



© Niko Guido - iStockphoto

2.1 Stress in Binnengewässern - Maßnahmen zum nachhaltigen Umgang mit der Ressource Wasser durch integrierten Gewässerschutz

RAINER KOSCHEL, HORST BEHRENDT† & MICHAEL HUPFER

Surface waters under stress factors and their control by integrated measures: Highly efficient measures for freshwater ecosystem protection require complex actions. Surface waters are closely connected to their terrestrial and atmospheric environment, and therefore, preventive protection of surface waters begins in the catchment. Improvements and stabilizations of aquatic ecosystems by reduction of point and diffuse loadings (redevelopment) must be balanced increasingly with structural optimisation of ecosystems (restoration and ecotechnology), and must be based on a strategy for »integrated management«. Limited financial resources for surface water protection demand an optimal combination of the principles of emissions and imissions.

Binnengewässer sind empfindliche Indikatoren für Störungen der natürlichen Stoffkreisläufe, weil sie sehr eng mit der terrestrischen Umgebung, dem Grundwasser und der Atmosphäre verbunden sind. Zu den weltweit häufigsten Gewässerproblemen, die die Nutzung der Ressource Wasser erheblich beeinträchtigen, gehören die Eutrophierung, die Versauerung, die Kontamination mit Schadstoffen und die Versalzung. Temperaturerhöhung und Klimawandel verschärfen die Probleme. Eine Beseitigung von Gewässerschädigungen und ein effektiver Gewässerschutz erfordern integrative Ansätze, zu denen verschiedene Fachdisziplinen einen Beitrag leisten müssen. Da die Gewässer und die Einzugsgebiete wegen ihrer vielfältigen Struktur ganz unterschiedlich auf Stressfaktoren reagieren und Belastungen kompensieren können, scheint eine alleinige Orientierung auf die Reduzierung von Emissionen auch mit Blick auf die begrenzten finanziellen Mittel für den Gewässerschutz nicht sinnvoll.

Stattdessen sollte die gezielte Optimierung der Struktur ökologischer Systeme Bestandteil eines modernen Gewässerschutzes sein. Dazu gehören im Einzugsgebiet eine ressourcenschonende Bewirtschaftung landwirtschaftlicher Flächen und die Revitalisierung von Pufferökosystemen, die als Stoffsenken in der Landschaft wirken. Im Gewässer selbst können durch ökotechnische Verfahren erwünschte Funktionen besonders gefördert werden. Für die Durchführung solcher Optimierungsstrategien fehlen teilweise aber noch die naturwissenschaftlichen Grundlagen und geeignete Vorhersageinstrumente. Sehr große Defizite gibt es bei der ökonomischen Bewertung ökologischer Gewässerfunktionen und bei der Erforschung sozioökonomischer Konsequenzen, die ein langfristig angelegter Gewässerschutz erfordert.

Gewässer sind unsere Zukunft

Unsere Binnengewässer sind eine essentielle und zugleich auch knappe und damit äußerst schätzenswerte

† In memoriam an Horst Behrendt

Aus: *WARNSIGNAL KLIMA: Genug Wasser für alle? 3. Auflage (2011)*
- Hrsg. Lozán, J. L. H. Graßl, P. Hupfer, L. Karbe & C.-D. Schönwiese

Ressource. Sie müssen als »Wirtschaftsgut« im Sinne vielfältiger Funktionen im Landschaftswasserhaushalt, als »Lebensmittel« im Sinne von Trinkwasser, als »Puffer- und Servicesysteme« im Sinne hoher Selbstreinigungseffekte und als »Erbgut« im Sinne biologischer Vielfalt gesehen werden. All diese Aspekte bestimmen die »Leitbilder« für einen integrierten Gewässerschutz und den nachhaltigen Umgang mit der Ressource »Wasser«.

Weltweit ist zu erkennen, dass Gewässer, Boden und Atmosphäre durch verschiedene Nutzungen (Industrie, Kommunen, Landwirtschaft) sowie durch einseitige Bewirtschaftung übermäßig belastet und zunehmend destabilisiert werden (WBGU, 1999, WWDR, 2009). Die Stand- und Fließgewässer sind dabei besonders von der Eutrophierung, Bodenerosion, toxischer Belastung, Versalzung und Versauerung betroffen. Darüber hinaus sind weiträumige Störungen der natürlichen Stoffkreisläufe zu beobachten, deren Folgen für die Ressource Wasser im globalen Maßstab gegenwärtig nur schwer abzuschätzen sind. Ein Klimawandel mit einer Temperaturerhöhung der Gewässer verschärft diese Problematik noch einmal gewaltig. Die vielfältigen Serviceleistungen unserer Ökosysteme im Stoffhaushalt der Natur werden stark geschädigt oder kommen ganz zum Erliegen. In der Zeitschrift „Nature“ erschien 1997 ein Artikel »The value of the world's ecosystem services and natural capital«, in dem die Autoren den Versuch unternahmen, diese Gratisfunktionen der Ökosysteme zu bewerten (CONSTANZA et al. 1997). Für Seen und Flüsse errechneten sie jährliche »Serviceleistungen« im Wert von ca. 850.000 US \$/km² Gewässerfläche. Es wurden vor allem die Bedeutung der Gewässer für die wasserwirtschaftliche Nutzung, die Selbstreinigung und die Erholung berücksichtigt. Nach diesen Schätzungen substituieren allein die Stand- und Fließgewässer »kommunale Leistungen« von ca. 1,7 Billionen US \$/Jahr. Das entspricht etwa einem Zehntel des weltweiten Brutto-sozialproduktes. Angesichts dieser Zahlen wird deutlich, was uns die Erhaltung dieser »Gratisleistungen« der Natur wert sein sollte und wie ökonomisch sinnvoll es ist, einer Degradierung der Ökosysteme frühzeitig entgegen zu wirken.

