren zur Messung des Erfolgs sowie Analysen zu Entscheidungsfindungen. Neben natur- und ingenieurwissenschaftlichen Vorgehensweisen werden die sozialwissenschaftlichen Ansätze als unabdingbar für künftige Revitalisierungsprozesse eingestuft.

Das beschriebene Projekt der EAWAG und WSL ist ein partnerschaftliches Projekt mit Bundesämtern (BWG und BUWAL), Kantonen, Universitäten, der EPFL/ETHZ und privaten Büros. Es soll Antworten geben auf die Frage, unter

welchen Bedingungen Lebensraumverbesserungsprojekte als erfolgreich einzustufen sind. Messbare Kriterien kommen zur Anwendung. Es wird davon ausgegangen, dass Revitalisierungsprojekte stets als gezielte Experimente einzustufen sind, die einer möglichst exakten Erfolgsbeurteilung bedürfen. Das Resultat der Erfolgskontrolle – ob Erfolg oder Misserfolg – ist in den Kreisen der Praxis und Wissenschaft zu kommunizieren. Damit ist sichergestellt, dass aus Fehlern die nötigen Lehren gezogen werden. Letztlich soll das Projekt auch als nationale und internationale Plattform im Bereich Gewässerrevitalisierung dienen. Informationen zur Revitalisierung von Fließgewässern sollen gezielt gesammelt, diskutiert und weitergegeben werden.

Kontaktpersonen für das Projekt:

Armin Peter, EAWAG (armin.peter@eawag.ch),
Felix Kienast, WSL (felix.kienast@wsl.ch)

Ausblick

Auf unserer homepage www.fischnetz.ch finden Sie aktuelle Angaben zu allen Aspekten des Projektes «Fischnetz», zu den Teilprojekten, Neuigkeiten und Veranstaltungen.

Termine

- ▶ Die nächste **TeilprojektleiterInnen-Konferenz** wird am Dienstag, 12. März 2002 in Olten (Bahnhofbuffet) durchgeführt. Dazu sind alle herzlich eingeladen, die in Teilprojekten mitarbeiten.
- ▶ Das **4. Fachseminar «Fischnetz»** findet am Freitag, 19. April 2002 in Fribourg statt. Bitte merken Sie sich diesen Termin vor. Genauere Information folgt zu einem späteren Zeitpunkt.
- ▶ Informationen zu «Fischnetz»-relevanten **Weiterbildungsveranstaltungen** der EAWAG erhalten Sie bei Herbert Güttinger, Telefon 01 823 50 23, herbert.guettinger@eawag.ch oder unter www.eawag.ch/events.

Dans ce numéro

- 15 Editorial
- 16 Sédiments fins: apports dans les cours d'eau et effets sur les poissons et autres organismes aquatiques
- 19 PKD – la maladie rénale proliférative de la truite: résultats du colloque de Kastanienbaum
- 20 Mortalités piscicoles périodiques en Haute Engadine: recherche des causes
- 22 Comment l'écotoxicologie peut-elle contribuer au «Fischnetz»?
- 24 Le traitement de problèmes complexes
- 26 De l'espace pour les cours d'eau – un projet de recherche de l'EAWAG et du FNP
- 27 Perspectives
- 27 Agenda

2 Deutsche Version

Impressum

La brochure «fischnetz-info» peut être obtenue gratuitement auprès de l'adresse mentionnée ci-dessous.

Rédaction:
Patricia Holm, Roman Bucher

Traduction:
Laurence Frauenlob-Puech, D-Waldkirch

«fischnetz-info» kann kostenlos bei der unten stehenden Adresse bezogen werden.

Verantwortlich für die Redaktion dieser Ausgabe:
Patricia Holm, Roman Bucher

Übersetzung ins Französische:
Laurence Frauenlob-Puech, D-Waldkirch

Projekt Fischnetz, Eva Ruh, EAWAG, Case postale 611,
8600 Duebendorf, eva.ruh@eawag.ch,
Tel. 01-823 51 54, Fax 01-823 53 75

www.fischnetz.ch



Editorial



En l'an 1885, il y a donc un peu plus de cent ans, le conseiller de légation Alfred de Claparède publiait à la demande du Département suisse du commerce et de l'agriculture de l'époque un petit livret portant le titre «Zur Frage der Verfolgung der den schweiz. Fischereien schädlichen Thiere», ce que l'on pourrait traduire par «De la poursuite d'animaux nuisibles pour les pêches suisses». Ce texte traite abondamment du cas de la loutre et donne une estimation de la perte

des poissons imputable à cet animal piscivore qui «tue pour le plaisir et qui ne consomme souvent qu'une infime partie des gros poissons qu'il capture (truites, carpes)». Dix pages de la brochure sont consacrées à la description des mesures que l'auteur considère comme adaptées à la lutte contre la loutre. Celles-ci sont complétées d'un avis selon lequel la Loi fédérale sur la chasse de 1875 donne pouvoir aux cantons d'arrêter des dispositions juridiques qui permettent de «délivrer des primes pour l'élimination d'animaux nuisibles pour l'agriculture, la pêche et le gibier».

Le succès de ces incitations à tuer et des primes accordées dans ce but (pas moins de 2098 entre 1889 et 1931 sur toute la Suisse) est indiscutable. On s'est cependant aperçu au milieu du siècle dernier, alors que les effectifs de la loutre en Suisse étaient tombés à 40 à 60 animaux et que l'espèce dut être mise sous protection, que les aménagements des cours d'eau et la pollution des eaux avaient fortement contribué à sa disparition. Quand il s'est avéré nécessaire de réintroduire l'espèce quelque 30 ans plus tard, il fallut renoncer à cette mesure étant donné que des polluants modernes tels que les PCBs, les polychloro-biphényles, se retrouvant dans la chaîne alimentaire des eaux, perturbaient la reproduction des loutres.

En tant que membre du Comité stratégique de «Fischnetz», je trouve que la disparition de la loutre a un rapport avec les problèmes traités par ce projet. Ceci pour deux raisons différentes:

Tout d'abord, son histoire illustre bien la variété de possibilités dont nous disposons pour perturber les écosystèmes. Cette histoire est d'autant plus inquiétante qu'elle montre bien que nous n'avons pas conscience ou ne pouvons avoir conscience de la complexité de notre emprise et de ses conséquences. Elle montre surtout qu'une fois les erreurs reconnues, il n'est pas si facile de les corriger. Il me semble donc tout à fait compréhensible que la recherche des causes du «Déclin des poissons en Suisse» nous demande une énorme somme d'énergies. Il paraît également évident que pour expliquer le phénomène de la baisse des effectifs piscicoles, il faut considérer le problème sous plusieurs angles différents. Les diverses hypothèses du projet «Fischnetz» montrent que nous faisons notre possible pour tenir compte de ces impératifs. S'il ne nous est cependant pas possible de suivre absolument chaque piste, c'est que notre projet a comme tout projet des limites de temps et surtout de moyens financiers.

Deuxièmement: les loutres se nourrissent de poissons et leur présence révèle donc que le milieu en contient suffisamment. De ce point de vue également, il pourrait y en avoir un peu plus dans nos lacs et rivières. Nous n'aurions alors plus besoin du projet complexe «Fischnetz». Nous pourrions expliquer les variations des effectifs piscicoles de manière «monocausale» en les attribuant à la présence de la loutre.

Peter Schönenberger, Conseiller d'Etat, Directeur du Département des finances du Canton de Saint-Gall, membre du Comité stratégique de «Fischnetz»

Conférence du 18 septembre 2001 des directeurs et directrices de projets partiels et autres résultats des projets partiels

Une des tâches principales du projet «Fischnetz» est de déterminer les causes de la chute des captures piscicoles et de la détérioration de l'état de santé des poissons observés dans les eaux suisses. Alors que l'état des connaissances a été actualisé dans de nombreux domaines de recherche, comme celui de la maladie rénale proliférative PKD, et que la discussion de ces sujets est déjà bien avancée, on en est encore aux balbutiements dans la vérification d'autres hypothèses. L'une de ces hypothèses implique un apport accru de sédiments fins dans les cours d'eau. Un projet partiel a été lancé cette année sur ce sujet et les premiers résultats ont été présentés à la conférence des directeurs et directrices de projets partiels. Cette année a également vu le lancement de projets de revitalisation de grande envergure menés sur plusieurs fleuves et rivières. «Fischnetz» espère en tirer des enseignements intéressants notamment dans le domaine du contrôle de l'efficacité des mesures engagées. Le phénomène de mortalité des ombres observé en Haute Engadine a motivé une étude visant à rassembler et à discuter les données existantes. La démarche adoptée pour traiter ce problème illustre une manière pragmatique de tirer parti de connaissances déjà existantes mais souvent incomplètes. Un autre article montre comment un module d'écotoxicologie intégré au Système modulaire gradué suisse destiné à l'évaluation de l'état des cours d'eau peut contribuer à répondre aux questions du «Fischnetz». Un dernier article, enfin, traite des difficultés et des potentialités liées à la résolution de problèmes complexes. Vous trouverez comme d'habitude tous les articles de ce numéro sur l'internet ainsi que toutes leurs références bibliographiques.