Vor diesem Hintergrund relativieren sich auch die Zahlen, die in Deutschland für Investitionen im Gewässerschutz ausgegeben werden. So wurden beispielsweise im Jahr 2001 rund 4,1 Mrd. € in den Gewässerschutz investiert. Von diesen Investitionen flossen rund 65% in die Infrastruktur zur Abwasserbehandlung und rund 20% in die Infrastruktur zur Trinkwassergewinnung. Ein integrierter Gewässerschutz, der von der Landnutzung bis hin zur Optimierung der

Gewässerstruktur reicht und der räumliche und zeitliche Fernwirkungen verschiedener Belastungsfaktoren, einschließlich eines Klimawandels sowie das verzögerte Antwortverhalten der Ökosysteme berücksichtigt, wurde unzureichend oder gar nicht gefördert (BORCHARDT et al. 2004).

Gewässer werden nicht allein durch punktuelle externe Nähr- und Schadstoffeinträge, sondern durch eine Vielzahl anderer anthropogener Einflüsse belastet. Dazu zählen diffuse Einträge insbesondere aus der Landwirtschaft oder aus der Atmosphäre, massive Schädigungen der Gewässerstruktur durch Verbau und Übernutzungen oder großflächige Wasserspiegelabsenkungen und Mineralstoffverluste in den Einzugsgebieten. Die gegenwärtig eher steigenden als sinkenden diffusen Einträge resultieren aus der früheren und aktuellen Flächennutzung von Einzugsgebieten und stellen ein sehr relevantes und ungelöstes Problem beim Schutz von Fließ- und Standgewässern sowie in ihrer Fernwirkung für Ästuare und Randmeere dar. Wie bei den punktuellen Einträgen aus kommunalen und industriellen Kläranlagen beginnt auch bei den diffusen Einträgen das Emissionsprinzip langsam zu greifen. Jedoch sind die Belastungen oft noch um mehr als das Zehnfache größer als der geogene Hintergrundwert und durch lange Aufenthaltszeiten insbesondere im Grundwasser vergehen oft Jahrzehnte bis reduzierte Emissionen zu verminderten Gewässereinträgen aus diffusen Quellen führen. Darüber hinaus ist zunehmend zu erkennen, dass die globale Erwärmung unsere Gewässer belastet, destabilisiert und verändert (HUPFER & NIXDORF 2011). Klimaveränderungen wirken dabei in vielfältiger Weise. Sie verändern den Landschaftswasserhaushalt und externe Nährstoffeinträge. Saisonale Muster von Organismengemeinschaften werden verschoben. Neue Arten wandern ein, ursprünglich vorhandene werden verdrängt. Sie wirken direkt und indirekt (Abb. 2.1-1).

Die alleinige Anwendung von emissionsorientierten Maßnahmen zur Verbesserung der Wasserqualität stößt an ihre Grenzen, weil gewässerinterne Mechanismen einer raschen und effizienten Verbesserung der Güte entgegenwirken können (u.a. Nähr- und Schadstofffreisetzung aus den Sedimenten, Disproportionen und Veränderungen im Nahrungsnetz, sehr lange Verweilzeiten des Wasserkörpers). Am Beispiel der Stickstoffelimination in Kläranlagen lässt sich zeigen, dass in Einzelfällen nur emissionsorientierte Maßnahmen ökonomisch und ökologisch nicht sinnvoll sind: Einerseits können Nitateinträge sehr wirkungsvoll in Gewässern selbst eliminiert werden, andererseits begünstigt eine Reduzierung der Nitratemission die interne Phosphatmobilisierung aus den Sedimenten und

ruft damit das Gegenteil der beabsichtigten Wirkung hervor.

Vor diesem Hintergrund wird deutlich, dass eine hohe Effizienz von Maßnahmen im Gewässerschutz nur durch komplexe und integrierte Eingriffe zu erreichen ist (Abb. 2.1-2).

Die Maßnahmen müssen auf eine sinnvolle Balance zwischen Verbesserung und Stabilisierung der Gewässerökosysteme durch Reduktion punktueller bzw. diffuser Stoffeinträge (Sanierung) und der strukturellen Optimierung der ökologischen Systeme zielen (Restaurierung und Ökotechnologie im Gewässer und Einzugsgebiet). Diese Vorgehensweise soll beispielhaft anhand wesentlicher Probleme und Trends zur Wasserqualität in Stand- und Fließgewässern in Deutschland beleuchtet werden.

Schadstoffbelastung von Flüssen, Seen und Küstengewässern

Gewässerökosysteme sind zahlreichen natürlichen und anthropogen bedingten Stressfaktoren physikalischer, chemischer und biologischer Art ausgesetzt, wie sie z.B. durch den Eintrag von Energie, Abwässern oder Krankheitserregern entstehen. Zu den häufigsten Gewässerproblemen, die zu gravierenden Nutzungseinschränkungen führen, gehören die Belastung mit Nähr- und Schadstoffen. Die Belastung mit Schadstoffen kann durch ein sehr breites Spektrum organischer und anorganischer Stoffe hervorgerufen werden. Anthropogene Quellen toxischer Metalle sind die Erzverhüttung, die Metallindustrie, Straßenverkehr in urbanen Ballungsräumen und Emissionen schwefel- und stickstoffhaltiger Gase, die zur Korrosion von freien Metalloberflächen führen sowie die Verwendung in Pflanzenschutzmitteln. Verschärfte gesetzliche Anforderungen und der seit 1990 eingetretene Rückgang industrieller Aktivitäten in den neuen Bundesländern führten dazu, dass industrielle Direkteinleitungen für die Schwermetallbelastung nur noch eine untergeordnete Rolle in Deutschland spielen. Nur unwesentlich verringert haben sich dagegen die Einträge von Metallen von versiegelten urbanen Flächen (Straßen, Dächer). Diese Einträge sind zur Zeit ca. ein Drittel aller Emissionen in die Gewässer. Zu den organischen Schadstoffen werden z.B. Pestizide, organische Tenside, Arzneimittel und Mineralöle gezählt. Metalle, aber auch organische Verbindungen wie polychlorierte Biphenyle (PCB) reichern sich in Sedimenten und in Nahrungsketten an und können dabei toxische Kon-

figsten Gewässerproblemen, die zu gravierenden Nutzungseinschränkungen führen, gehören die Belastung mit Nähr- und Schadstoffen. Die Belastung mit Schadstoffen kann durch ein sehr breites Spektrum organischer und anorganischer Stoffe hervorgerufen werden. Anthropogene Quellen toxischer Metalle sind die Erzverhüttung, die Metallindustrie, Straßenverkehr in urbanen Ballungsräumen und Emissionen schwefel- und stickstoffhaltiger Gase, die zur Korrosion von freien Metalloberflächen führen sowie die Verwendung in Pflanzenschutzmitteln. Verschärfte gesetzliche Anforderungen und der seit 1990 eingetretene Rückgang industrieller Aktivitäten in den neuen Bundesländern führten dazu, dass industrielle Direkteinleitungen für die Schwermetallbelastung nur noch eine untergeordnete Rolle in Deutschland spielen. Nur unwesentlich verringert haben sich dagegen die Einträge von Metallen von versiegelten urbanen Flächen (Straßen, Dächer). Diese Einträge sind zur Zeit ca. ein Drittel aller Emissionen in die Gewässer. Zu den organischen Schadstoffen werden z.B. Pestizide, organische Tenside, Arzneimittel und Mineralöle gezählt. Metalle, aber auch organische Verbindungen wie polychlorierte Biphenyle (PCB) reichern sich in Sedimenten und in Nahrungsketten an und können dabei toxische Kon-