Sédiments fins: apports dans les cours d'eau et effets sur les poissons et autres organismes aquatiques

Roman Bucher, EAWAG

Sous l'effet de l'érosion qui se produit dans le milieu terrestre ainsi que sur les rives et le fond des rivières, des sédiments fins (argiles, limons, sables) sont mobilisés, sont transportés par l'eau et se déposent. Ces dépôts peuvent induire un colmatage ou à un envasement du lit des cours d'eau. Ils détruisent l'habitat de nombreuses plantes et animaux aquatiques et nuisent au bon développement des œufs et des larves des poissons frayant sur gravier. Les observations faites au cours des dernières décennies semblent indiquer une augmentation des apports de sédiments fins dans les cours d'eau, surtout en provenance de l'agriculture. Différents projets partiels du réseau «Fischnetz» cherchent à savoir si ces dépôts accrus ont un rapport avec la baisse des rendements piscicoles observée récemment.

Granulométrie	désignation	
0,02 – 4 µm	argiles	} sédiments fins
4 – 63 µm	limons	
63 µm – 2 mm	sables	
2 – 63 mm	graviers	
> 63 mm	cailloux	

Tableau 1: Répartition des matériaux du lit en diverses classes de granulométrie (échelle de Wentworth).

Les recherches sur les causes de la baisse des rendements piscicoles en Suisse sont basées sur 12 hypothèses (voir fischnetz-info n° 7 ou www.fischnetz.ch). L'hypothèse n° 7 est ainsi formulée: une augmentation de la part de sédiments fins est responsable du déclin des populations de poisson. Le présent article révèle sur quels éléments cette hypothèse repose.

Les sédiments fins: une part du système aquatique

Le substrat du lit des rivières est réparti en plusieurs classes granulométriques. On désigne sous le terme de sédiments fins les particules appartenant aux classes «argiles», «limons» et «sables» (voir tableau 1).

En fonction de leur composition chimique, on fait la distinction entre particules organiques et anorganiques (minérales). Les matières minérales proviennent en majorité de l'érosion des roches alors que les particules organiques sont le résultat de processus biologiques. Les sédiments fins atteignent les rivières avec les eaux de ruissellement ou sont produits directement dans le cours d'eau par érosion des rives ou du fond. En fonction des caractéristiques locales du courant et du dénivelé, les particules sont transportées, déposées sur le fond, éventuellement reprises par le courant et transportées plus loin où elles seront redéposées, etc. On peut facilement observer les particules en suspension après de fortes pluies lorsque les cours d'eau charrient leurs eaux brunâtres.

Les rivières évacuent d'énormes quantités de matières en provenance du milieu terrestre vers la mer et les lacs où elles

se déposent et induisent des phénomènes d'atterrissement. D'après certaines estimations, l'Aar transporterait au niveau d'Untersiggental (avant de déboucher dans le Rhin) une charge annuelle de 650 000 tonnes!

Influences anthropiques et sources de sédiments

Des apports considérables de sédiments fins dans les cours d'eau proviennent de l'agriculture, de même que de l'activité forestière, du prélèvement de granulats dans les rivières ainsi que de la construction de bâtiments à leur proximité. Au sein du domaine agricole, ce sont les champs avec leurs surfaces ouvertes qui sont particulièrement sensibles à l'érosion. Certaines évolutions de ces dernières décennies font penser que les apports de sédiments fins dans les rivières ont augmenté:

► La mécanisation et la rationalisation de l'agriculture ont entraîné une augmentation des surfaces construites et une raréfaction des «obstacles» tels que haies, murets ou zones humides. Les structures de petite taille ont été détruites et ce sont les grandes étendues qui dominent aujourd'hui le paysage. Les zones adjacentes aux cours d'eau, qui forment des zones tampon, ont disparu et ont été construites ou privées de leur végétation. Des machines extrêmement lourdes entraînent un compactage du sol qui induit une augmentation des écoulements de surface.

► La surface occupée par les terres arables a augmenté de 1970 à 1985. C'est surtout la culture du maïs qui a connu

un essor considérable, les surfaces qui lui sont consacrées ayant été multipliées par cinq dans ce laps de temps (pour atteindre env. 60 000 ha soit un cinquième de la surface totale des terres arables). Les cultures de maïs sont réputées pour être particulièrement sensibles à l'érosion: on estime l'érosion à 2–10 tonnes par hectare. L'érosion moyenne d'un champ est estimée à 0,5–1 t par hectare.

► L'extension extrêmement rapide des zones bâties s'effectue sur les meilleurs terrains plats. L'agriculture se trouve souvent confinée dans les zones de pente qui sont naturellement plus sensibles à l'érosion.

► L'imperméabilisation des sols (par les routes et les zones construites) induit une augmentation de l'écoulement de surface et donc une aggravation de l'érosion.

Effets sur les poissons et le benthos

De nombreux organismes vivent dans les interstices ou pores du substrat, et ce, jusqu'à une profondeur de 70 cm. Ce système interstitiel constitue un biotope de protection absolument vital; c'est là également que les salmonidés passent les premières semaines de leur vie.

Les sédiments fins se déposent dans les interstices ou sur le lit de la rivière. Sous l'effet de la pression hydrodynamique et de la pesanteur, les couches accumulées peuvent se compacter et induire un colmatage du substrat. Le colmatage est un phénomène naturel qui se produit dans les tronçons de



Figure 1: La Wigger à la hauteur de Schötz: un cours d'eau présentant des obstacles à l'écoulement et un lit fortement colmaté. (Photo: A. Peter, EAWAG)

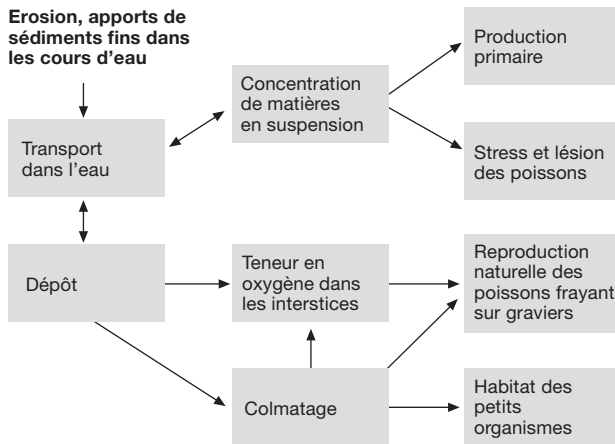


Figure 2: Origine et effets des sédiments fins dans les cours d'eau.

rivière à écoulement lent ou bien dans les zones d'infiltration. Les crues et le charriage qu'elles entraînent arrachent régulièrement ces couches sédimentaires (décolmatage). Un apport accru de sédiments fins ou une modification des vitesses d'écoulement et des niveaux piézométriques peuvent accentuer le colmatage. Les ouvrages transversaux aménagés dans les rivières favorisent la sédimentation de particules fines et empêchent le décolmatage régulier en retenant les transports solides grossiers (figure 1).

Le colmatage peut poser de sérieux problèmes lors de l'incubation des œufs de poisson. Ce sont les poissons frayant sur graviers qui sont les plus touchés, comme par ex. la truite fario, l'ombre de rivière, le chevaine, le chabot, etc. Les œufs de la truite fario sont en général déposés à une profondeur variant de 10 à 30 cm dans le substrat (en fonction de la taille de la femelle, de la structure du substrat et du courant). Le facteur limitant pour la survie et le développement des œufs est la teneur en oxygène. Suivant les stades de développement et la température de l'eau, les besoins en oxygène varient entre 1 et 8 mg/l; l'éclosion nécessite même des teneurs de l'ordre de 8 à 10 mg/l. Les sédiments fins peuvent se déposer dans les zones de frayères et compromettre l'alimentation des œufs en oxygène. Il arrive également qu'une couche imperméable se forme à la surface du lit de graviers, emprisonnant les alevins déjà éclos et les empêchant d'atteindre les niveaux supérieurs du lit dans lesquels ils pourraient trouver de la nourriture. Une proportion de sédiments fins dans le lit de gravier de plus de 15% compromet la survie des œufs et des embryons.