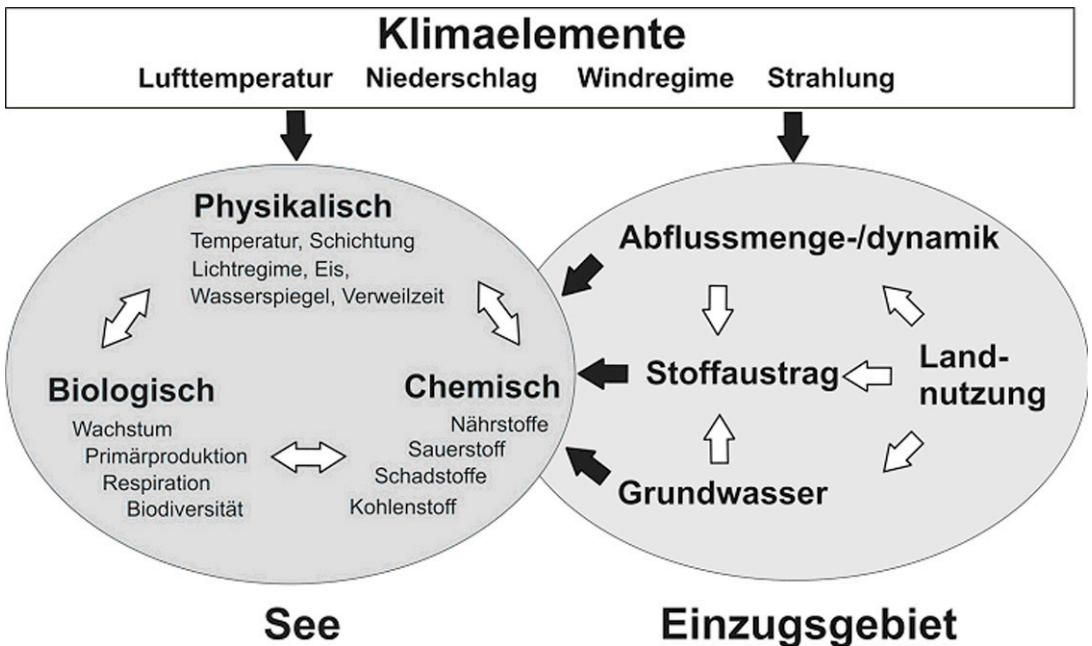


Abb. 2.1-1: Schematische Darstellung zur komplexen Wirkung von Klimaelementen auf stehende Gewässer. Der Klimawandel beeinflusst nicht nur direkt die physikalische, chemische und biologische Struktur eines Gewässers, sondern wirkt vor allem auch indirekt über die natürlichen und nutzungsbedingten Gegebenheiten des Einzugsgebietes (HUPFER & NIXDORF 2011).

zentrationen aufbauen. Besonders in Ballungsräumen werden auch Stoffe freigesetzt, die als Pseudohormon die Fortpflanzungs- und Entwicklungsvorgänge von Tieren beeinflussen. Solche Stoffe werden als hormonaktive Substanzen oder auch »endokrine Disruptoren« bezeichnet. Synthetische hormonaktive Stoffe sind in Pharmazeutika und Industriechemikalien (z.B. Organochlorpestizide, Polychlorierte Biphenyle, Abbauprodukte von Tensiden, Phthalate) enthalten. Durch die Verwendung von Mitteln zur Empfängnisverhütung und andere Hormonbehandlungen gelangen zum Beispiel synthetische Östrogene über das Abwasser und fast ungehindert durch die Kläranlagen in die Umwelt. Die Emissionen schwefel- und stickstoffhaltiger Gase führen zu saurem Regen, so dass in kalkarmen Gebieten mit geringer Pufferkapazität eine Versauerung von Gewässern und von Böden auch in größerer Entfernung vom Emissionsort eintritt. Die betroffenen Gewässer sind oft sehr klar und weisen damit scheinbar eine gute Qualität auf. Die Abnahme des pH-Wertes verursacht aber extreme Veränderungen der Biozöosen. Fische und andere höhere Organismen können nicht überleben oder sich nicht reproduzieren. Eine weitere Folge ist die gesteigerte Freisetzung toxischer Metallionen (vor allem Aluminium, Kupfer, Cadmium, Zink und Blei) aus Böden und Sedimenten. Besonders betroffen von der Versauerung

sind Skandinavien und der Nordosten von Nordamerika. In Deutschland stellt die Versauerung über die atmosphärische Deposition nur in bestimmten Regionen ein Problem dar, wie z.B. im Bayerischen Wald und im Schwarzwald. Eine extreme Gewässerversauerung kann im Zusammenhang mit der Gewinnung von Bodenschätzen auftreten. Allein in Deutschland wird es mittelfristig ca. 500 Seen geben, deren Entstehung auf den Braunkohlebergbau zurückgeht. Die Mehrzahl dieser Seen sind in ihrer Entstehungsphase stark geogen versauert, da bei der Kohleförderung schwefelhaltige Mineralien (Markasit, Pyrit) oxidiert wurden, wodurch Säure freigesetzt wird.

Eutrophierung

Das häufigste Gewässerproblem ist die Eutrophierung. Man versteht darunter eine zunehmende Intensität der Primärproduktion (Trophie) eines Gewässers, die durch eine gesteigerte Verfügbarkeit oder Ausnutzung von Nährstoffen bewirkt wird. Durch die Einleitung unzureichend gekläarter häuslicher Abwässer oder durch Abfluss aus landwirtschaftlich gedüngten Flächen hat sich das Ausmaß natürlich ablaufender Eutrophierungsvorgänge seit Mitte des letzten Jahrhunderts extrem verstärkt, wodurch die Seenalterung im Zeitraffertempo verläuft. Die mit der Eutrophierung verbundene starke Entwicklung von Algen und Ma-