Les poissons adultes et juvéniles sont généralement gênés ou stressés par les sédiments fins en suspension dans l'eau. Ils réagissent à de fortes concentrations par une réduction de la prise de nourriture et de la croissance et sont plus sensibles aux maladies et aux produits toxiques. Des concentrations très élevées provoquent des réactions de fuite (à partir de 100 mg/l) et d'émigration ou peuvent entraîner la mort suite à une altération de branchies (>1000 mg/l).

Les sédiments fins limitent la pénétration de la lumière dans les cours d'eau et réduisent donc la photosynthèse et la visibilité.

L'exploitation hydroélectrique par éclusées peut être à l'origine de fortes concentrations de sédiments fins dans les eaux tout au long de l'année. Cela constitue une source de stress pour les poissons et les petits organismes et peut induire une augmentation de la dérive. La figure 2 montre l'origine et les processus des sédiments fins dans les cours d'eau ainsi que les effets sur les organismes aquatiques.

Etudes effectuées jusqu'à présent en Suisse – Travaux réalisés dans le cadre du «Fischnetz»

Les observations semblent indiquer que la charge en sédiments fins a augmenté dans les cours d'eau suisses. Des études menées en Suisse et à proximité ont révélé des aspects intéressants:

- ▶ Dans la Moosach (Bavière), on attribue le déclin des populations piscicoles à l'intensification de l'agriculture.
- ▶ Des études actuellement menées sur le Rhin alpin montrent qu'il existe un lien entre la modification des apports de particules fines imputable à l'exploitation hydroélectrique par éclusées et une réduction de la biomasse.
- ▶ On soupçonne que l'exploitation hydroélectrique du type pompage-turbinage induise une augmentation des apports de particules fines dans le lac de Brienz, ce qui entraîne une baisse des rendements de corégones.

Dans l'ensemble, le nombre des études déjà réalisées reste cependant faible. Des séries de mesures sur les concentrations et charges de sédiments fins effectuées entre autres dans le cadre du Programme national pour l'étude analytique en continu des cours d'eau suisses (NADUF) vont être exploitées dans les mois qui viennent. Dans le cadre des projets partiels du «Fischnetz» portant sur l'*Abondance des estivaux* (00/12, 01/12), on étudie le lien entre colmatage et reproduction naturelle. Ce thème est également abordé dans le projet partiel intitulé *Jura* dans le cas de la rivière Allaine (00/17) ainsi que dans l'étude plus globale des *Domaines d'étude* (00/16) sur les rivières Emme, Venoge et Necker et sur le Liechtensteiner Binnenkanal. Le projet partiel intitulé *Sédiments fins* (01/07) comprend une étude bibliographique, rassemble des données et observations sur le sujet et livre une estimation de l'importance de cette nuisance pour le phénomène de baisse des rendements piscicoles. Ce projet partiel traite également de mesures envisageables pour limiter les apports de sédiments fins (zones tampon, végétation rivulaire, pratiques agricoles) et le colmatage du lit de graviers. Nous attendons les premiers résultats pour le cours de l'année prochaine.

Si vous disposez d'informations ou de données en rapport avec les sédiments fins, les modifications du paysage ou le colmatage, n'hésitez pas à nous les communiquer (roman.bucher@eawag.ch). Nous vous en serions reconnaissants.

PKD – la maladie rénale proliférative de la truite: résultats du colloque de Kastanienbaum

Patricia Holm, EAWAG

Comme nous l'avons annoncé dans le *fischnetz-info* n° 6, un colloque scientifique s'est tenu début juillet 2001 au centre de l'EAWAG de Kastanienbaum pour rassembler les connaissances actuelles sur la maladie rénale proliférative PKD (proliferative kidney disease) et tenter de trouver des réponses aux questions spécifiques qui se posent actuellement en Suisse. Les principaux points discutés à implication pratique sont présentés ici. Les compte-rendus du colloque seront publiés dans leur totalité dans un prochain numéro du «*Journal of Fish Diseases*».

Absorption et mise en évidence du parasite dans les poissons

Il a été récemment démontré que le parasite pénètre dans le poisson sous la forme de petites spores non pas par les branchies mais à travers les cellules à mucilage de la peau (figure 3, voir aussi *fischnetz-info* n° 6), et ce, au cours de la première minute après entrée en contact avec l'agent pathogène. Les parasites peuvent ensuite être observés au niveau de la musculature du squelette sans qu'aucune réaction d'inflammation ne se soit encore produite. Les symptômes cliniques typiques n'apparaissent qu'au bout d'environ 6 semaines (gonflement du ventre, augmentation de la taille des reins, comportement apathique, etc.). Il reste difficile d'établir un diagnostic de la maladie. Même des méthodes moléculaires peuvent livrer des résultats faussement négatifs (agent pathogène présent mais non détecté) ou faussement positifs (résultat positif alors que l'échantillon ne contient pas d'agent pathogène).

Un temps d'exposition au parasite de l'ordre de quelques minutes suffit donc pour assurer le déclenchement ultérieur de la maladie. Mais la rapidité de l'absorption du parasite par l'hôte est absolument vitale pour l'agent pathogène étant donné qu'il n'est virulent que pendant moins d'un jour dans

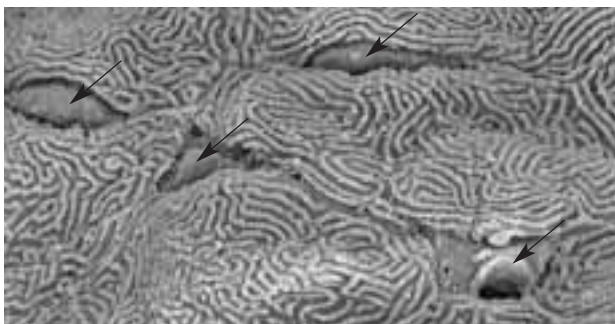


Figure 3: Vue au microscope électronique à balayage des cellules à mucilage (flèches) de la peau d'un poisson par laquelle le parasite peut pénétrer dans l'organisme. (Photo: M. Stoffel, Université de Berne)

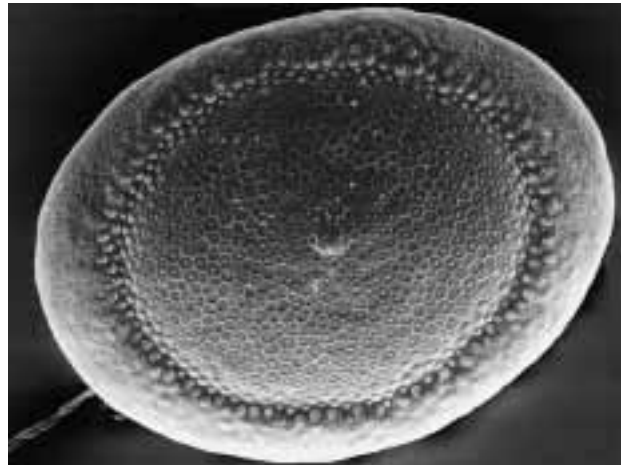


Figure 4: Statoblaste (forme de latence) d'un bryzoaire vu au microscope électronique à balayage. Grossissement x 260. (Photo: CRP Gabriel-Lippmann, Luxembourg)

les conditions de terrain habituelles. Cela signifie également que, sans hôte intermédiaire, le parasite n'a aucune chance de survie, ce qui est probablement lié à la faible épaisseur de la paroi des spores.

L'hôte intermédiaire

Ce sont des bryozoaires qui servent d'hôtes intermédiaires au parasite. Ils forment des colonies, le plus souvent dans des endroits abrités, comme sur la face inférieure de plantes immergées ou de pierres ou bien dans des conduits, et filtrent les petites particules de l'eau. Comme les premiers résultats d'une équipe de chercheurs anglais l'indiquent, c'est peut-être en filtrant l'eau qu'ils absorbent les spores du parasite qui sont libérées avec l'urine des poissons.

Les bryozoaires passent généralement l'hiver sous une forme de latence, les statoblastes (ca. 1 mm, figure 4) à partir desquels se forment au printemps ou au début de l'été de petites colonies. Les statoblastes résistent bien aux températures extrêmes, au dessèchement et aux processus de digestion dans l'estomac des oiseaux d'eau et représentent la seule vraie possibilité d'infection d'autres hydrosystèmes, et ce, sur un rayon de plusieurs centaines de kilomètres.