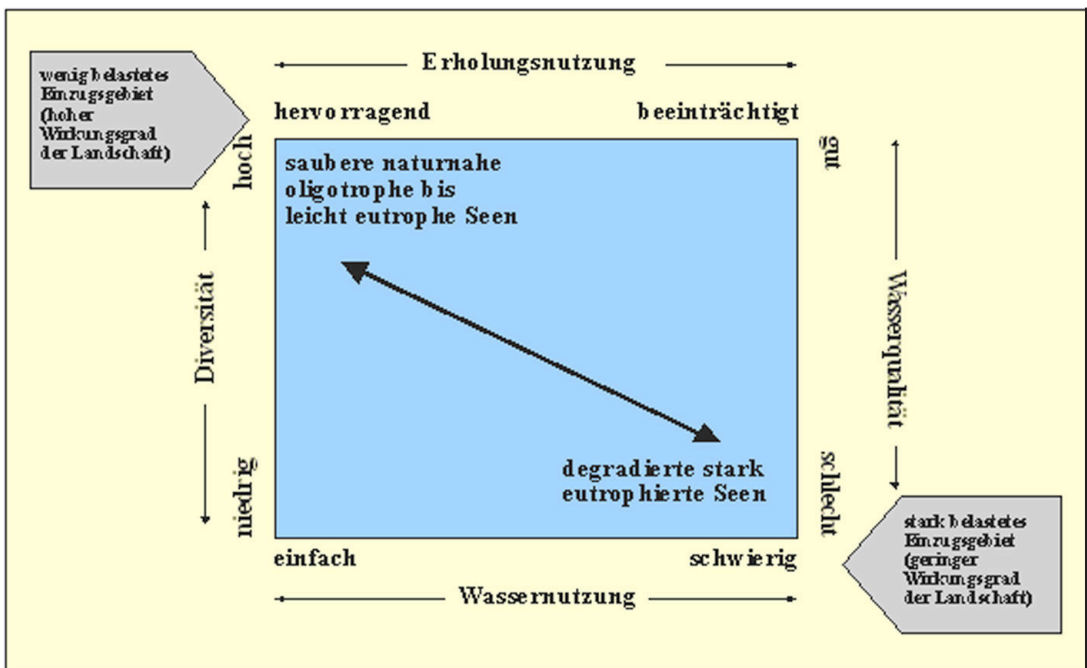


Abb. 2.1-2: Einfluss des Umlandes auf Wasserqualität und Nutzungsfunktionen eines Gewässers (KOSCHEL et al. 1998)

krophyten führt zu unerwünschten Folgewirkungen im Gewässer und zu starken Nutzungseinschränkungen. Es kommt zur Trübung und Verfärbung des Wassers, zu Massenentwicklungen toxischer Cyanobakterien (Blaualgen), zum Diversitätsverlust, zu Sauerstoffschwund, Schwefelwasserstoffbildung, Fischsterben und Geruchsbelästigungen, wodurch verschiedene Nutzungen wie Trinkwassergewinnung, Fischerei und Erholung eingeschränkt werden. In eutrophierten Gewässern können darüber hinaus toxische Schädwirkungen synergistisch verstärkt werden, da diese Ökosysteme teilweise destabilisiert sind.

In Deutschland gibt es bezüglich der Trophiegrade ausgeprägte regionale Unterschiede. Während in Bayern und Baden-Württemberg weniger als 50% der Seen eine erhöhte Trophie aufweisen, wurden von etwa 1.500 Seen in Brandenburg und Mecklenburg-Vorpommern 90% mit einem mittleren oder hohen Trophiegrad eingestuft. Dies hat einerseits natürliche Ursachen, weil der anthropogen unbeeinflusste Zustand zahlreicher flacherer Seen dieser Region auch eutroph wäre, andererseits spiegeln sich in diesem hohen Anteil eutrophierter Seen frühere und gegenwärtige Belastungen vor allem aus der Landwirtschaft wider. Ein Kernproblem für die Eutrophierung der Binnengewässer ergibt sich aus der unmittelbaren Nachbarschaft intensiv genutzter landwirtschaftlicher Flächen und der Gewässer und der Intensivierung dieser Kopplung durch Maßnahmen der Be- und Entwässerung. Die Landwirtschaft ist auf eine Maximierung der pflanzlichen Produktion gerichtet, während eine hohe Produktion in den Gewässern wegen der schädlichen Folgen möglichst vermieden werden soll. Der Nährstoff Phosphor (P) steuert als Minimumfaktor in den meisten Binnengewässern den Grad der Eutrophierung. Während in den letzten beiden Jahrzehnten die bis dahin dominierenden punktuellen P-Einträge in Deutschland durch die Einführung phosphatfreier Waschmittel und den höheren Anschlussgrad an Kläranlagen um ca. 80% gesenkt werden konnten, wurden die diffusen Einträge nur im geringen Umfang reduziert. Geringfügige Verlustmengen an Phosphor aus dem terrestrischen Einzugsgebiet bedeuten für das Gewässerökosystem meistens eine erhebliche P-Belastung. Stoßbelastungen bei Starkregenereignissen infolge Erosion und der allmähliche P-Austrag über Auswaschung stellen momentan ein schwer zu prognostizierendes Langzeitproblem für viele Binnengewässer dar. Bei grundwassernahen Standorten mit geringer Sorptionskapazität kann die lang andauernde Überdüngung der Agrarflächen insbesondere durch Gülle zur vollständigen P-Sättigung der gesamten Bodenschicht führen. In den Niederlanden sind be-

reits heute mehrere 10.000 ha phosphorgesättigt. Die Folge sind extrem hohe mit Abwasserkonzentrationen vergleichbare Gewässereinträge von Phosphor. Auch in nordwestdeutschen Flüssen, deren Einzugsgebiete die besonders sorptionschwachen Hochmoore entwässern, finden wir heute hohe P-Konzentrationen. Viele Fließgewässer sind von der Eutrophierung betroffen. Für die letzten Jahrzehnte lässt sich eine deutliche Erhöhung der Algenmengen in fast allen Unterläufen der großen deutschen Flüsse nachweisen. Daran hat die zunächst nur auf eine Reduzierung der organischen Belastung der Gewässer ausgelegte Abwasserreinigung einen nicht unbeträchtlichen Anteil, weil die biologischen Abwasserreinigungsverfahren ohne zusätzliche Nährstoffeliminierung erst mit dazu beigetragen haben, dass die Nährstoffe in einer für die Algen schnell verfügbaren mineralischen Form in die Gewässer eingeleitet wurden (BEHRENDT et al. 2003).

An der starken Eutrophierung küstennaher Flachgewässer wie Bodden und Haffe wird deutlich, dass die Belastungsquellen sogar viele hundert Kilometer vom Wirkungsort entfernt sein können. So ist die Oder wegen der vergleichsweise dichten Besiedlung des Einzugsgebietes mit über 15% an den gesamten Nährstoffeinträgen der Ostsee beteiligt und für die starke Eutrophierung dieses Meeres einer der Hauptverursacher, obwohl der Anteil ihres Einzugsgebietes am gesamten Ostseeinzugsgebiet weniger als 7% beträgt. Die Veränderungen in den Nährstofffrachten der Flüsse können heute näherungsweise durch Modellierung der Einträge und Umsätze in den Gewässern auch über Zeiträume, in denen keine Messungen vorliegen, rekonstruiert werden.

Abb. 2.1-3 zeigt am Beispiel der Oder, wie sich deren Phosphorfracht in den letzten 50 Jahren verändert hat. Trotz bereits eingetretener Verringerung der Phosphorfracht durch Einführung P-freier Waschmittel und verbesserter Abwasserreinigung liegt das Niveau der P-Belastung der Ostsee durch die Oder noch um ca. 70% über dem der 1960er Jahre.

Entwicklungsziele und Leitbilder für Gewässerökosysteme

Gewässerprobleme werden meist erst dann im öffentlichen Bewusstsein wahrgenommen, wenn es zu Nutzungseinschränkungen kommt. Gegenmaßnahmen zielen darauf, bei vertretbarem Kostenaufwand den Gewässerzustand wieder zu verbessern. Für die Planung und Durchführung von Maßnahmen stellt sich die praktische Frage, bis zu welchem Punkt die eingetretene Entwicklung rückgängig gemacht werden soll. Unter dem Naturschutzaspekt wird in Diskussionen oft

der natürliche oder ursprüngliche Zustand als Therapieziel gefordert. Die Definition dieses Zustandes ist aber schwierig, weil sicherlich nicht der Zustand direkt nach der Entstehung des Gewässers gemeint sein kann. Was soll nun als der ursprüngliche Zustand angesehen werden? Die Beschaffenheit des Gewässers, als der Mensch noch nicht entscheidend die Ökosysteme beeinflusst hatte, also meist vor dem Neolithium, d.h. im ausgehenden Atlantikum vor gut 5.000 Jahren? Damals war es wärmer als heute und die Einzugsgebiete der Binnengewässer in Deutschland waren von einem mehr oder weniger geschlossenen Eichenmischwald (Eiche, Ulme und Linde) umgeben. Es ist nicht möglich, für eine Landschaft, in der das Gewässer liegt, das damalige Klima herzustellen, und es ist in den allermeisten Fällen auch nicht möglich, die heutige Kulturlandschaft in eine unbewirtschaftete Waldlandschaft umzuwandeln. Das maximale Ziel von Maßnahmen sollte daher das potenziell natürliche Gewässer sein. Dieser Referenzzustand, auch als Leitbild bezeichnet, ist charakterisiert durch einen Gewässerzustand, welcher der vorindustriellen Zeit nahe kommt. Das Leitbild kann durch bestehende Richtlinien und Regelwerke für jedes Gewässer individuell abgeschätzt und mit dem Ist-Zustand verglichen werden. Weicht dieser erheblich vom Leitbild ab, ist der Handlungsbedarf groß. Die Formulierung des Entwicklungszieles für einen See oder Fluss ist dagegen willkürlich, aber sollte der jetzigen und künftigen Nutzung und Besiedlung der Landschaft durch den Menschen, mit dem gegenwärtigen Stand des ökologischen Wissens und des technischen Fortschritts, der angestrebten Nutzung des Gewässers sowie an den finanziellen Möglichkeiten begründet werden (STEINBERG et al. 2002). Die Festlegung des Entwicklungszieles ist ein iterativer Prozess, bei dem Nutzer, Eigentümer, Fachleute und Politiker

mitwirken sollten.