On ne sait toujours pas comment le parasite passe l'hiver car il n'a encore jamais été observé dans les statoblastes. Certaines espèces de bryozoaires peuvent cependant également passer l'hiver sous la forme de petites colonies vivantes dans lesquelles le parasite a déjà été mis en évidence. On ignore s'il s'agit là de la seule possibilité dont dispose le parasite pour survivre à cette saison. Il n'est d'autre part pas exclu que le parasite puisse être abrité par d'autres hôtes intermédiaires.

Importance d'autres facteurs pour la maladie

On cerne encore mal le rôle que jouent les facteurs environnementaux naturels ou sous influence anthropique dans le

déclenchement de la PKD, mais certains éléments portent à croire qu'une pollution organique des eaux favorise son extension. Des études menées dans le Sud de l'Allemagne, en Angleterre et en France confortent l'hypothèse selon laquelle de faibles taux d'oxygénation ou une pollution chimique des eaux favoriseraient la maladie. Il est par contre établi que la température de l'eau joue un rôle décisif. En effet, les symptômes cliniques n'apparaissent (chez la truite) qu'à une température supérieure à 15 °C. De plus, le parasite a besoin d'une température supérieure à 7–8 °C pour assurer sa reproduction et pour infecter le poisson.

Extension de la maladie

En Grande-Bretagne, l'extension de la PKD a été étudiée dans 16 rivières sur des salmonidés en milieu naturel (185 saumons, 235 truites fario, 16 ombles-chevaliers et 5 ombres de rivière). La maladie n'a été diagnostiquée que sur des saumons et des truites fario, mais le nombre d'échantillons pour les autres espèces est insuffisant pour conclure à la présence ou à l'absence de cette maladie. C'est peut-être aussi la raison pour laquelle on ne trouve jamais de taux d'infection inférieurs à 11%; dans les eaux fortement polluées, la fréquence était de 43%. On constate de grandes différences entre les cours d'eau en ce qui concerne l'étendue de la PKD, ce qui plaide également pour un rôle important des facteurs environnementaux. Les études portant sur l'étendue de la PKD doivent donc également tenir compte de ces facteurs ainsi que d'autres maladies et parasites.

La contribution suisse au symposium portait en un premier temps sur les résultats de l'étude des cas de PKD diagnostiqués entre 1979 et 2000 au Centre pour le diagnostic des animaux et des poissons (FIWI, Université de Berne). Notons en passant que la maladie n'a pas uniquement été observée sur les truites fario et les truites arc-en-ciel, mais qu'un cas d'ombre de rivière a été constaté (sur n = 146 poissons étudiés). La maladie n'a été diagnostiquée ni chez l'omble chevalier (n = 295), ni chez le brochet (n = 135). Dans un deuxième temps ont été présentés les résultats actuels ob-

tenus dans le cadre du projet partiel 00/02 (*Etendue de la PKD en Suisse et influence sur les effectifs piscicoles*) (voir fischnetz-info n° 6). Les résultats de l'étude histologique des truites examinées jusqu'à présent concordent dans la plupart des cas avec les diagnostics macroscopiques effectués antérieurement. Certains échantillons ont par contre parfois donné des réponses faussement négatives (des truites qui présentaient des parasites au niveau microscopiques n'avaient pas développé de symptômes observables au niveau macroscopique) ou faussement positives (des truites présentant des symptômes macroscopiques sans que l'agent pathogène ne soit détectable dans les tissus). Il est établi que d'autres agents pathogènes peuvent provoquer au niveau des reins des altérations macroscopiques similaires à celles de la PKD. Il est absolument indispensable de pouvoir disposer de techniques de diagnostic fiables, comprenant des méthodes histologiques et biomoléculaires, pour une étude correcte de la biologie, de l'extension et de l'influence sur la pêche de cette maladie.

Mesures envisageables

L'élimination des habitats favorables aux bryozoaires, comme par ex. des parties immergées des plantes aquatiques, serait certes efficace pour venir à bout du parasite, mais cette stratégie n'est pas applicable aux eaux libres.

Certaines suggestions concernant la gestion des eaux ont été formulées au cours de la discussion commune:

- ▶ Empoisonnement des eaux non contaminées par la PKD uniquement avec des truites PKD-négatives.
- ▶ D'après les connaissances actuelles en général pas d'empoisonnement avec des truites PKD-positives tant que l'on ignore s'il n'existe pas de voies de transmission encore inconnues et s'il existe d'autres réservoirs dans la nature.
- ▶ Empoisonnement des cours d'eau à l'automne.
- ▶ Il faut réaliser une analyse et une estimation des risques pour chaque cours d'eau et adapter les recommandations en fonction de leurs résultats.



Figure 5: Les participants au colloque de Kastanienbaum, 1–3 juillet 2001.

Mortalités piscicoles périodiques en Haute Engadine: recherche des causes

Résumé de l'étude sur le déclin des ombres dans l'Inn (Canton des Grisons) par Daniel Bernet (Université de Berne) et Patricia Holm (EAWAG)

Marco Lanfranchi (Service de l'environnement du canton des Grisons)

Guido Ackermann (Inspection de la chasse et de la pêche du canton des Grisons)

La population d'ombres de Haute Engadine est considérée comme étant la plus élevée d'Europe en altitude. L'importance de son effectif et l'efficacité de sa reproduction natu-

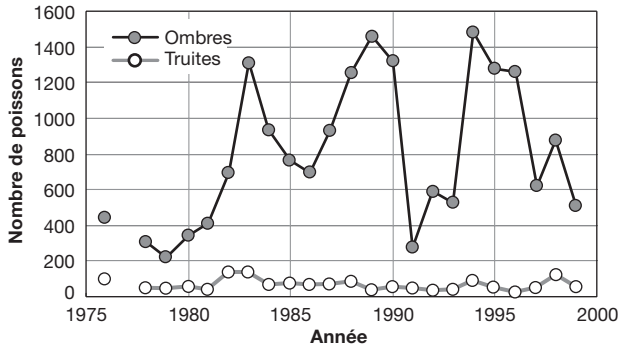


Figure 6: Poissons transportés par l'Inn jusqu'à la grille de retenue de l'ouvrage de S-Chanf. 1977: pas de données disponibles.

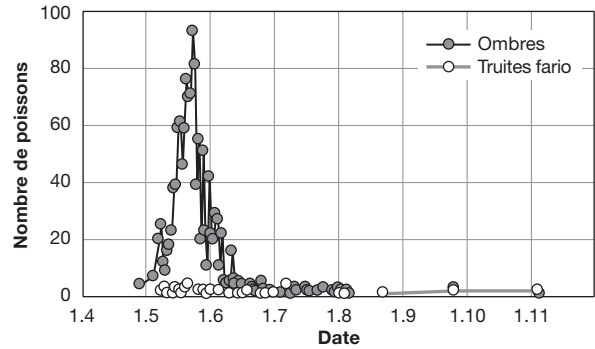


Figure 7: Evolution de la mortalité au cours de l'année 1990 constatée à la grille de retenue de l'ouvrage de S-Chanf.

relle en font une population d'importance nationale. Depuis plusieurs années au printemps, on observe périodiquement dans l'Inn de nombreux poissons morts ou gravement affaiblis. Dans le cadre d'une étude de l'EAWAG, représenté par la direction du projet «Fischnetz», on a effectué un traitement des données disponibles, discuté des hypothèses envisageables pour expliquer le phénomène et proposé des actions à entreprendre dans l'avenir.

On observe tous les ans un nombre considérable d'ombres et parfois de truites fario morts ou gravement affaiblis qui, transportés par les eaux, s'accumulent à la grille de la prise d'eau de S-Chanf ainsi qu'au niveau du siphon du cours ancien de l'Inn à Cristansains, Samedan. Depuis que les observations sont consignées, c'est à dire depuis 1976, on a observé chaque année à S-Chanf entre 200 et 1500 ombres et entre 10 et 170 truites fario (figure 6). Par contre, au siphon de Samedan, après avoir enregistré des chiffres similaires dans les années 80, on n'a plus observé à partir de 1991 que quelques poissons morts isolés. On ignore les raisons de cette amélioration. Les suppositions vont d'une amélioration de la qualité de l'eau suite à la mise en service d'une STEP jusqu'à une relative faiblesse des effectifs d'ombre dans l'ancien cours de l'Inn. Face à l'apparition périodique de poissons morts, le Service de l'environ-

nement et l'Inspection de la chasse et de la pêche du canton des Grisons ont chargé l'EAWAG (Institut fédéral pour l'aménagement, l'épuration et la protection des eaux) d'analyser la situation, de dégager les causes possibles, et de formuler des propositions sur les mesures à prendre dans l'avenir.

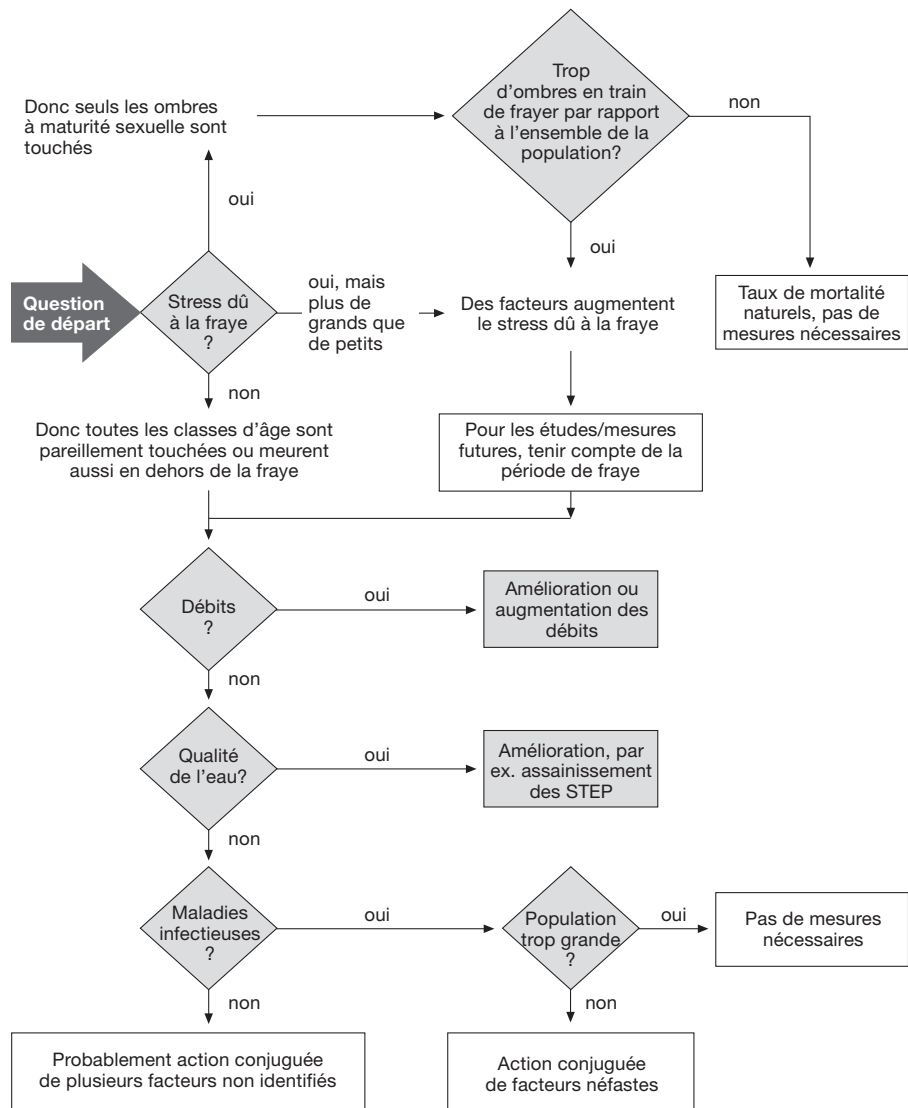


Figure 8: Arbre de décision donnant l'ordre dans lequel diverses mesures peuvent être prises.

Des causes inconnues

Jusqu'à aujourd'hui, il n'a pas encore été possible d'identifier les causes exactes du phénomène. Les poissons morts sont observés uniquement de fin avril à fin mai (figure 7). Cet élément suggère qu'il existe un lien avec la période de fraye des ombres. Comme beaucoup d'autres espèces, les ombres sortent plutôt affaiblis de la période de reproduction et sont sujets aux attaques de champignons. Malgré la présence de facteurs de stress qui affaiblissent naturellement les poissons pendant la fraye, on suppose que l'ampleur du phénomène constaté chaque année dépasse le cadre des «pertes naturelles». Les facteurs principaux susceptibles d'induire une mortalité accrue sont: une plus forte densité de population, de fortes variations quotidiennes du niveau des eaux ou un régime des débits résiduels défavorable sur les secteurs influencé par les centrales hydroélectriques, ainsi que le déversement chronique et variable en hiver de grandes quantités d'effluents de STEP dans des conditions de dilution défavorables.

Un phénomène naturel?

Si la mortalité élevée des ombres au printemps est entièrement due au stress de la fraye, il s'agit là d'un phénomène naturel qu'il faut bien accepter. Il est cependant possible que le phénomène n'atteigne une telle ampleur que sous l'effet de facteurs de stress supplémentaires ou d'une combinaison de facteurs. Notre but est maintenant de déterminer les causes possibles à l'aide d'études ciblées. Ces dernières comprennent entre autres une caractérisation détaillée de l'état des poissons (âge, maladies, condition physique, etc.), une détermination de la taille et de la dynamique des effectifs d'ombres, une caractérisation des habitats ainsi qu'une étude de la qualité de l'eau visant en particulier à la détection de substances toxiques pour les poissons.

Arbre de décision pour la prise de mesures

En fonction de la réponse à la question de base suivante: «Quelle est la cause de la présence de poissons morts?», la marche à suivre peut être lue dans un arbre de décision (figure 8). Les mesures envisageables brièvement décrites dans l'arbre de décision sont développées dans l'étude.

Comment l'écotoxicologie peut-elle contribuer au «Fischnetz»?

Nina Schweigert, Rik Eggen, Beate Escher, Patricia Holm et Renata Behra (EAWAG)

En Suisse, il est prévu que les cours d'eau fassent dorénavant l'objet d'analyses écotoxicologiques dans le cadre du système modulaire gradué suisse. Ces études peuvent contribuer à une meilleure compréhension de l'effet des polluants

sur les poissons autochtones ainsi qu'à une évaluation du rôle que jouent les polluants dans le phénomène de déclin des populations piscicoles.

Le système modulaire gradué suisse

Dans le système modulaire gradué mis au point en Suisse pour l'évaluation de l'état des cours d'eau, la procédure d'évaluation est divisée en plusieurs modules: hydrologie, écomorphologie, chimie, écotoxicologie et biologie. On compte plusieurs modules de biologie: algues, macrophytes, végétation rivulaire, macrozoobentos et poissons. Dans chaque module, l'évaluation s'effectue en trois étapes correspondant à différents niveaux d'approfondissement des études impliquées. Plus la zone géographique à étudier est large, plus les études seront superficielles. Par exemple, dans le module «Poissons», le niveau d'étude R (région), qui s'applique à des études de grande échelle, va délivrer une vue d'ensemble sur le spectre spécifique, alors que le niveau C (cours d'eau) comprend des études détaillées livrant des diagnostics de population. Au niveau le plus détaillé, le niveau T (tronçon), les études portent uniquement sur des zones très restreintes d'un cours d'eau et elles sont beaucoup plus ciblées de manière à répondre à des questions spécifiques. Dans le module «Poissons», ce niveau comprend notamment une analyse quantitative des populations et des habitats.

L'écotoxicologie

L'écotoxicologie traite du rapport existant entre les polluants et leurs effets sur les organismes et l'écosystème auquel ils appartiennent. La charge en polluants des eaux suisses a certes diminué au cours des dernières décennies, mais les produits chimiques déversés dans l'environnement en provenance de l'industrie et des ménages se comptent encore par milliers. Le cas des substances à activité hormonale, qui provoquent une masculinisation des gastéropodes et entraînent l'apparition d'ovotestis chez les poissons, illustre bien le fait que même les concentrations relativement faibles de polluants que nous enregistrons dans nos cours d'eau peuvent causer de graves dommages dans les écosystèmes. Le module d'écotoxicologie doit permettre d'établir un diagnostic précoce des effets toxiques des polluants et donc d'éviter que des cas semblables ne se reproduisent.