Strategien zur Steuerung von Gewässerökosystemen

Die Belastbarkeitsgrenzen eines Gewässerökosystems werden durch seine Struktur und die seiner Umgebung bestimmt. So ist zum Beispiel das Abbaupotential für organische Stoffe in einem ausgebauten, begradigten Flusssystem im Vergleich zu naturnah strukturierten Flussläufen viel geringer. Hilfreich für die Erreichung bestimmter Qualitätsziele haben sich die so genannten critical-load-Modelle erwiesen, die es ermöglichen, qualitative Zustände im Ökosystem in Abhängigkeit von der Belastung und den Strukturmerkmalen des Gewässers zu beschreiben. Diese Erkenntnis bedeutet auch, dass eine andere Steuerstrategie darin bestehen kann, Struktur und Abläufe im See selbst zu optimieren, so dass die Symptome einer zu hohen Belastung möglichst gering gehalten werden. Das Antwortverhalten auf Laständerungen folgt häufig einer Art Hysterese, bei der eutrophierte Seen ein Beharrungsvermögen nach erfolgter externer Lastsenkung aufweisen können. Außerdem ist wegen der diffusen Belastungsquellen nicht immer mit vertretbarem Kostenaufwand eine ausreichende Lastsenkung möglich, so dass unvermeidbare Restbelastungen durch interne Maßnahmen kompensiert werden können. Moderner Gewässerschutz sollte daher eine Kombination interner und externer Verfahren in Erwägung ziehen (Abb. 2.1-3).

Welche externen und internen Methoden und Steuerungsmöglichkeiten stehen gegenwärtig zur Verfügung? Es gibt viele Beispiele dafür, dass durch Anwendung der »guten fachlichen Praxis« und durch Extensivierung bei der Bewirtschaftung landwirtschaftlicher Flächen eines Einzugsgebietes, die diffusen Nähr-

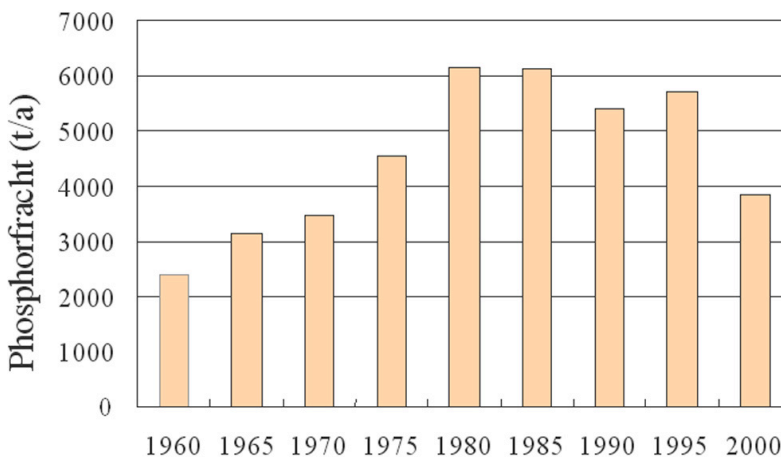


Abb. 2.1-3: Phosphatfracht der Oder in die Ostsee (1960-2000) (BEHRENDT & DANNOWSKI 2003).

stoffeinträge in die Gewässer allmählich vermindert werden konnten.

Optimierung von externen und internen »Senkenfunktionen«

Eine weitere Möglichkeit, die diffusen Einträge in die Gewässer zu vermindern, besteht darin, ursprüngliche Nährstoff-Senken der Landschaft, wie Niedermoore, Sölle und Auen, wieder in Funktion zu setzen und letztlich damit ein nachhaltiges Stoffstrommanagement umzusetzen. Intakte Ökosysteme sorgen durch kurzgeschlossene Wasser-, Nähr- und Mineralstoffkreisläufe für eine Minimierung von Stoffverlusten (RIPL & WOLTER 2001). Es sind nachhaltige Systeme. Eine konsequente Umsetzung dieses Konzeptes würde aber meistens eine Aufgabe oder starke Einschränkung bisheriger Nutzungen bedeuten. Ist ein solcher zusätzlicher Rückhalt im Einzugsgebiet nicht zu schaffen, können Belastungen auch erst in der unmittelbaren Umgebung von Gewässern durch den Bau von Phosphor-Eliminationsanlagen zur Reinigung des Flusswassers oder durch Schaffung von Puffersystemen wie Vorsperren oder Schilfpolder vermindert werden.

Restauration und Ökotechnologie

Mit Hilfe technischer Verfahren kann die physikalische, chemische und biologische Struktur eines Gewässers so beeinflusst werden, dass weniger Nährstoffe für die Primärproduktion im Wasserkörper zur Verfügung stehen oder die Auswirkungen eines zu hohen Trophiegrades vermindert werden. Wird der P-Rückhalt in den Sedimenten eines Sees z.B. durch den Einsatz von Fällungsmitteln erhöht, kann der Eintrittszeitpunkt der angestrebten Verbesserung bei gleichzeitiger externer Lastminderung um einige Jahre vorverlagert werden. Damit könnten auch Restbelastungen kompensiert werden oder man gelangt zu einem P-Konzentrationsniveau, bei dem positive Rückkopplungseffekte auftreten oder weitere Maßnahmen wirkungsvoll eingesetzt werden können. Ein gutes Beispiel dafür ist die Biomanipulation. Bei dieser Maßnahme wird der Fischbestand so optimiert, dass über die »Abwärtssteuerung« des Nahrungsnetzes ein verstärkter Fraßdruck auf das unerwünschte Phytoplankton auftritt und so das Wasser klarer wird. Die Auswertung von Anwendungsfällen weltweit hat allerdings gezeigt, dass für eine wirksame Biomanipulation ein bestimmtes Niveau der P-Belastung unterschritten sein muss. Durch die Kombination von Methoden kann damit ein höherer Wirkungsgrad für

das Gewässer erreicht werden.