Les polluants

Entre 500 et 1000 nouveaux produits chimiques sont lancés chaque année sur le marché. On ignore en général tout ou presque de leurs effets sur les écosystèmes et il est donc quasiment impossible de prévoir leurs effets lorsqu'ils sont combinés à d'autres polluants. C'est pourquoi on voit sans cesse apparaître de nouveaux effets, parfois très surprenants. Même le module d'écotoxicologie ne peut exclure ce genre de problèmes, car il est impossible d'étudier toute la

palette des effets possibles et imaginables, et ce, sur tous les organismes d'un écosystème. Une grande partie des effets possibles peut cependant être étudiée et reconnue à temps. Une observation détaillée de l'ensemble de l'écosystème, telle qu'elle est prévue au niveau T des modules de biologie, serait certes d'une grande utilité, mais elle ne peut être réalisée que dans certains cas étant donné qu'elle nécessite beaucoup d'énergie et de moyens. De plus, ce genre d'études ne permet en général pas d'établir des relations de cause à effet entre une altération de l'écosystème, comme par ex. la disparition d'une espèce de poisson, et la présence de polluants. Divers travaux effectués dans le cadre du «Fischnetz» ont de plus montré que ces études ne permettaient pas de mettre hors de cause d'autres facteurs comme par ex. la quantité de nourriture disponible, la pression de prédation, ou la qualité de l'habitat. D'autre part, les effets des polluants ne sont mesurés qu'une fois qu'ils se sont bien établis et que des dommages ont été constatés. Entre le moment où des dommages apparaissent au niveau cellulaire et celui où l'atteinte est visible au niveau de l'écosystème, il peut s'écouler entre plusieurs mois et plusieurs années. Plus les concentrations de polluants sont faibles plus ce décalage dans le temps est important. L'écotoxicologie peut intervenir à ce niveau et permettre à l'aide de techniques modernes de détecter des réponses de toxicité *in situ* et de les étudier par des méthodes de biologie moléculaire.

Un nouveau concept pour l'évaluation de l'état des cours d'eau

La structure de notre concept est présentée dans la figure 9. Pour le module d'écotoxicologie, les échantillons d'eau sont prélevés de manière aléatoire dans des cours d'eau dans lesquels on soupçonne soit des déversements d'eaux usées toxiques soit la présence de polluants. Ceci n'est réalisable que dans le cadre d'une bonne collaboration entre les différents modules et si l'on peut

disposer d'informations provenant d'autres projets, comme le «Fischnetz» par ex. Le module d'écotoxicologie n'est pas subdivisé en niveaux R, C et T, ce qui signifie que tous les échantillons sont étudiés à la même résolution. C'est la seule façon de s'assurer de la détection de toutes les réponses de toxicité ayant une signification pour l'écosystème. Pour pouvoir étudier convenablement un grand nombre d'échantillons, on a pris soin de sélectionner pour notre concept des méthodes d'investigation à la fois sensibles, peu coûteuses, rapides et faciles à appliquer. L'étude des échantillons se déroule en deux étapes. Tout d'abord, la toxicité potentielle de tous les échantillons est déterminée à l'aide de tests *in vitro*. Seuls les échantillons qui présentent une toxicité potentielle dans la première série de tests sont soumis à ceux de la deuxième étape. Dans l'étape 2, on évalue la toxicité des échantillons pour les organismes.

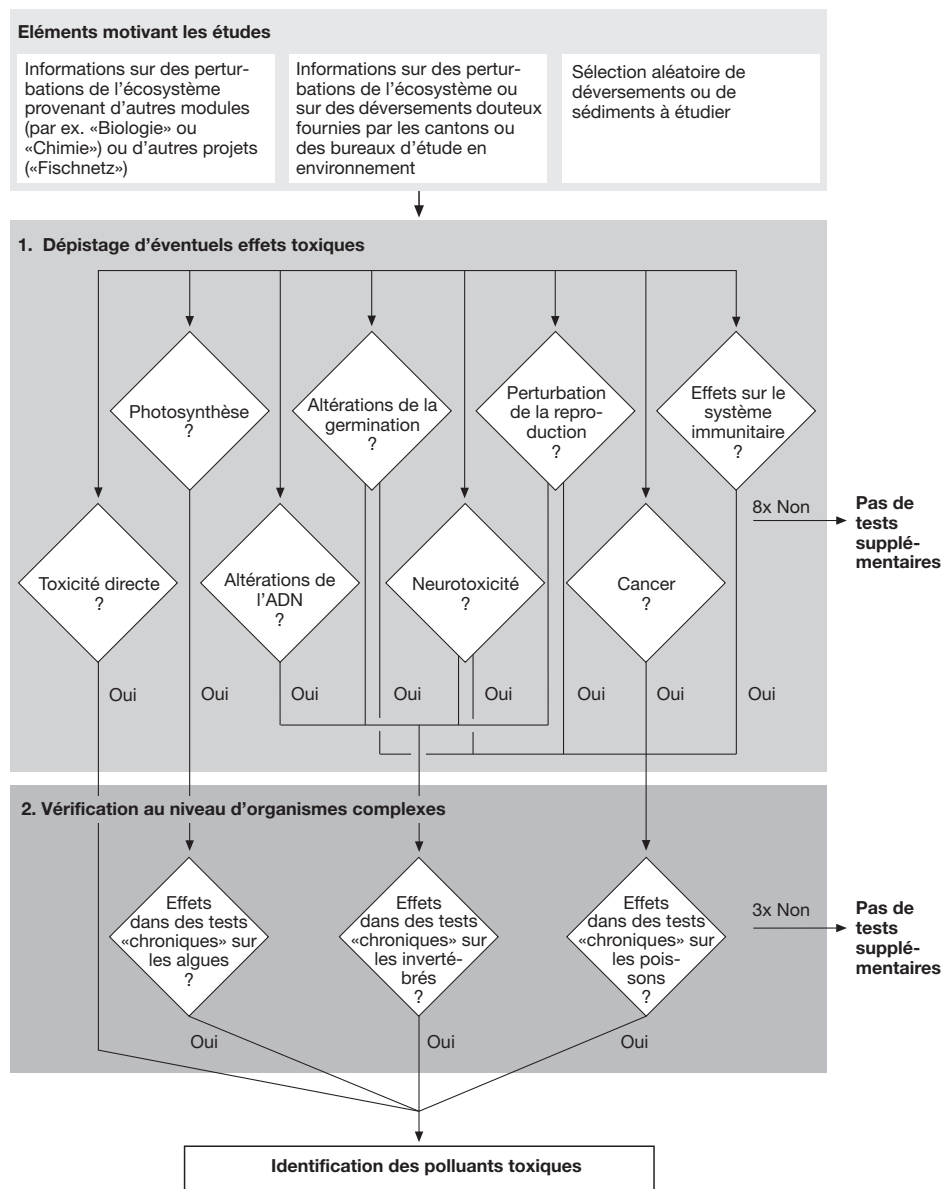


Figure 9: Procédé à deux étapes du module d'écotoxicologie.

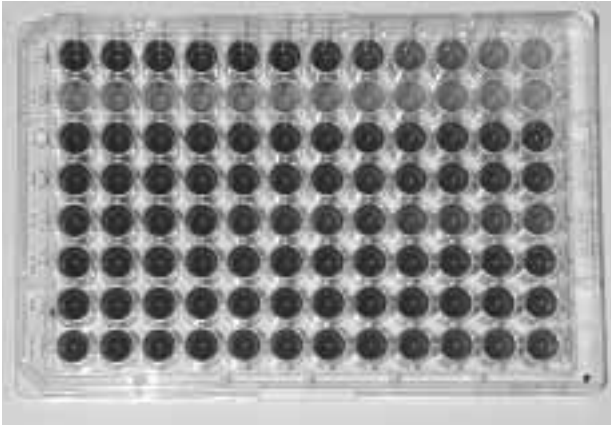


Figure 10: Mise en évidence de substances à activité hormonale dans les eaux usées à l'aide de cellules de levure génétiquement modifiées. Tubes foncés: effet œstrogène; tubes clairs: pas d'effet œstrogène. (Photo: N. Schweigert, EAWAG)

Etape 1: Le potentiel de toxicité d'un échantillon est déterminé à l'aide d'organismes unicellulaires, de cultures de cellules et d'embryons de poissons. Pour ce faire, on enregistre toutes les réactions de toxicité manifestées par les cellules exposées à l'échantillon. Dans cette première étape, les effets potentiels de l'échantillon sur les microorganismes (figure 10), les cellules végétales, les invertébrés et les poissons, sont étudiés séparément. Ce niveau d'étude comprend donc automatiquement une étude spécifique pour les poissons de certains effets toxiques tels que des altérations de l'ADN, de la germination ou de la reproduction résultant de mécanismes hormonaux. La toxicité directe des échantillons d'eau est déterminée à l'aide de bactéries. Dans le cas où des réponses négatives ont été obtenues pour la totalité des tests de l'étape 1, les échantillons sont considérés comme étant inoffensifs. Ils ne seront pas soumis à d'autres analyses. La batterie de tests présentée ici doit être constamment actualisée en fonction des progrès de la recherche, c'est à dire que si de nouvelles méthodes plus simples ou plus sensibles étaient développées, certains tests pourraient être remplacés par des tests plus performants. De plus, la batterie de tests peut être complétée par des tests qui répondent à des mécanismes d'action non encore connus actuellement.

Etape 2: Les études ne sont poursuivies que sur les groupes d'organismes qui ont donné des réponses positives à l'étape 1. Les espèces qui représentent chacun de ces groupes doivent être caractéristiques des milieux aquatiques dans lesquels les échantillons d'eau ont été prélevés. Mais il doit également s'agir d'espèces relativement sensibles qui, de plus, se prêtent aux conditions de captivité en laboratoire. Le test de la deuxième étape découle des réponses obtenues à l'étape 1 et des questions qu'elles ont suscitées. Pour s'assurer de soumettre les organismes sélectionnés à des tests judicieux et adaptés aux besoins, des experts

seront consultés. On tiendra également compte des informations éventuellement livrées par les autres modules, en particulier ceux de biologie et de chimie. Les résultats des autres équipes impliquées dans le système modulaire gradué peuvent être très utiles pour la sélection du test à effectuer à l'étape 2. Si ce test donne une réponse négative, on peut conclure que l'échantillon présente une certaine toxicité au niveau cellulaire, mais que celle-ci n'a pas de répercussions notables au niveau de l'organisme. Dans ce cas, l'échantillon d'eau est considéré comme étant inoffensif. Par contre, si la toxicité est confirmée à l'étape 2, il faut tenter d'identifier le ou les polluants qui en sont responsables pour pouvoir prendre des mesures correctrices. Si l'effet mesuré est cependant dû à l'action combinée de plusieurs polluants, il peut s'avérer difficile voire impossible d'identifier chacun des produits impliqués. Dans ce cas, il convient de procéder de manière pragmatique en tentant par exemple de réduire la concentration de tous les polluants présents.

Conclusion

Ce concept élaboré pour l'évaluation écotoxicologique de l'état des cours d'eau permet de traiter des questions qui intéressent également le «Fischnetz». L'une des hypothèses du «Fischnetz» traite de l'implication des polluants chimiques dans le phénomène de chute des effectifs piscicoles suisses. Le concept présenté ici permet d'estimer la toxicité potentielle des polluants dans le milieu aquatique et de la vérifier à l'aide d'essais spécifiques.

Le traitement de problèmes complexes

Patricia Holm, EAWAG

«Ne pouvons-nous pas pour une fois discuter des problèmes complexes et multifactoriels et de la manière dont nous pouvons au mieux les résoudre?» C'est sur cette question souvent posée que nous nous sommes penchés le temps d'un exposé et dans un cercle de travail de la conférence des directeurs et directrices de projets partiels qui s'est tenue le 18 septembre 2001.

Qui ou qu'est-ce qui est complexe?

Les systèmes complexes sont caractérisés par une multitude d'éléments constitutifs qui peuvent tous se comporter différemment et qui entretiennent entre eux des rapports variables. Les systèmes complexes sont d'autre part extrêmement dynamiques. La dynamique du système, ou la vitesse avec laquelle son état varie, fait qu'il est particulièrement difficile de dominer sa complexité. Ce qui pose encore problème, c'est qu'il est pratiquement impossible de prévoir par quels mécanismes le système va évoluer. Des relations circulaires font que certains éléments peuvent agir sur eux-

mêmes ce qui se traduit par l'existence au sein du système de boucles de régulation positives ou négatives. Les systèmes sociaux et les systèmes écologiques en sont des exemples. Le phénomène de la chute des rendements piscicoles qui est étudié dans le «Fischnetz» est un problème complexe au sens des systèmes complexes: Il est formé de nombreux éléments, tant du côté des causes possibles que de celui des effets observés; ces éléments sont en relation les uns avec les autres, ces relations étant multiples et variant constamment (voir fischnetz-info n° 5). A ceci vient s'ajouter la composante dynamique: les conditions de fonctionnement du système varient rapidement et de façon souvent imprévisible (par ex. crues dues à des lâchers de barrages ou aux intempéries).

Marche à suivre pour résoudre les problèmes complexes

Détermination des objectifs

Il arrive souvent que l'on qualifie un état des choses non satisfaisant sans avoir une idée claire de ce que serait un état satisfaisant. D'autres difficultés surviennent quand on s'aperçoit que certains des objectifs formulés sont incompatibles (par ex. des écosystèmes proches de l'état naturel et des effectifs élevés pour une espèce piscicoles particulière). Il est donc important de définir les objectifs très exactement, et de déterminer ce qui doit être mesuré (grandeurs visées) pour pouvoir vérifier si l'objectif a été atteint après la mise en place de mesures correctrices (contrôle d'efficacité).

Constitution d'un réseau

Les particularités des situations complexes sont par définition difficiles à décrire dans leur totalité. Il est donc important d'analyser la situation sous différents angles, selon les points de vue de divers groupes d'intérêt, et d'obtenir une description aussi complète que possible pour distinguer les rapports existant entre les composantes du problème. On compare pour cela les diverses perceptions et interprétations des personnes impliquées pour mettre en évidence les points de consensus et de dissension. C'est sous la forme d'un réseau que l'on peut au mieux représenter les relations constatées. Dans celui-ci, des flèches pourraient matérialiser les relations existant entre les principaux facteurs d'influence. C'est certainement à partir d'une petite équipe composée de

spécialistes de différentes disciplines ou d'horizons professionnels différents que l'on peut au mieux s'assurer d'une approche globale et diversifiée du problème. Pour analyser et représenter de manière structurée diverses grandeurs telles que la direction d'action, le déroulement de l'action et l'intensité des effets, il faut procéder en une multitude d'étapes intermédiaires qui ne seront pas détaillées ici.

Matrice d'influence des facteurs

Les résultats de ces étapes sont représentés de manière synthétique dans une matrice d'influences (voir tableau 2). Prenons l'exemple de l'étude actuelle du lac de Brienz. Le nombre de colonnes cochées indique les éléments qui sont le plus souvent influencés par différents facteurs. Ainsi, dans notre exemple, l'effectif piscicole est influencé par la température de l'air et par la turbidité de l'eau. Inversement, on peut lire dans la matrice quel est le facteur qui influence le plus d'éléments; dans notre exemple, c'est la turbidité de l'eau. Notre matrice ne tient pas compte de l'intensité et de la dynamique des interrelations existantes. Il faut absolument les prendre en compte pour la suite de l'étude.

Détermination des possibilités de manœuvre

Dans le cadre de cette démarche, on fait tout d'abord la distinction entre grandeurs influençables (c'est à dire celles que l'on peut influencer dans une direction voulue) et grandeurs non influençables. On procède ensuite à la recherche de solutions possibles. Cette recherche peut être favorisée par des méthodes visant à augmenter la créativité, comme le brainstorming. Il est important lors de cette recherche de bien analyser les effets que les actions envisagées sur les facteurs influençables auront sur la situation à gérer. Les actions prévues doivent être adaptées à la complexité du problème (c'est à dire que si l'on s'attaque à trop de points à la fois, les effets produits ne pourront plus être clairement attribués aux différents facteurs influencés). La stratégie choisie à l'issue de cette recherche doit être soumise à une analyse critique. On cherchera à répondre aux questions suivantes:

- ▶ Moyens? Temps? Suffisants pour la mise en œuvre?
- ▶ La stratégie permettra-t-elle d'atteindre l'objectif fixé?
- ▶ Est-il besoin d'une stratégie de crise?
- ▶ La stratégie choisie peut-elle être subdivisée en projets?
- ▶ Quelles mesures sont nécessaires à la réalisation des projets?
- ▶ Déroulement des projets et mesures dans le temps?
- ▶ Priorités?

Le choix d'une solution se fait toujours sur la base des connaissances du moment et des effets escomptés. Mais étant donné que les systèmes complexes sont en évolution constante, il peut ultérieurement s'avérer nécessaire d'opter pour une autre solution si les conditions ont changé. Il faut donc disposer d'un système de reconnaissance précoce

Eléments influencés	Facteurs d'influence		
	Température de l'air	Turbidité	Production primaire
Effectif piscicole	X	X	
Température de l'eau		X	
Zooplancton	X	X	X

Tableau 2: Les relations significatives existant entre facteurs d'influence et composantes d'un écosystème («éléments influencés») sont indiqués par des croix.

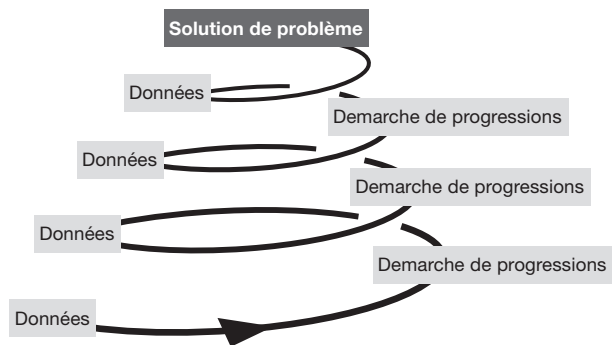


Figure 11: Spirale représentant un processus d'optimisation qui montre que des données de meilleure qualité sont la condition sine qua non pour la définition de démarches plus exactes destinées à solutionner des problèmes donnés, démarches qui elles-mêmes permettent de recueillir de manière plus rapide et plus exacte les données nécessaires à cette résolution.

des variations du système étudié et de son environnement. Enfin, le contrôle de l'efficacité des mesures engagées est un élément important de toute stratégie de résolution d'un problème complexe.

Problèmes inhérents à la démarche proposée

L'homme n'est que partiellement en mesure de penser de manière connectée. Il lui est très difficile de traiter les incertitudes et de se représenter certaines dimensions spatiales et temporelles (domaines de l'infiniment petit et de l'infiniment grand), ce qui se traduit par exemple dans sa difficulté à prévoir les évolutions exponentielles. Des erreurs d'interprétation et de conception peuvent également se produire quand les travaux doivent être effectués en temps restreint, si par exemple seul l'état présent du système est pris en compte.

Quelles conséquences pour le «Fischnetz»?

Bien que la démarche proposée soit utile et réponde à un réel besoin, elle se heurte à divers problèmes: a) les connaissances disponibles sont souvent insuffisantes pour pouvoir, par exemple, nommer tous les facteurs impliqués et les mettre en relation les uns avec les autres et b) la démarche telle qu'elle est présentée est très demandeuse de temps. D'autre part, les personnes qui y participent ont souvent l'impression (à tort ou à raison) que, d'après leur expérience, de nombreuses causes et solutions possibles sont écartées. Une méthode d'analyse combinant une démarche conventionnelle et une démarche complexe est par conséquent le plus souvent adoptée et acceptée par le plus grand nombre. Plus la quantité de données disponibles est importante, plus la démarche proposée pour solutionner un problème sera précise et bien adaptée, ce qui à son tour aura un effet bénéfique sur la vitesse à laquelle de nouvelles données seront recueillies ainsi que sur la pertinence de ces données (figure 11).

Notes

De l'espace pour les cours d'eau – un projet de recherche de l'EAWAG et du FNP

Au cours des deux derniers siècles, la majeure partie des cours d'eau d'Europe de l'Ouest a été fortement exploitée et modifiée par l'homme. Il ne subsiste en Suisse que quelques systèmes hydrographiques, isolés et de petite taille, qui soient restés à l'état naturel ou du moins proche de cet état. Le potentiel de revitalisation en Suisse est par conséquent très élevé. On l'estime à 12 300 km de cours d'eau (sans compter les tronçons de rivières couverts ou mis sous tuyau), ce qui correspond à env. 20% de la longueur totale du réseau hydrographique suisse. En tenant compte de ces tronçons couverts, le potentiel de revitalisation monte à env. 30 000 km.

La Suisse a ratifié en 1994 la Convention de Rio sur la biodiversité (1992) et s'est donc entre autre engagée à restaurer les écosystèmes endommagés. En Suisse et dans le monde, les projets de revitalisation des cours d'eau ont donc pris de l'importance. La branche de l'écologie spécialisée en matière de restauration des milieux naturels est cependant une science jeune et il est encore difficile de prédire l'évolution des écosystèmes après instauration de mesures précises. L'EAWAG et le FNP (Institut fédéral de recherches sur la forêt, la neige et le paysage) ont décidé de réaliser un projet commun afin de conforter le domaine d'activités que constituent les projets de recherche appliqués et afin de consolider les liens entre recherche et pratique. Ce projet est prévu dans le cadre de la réalisation d'aménagement de cours d'eau visant notamment à améliorer la qualité des habitats. Plusieurs objets d'étude ont été retenus: d'une part le Rhône (3^{ème} correction du Rhône) et, d'autre part, la Thur ainsi que éventuellement d'autres cours d'eau. Dans le cas du Rhône et de la Thur, il s'agit de projets d'aménagement



Figure 12: Cours du Rhône rectifié à hauteur de Gampel. (Photo: A. Peter, EAWAG)

qui intègrent à la fois les aspects de sécurité, d'environnement et socio-économique.

Dans le Rhône valaisan, il va être possible d'étudier l'effet des mesures d'amélioration de la qualité des habitats pour des conditions données d'exploitation hydroélectrique. On accordera une importance particulière à l'influence du marnage (lié à l'exploitation hydroélectrique) sur les biocénoses. Sur le Rhône, les travaux vont s'étendre sur les 25 à 30 prochaines années; le début des travaux a été fixé à l'année 2003. On a donc la possibilité de fixer sur le papier l'état actuel du fleuve (état rectifié ou canalisé) et de suivre son évolution après réalisation des mesures d'amélioration. Le concept de l'étude est différent sur la Thur où l'on procédera surtout à une comparaison de tronçons aménagés avec des tronçons déjà élargis (restaurés).

Le projet qui porte sur le Rhône et la Thur comporte quatre thèmes principaux:

- ▶ le marnage,
- ▶ l'élargissement du chenal,
- ▶ le contrôle de l'efficacité des mesures/le suivi,
- ▶ la prise de décisions.

Les projets scientifiques sont regroupés dans le module «Chaîne d'opérations scientifiques». Le contrôle de l'efficacité des mesures réalisées y occupe une place importante. Un deuxième module regroupe les aspects sociologiques comme la prise de décision, l'analyse des apports et des coûts ou l'établissement de modèles sur les mesures et leurs effets. Le volet socio-économique y occupe une place de choix. Le troisième module concerne les aménagements hydrauliques et fait notamment état des transports solides. Le projet de recherche livrera des résultats qui seront utiles à des projets futurs. Il s'agit là d'analyses et de guides pour la restauration des cours d'eau, de concepts pour le contrôle de l'efficacité des mesures, d'analyses d'indicateurs adaptés à la mesure de l'efficacité des mesures ainsi que d'analyses servant d'aides à la décision. En plus des disciplines scientifiques et des sciences de l'ingénieur, le projet fait appel aux sciences sociales qui sont considérées comme indispensables pour la bonne réalisation de projets de restauration.

Le projet de l'EAWAG et du FNP décrit ici fait appel à de nombreux partenaires venant des Offices fédéraux (OFEG et OFEFP), des cantons, des universités, de l'EPFL et de l'EPFZ ainsi que de bureaux d'étude privés. Il doit permettre de déterminer dans quelles conditions les projets d'amélioration de la qualité des habitats peuvent être considérés comme réussis et fait appel à des critères mesurables. On estime en effet que les projets de revitalisation doivent être considérés comme des expériences scientifiques ciblées dont les résultats doivent être mesurés de manière aussi exacte que possible. Le résultat du contrôle d'efficacité des mesures, qu'il soit positif ou négatif, doit être communiqué au monde scientifique ainsi qu'aux hommes de terrain. C'est

de cette manière que l'on pourra tirer les leçons des erreurs éventuelles. Enfin, le projet doit également servir au niveau national et international de plateforme de discussion dans le domaine de la restauration des cours d'eau. Dans ce cadre, les informations sur la revitalisation des cours d'eau seront rassemblées, discutées et rediffusées.

Personnes à contacter pour ce projet:

Armin Peter, EAWAG, armin.peter@eawag.ch;
Felix Kienast, FNP, felix.kienast@wsl.ch

Perspectives

Sur notre page internet www.fischnetz.ch, vous trouverez des informations actuelles sur tous les aspects du projet «Fischnetz», sur les projets partiels, les nouveautés et les manifestations.

Agenda

▶ La prochaine **conférence des directeurs et directrices de projets partiels** se tiendra le mardi 12 mars 2002 à Olten (buffet de la gare). Toutes les personnes impliquées dans les projets partiels y sont cordialement invitées.

▶ Le 4^{ème} **séminaire spécialisé «Fischnetz»** aura lieu le vendredi 19 avril 2002 à Fribourg. Prenez d'ores et déjà note de cette date, des informations plus précises vous seront communiquées ultérieurement.

▶ Des informations sur les **cours de formation continue** de l'EAWAG en rapport avec le «Fischnetz» peuvent être obtenues auprès d'Herbert Güttinger, téléphone 01 823 50 23, herbert.guetinger@eawag.ch ou sur le site www.eawag.ch/events.