Handlungs- und Forschungsbedarf Ökologische Dienstleistungen

Neuere Untersuchungen lassen erkennen, dass eine alleinige Orientierung auf die Reduzierung von Einträgen besonders auch mit Blick auf die begrenzten Ressourcen im Gewässerschutz zu überdenken ist.

Die Vorstellung, dass »jede Lastsenkung« sich irgendwie positiv auswirken muss, ist nicht mehr zeitgemäß. Stattdessen sind die Belastbarkeitsgrenzen der Ökosysteme in Abhängigkeit ihrer Struktur zu ermitteln und die vielfältigen Funktionen und ökologischen Dienstleistungen (»ecological services«) optimal auszunutzen. Bislang sind die Detailkenntnisse über das Funktionieren der Gewässerökosysteme und ihre komplexen Reaktionen auf anthropogene Einflüsse noch unzureichend, besonders wenn man bedenkt, dass der Zustand aquatischer Ökosysteme eine Funktion biologischer, chemischer, hydraulischer, hydrologischer, meteorologischer und physikalischer Steuergrößen ist, einschließlich ihrer zeitlichen und räumlichen Veränderung.

Hier benötigen wir ein wissenschaftlich belastbares und integrierendes Instrumentarium, das erlaubt, das Verhalten der Ökosysteme auf funktionaler und prozess-orientierter Basis reproduzierbar zu analysieren und Entwicklungstrends mit großer Wahrscheinlichkeit zu berechnen (Abb. 2.1-4). Komplexe ökologische Gewässermodelle sind dafür eine wichtige Hilfe (RINKE et al. 2010)

Die umfassende und aufeinander abgestimmte Integration externer (im Einzugsgebiet realisierter) und interner (im Gewässerökosystem durchgeführter bzw. genutzter) Steuermaßnahmen, macht eine erhebliche Effizienzsteigerung möglich, wenn die vorhandenen Wissensdefizite minimiert werden. Emissions- und Immissionsprinzipien müssen in einem integrierten Gewässerschutz gleichermaßen berücksichtigt und optimiert werden.

Wissensbasis durch Fallstudien verbessern

Eine weitere Reduzierung von Einträgen aus punktuellen Lastquellen kann in Deutschland mit vertretbarem Kostenaufwand die Belastung von Gewässern nicht mehr entscheidend senken. Diffuse Belastungen stellen dagegen ein Langzeitproblem dar, das mit den jetzigen Methoden schwer zu erfassen und zu prognostizieren ist. Hier könnten Fallstudien aus unterschiedlichen geographischen Regionen helfen, die

Wirkungen und den Verlauf von Belastungen in Folge veränderter Bewirtschaftungsweisen zu analysieren. Über die Orte und das Leistungspotential einzelner Retentionsmechanismen im Vergleich zur Gesamtbelastung eines Gebietes ist bisher wenig bekannt. So wird beispielsweise das Risiko bei der Wiedervernäsung von Niedermooren hinsichtlich des P-Austrages kontrovers diskutiert, weil offenbar die Systeme unterschiedlich reagieren. Eine konsequente Wiederherstellung von P-Retentionsflächen kann die Aufgabe oder starke Einschränkung bisheriger Nutzungen bedeuten, was die Akzeptanz verringert. Die damit zusammenhängenden sozioökonomischen Probleme müssen ebenfalls durch entsprechende Forschungsansätze geklärt werden. Hier bieten sich ganzheitliche Pilotstudien an (»whole ecosystem experiments« als wissenschaftliche Methode).

Wissenstransfer in die wasserwirtschaftliche Praxis beschleunigen

Eine deutschlandweit durchgeführte Studie hat gezeigt, dass die tatsächlichen Wirkungen von seeinternen Maßnahmen oftmals weit unter den Erwartungen lagen (LEWANDOWSKI et al. 2002). Oft werden sogar wissenschaftlich fragwürdige Methoden eingesetzt. Zum Abbau organischer Schlämme werden z.B. Verfahren angeboten, die mit »hochfrequenten elektromagnetischen Feldern«, mit »transmateriellen Katalysatoren«, mit »informierten« Materialien oder Geräten arbeiten. Das geschieht nicht selten mit Kenntnis und manchmal sogar mit wohlwollender Unterstützung der zuständigen Fachbehörden. Für die Forschung besteht eine Aufgabe darin, die wissenschaftlichen Grund-

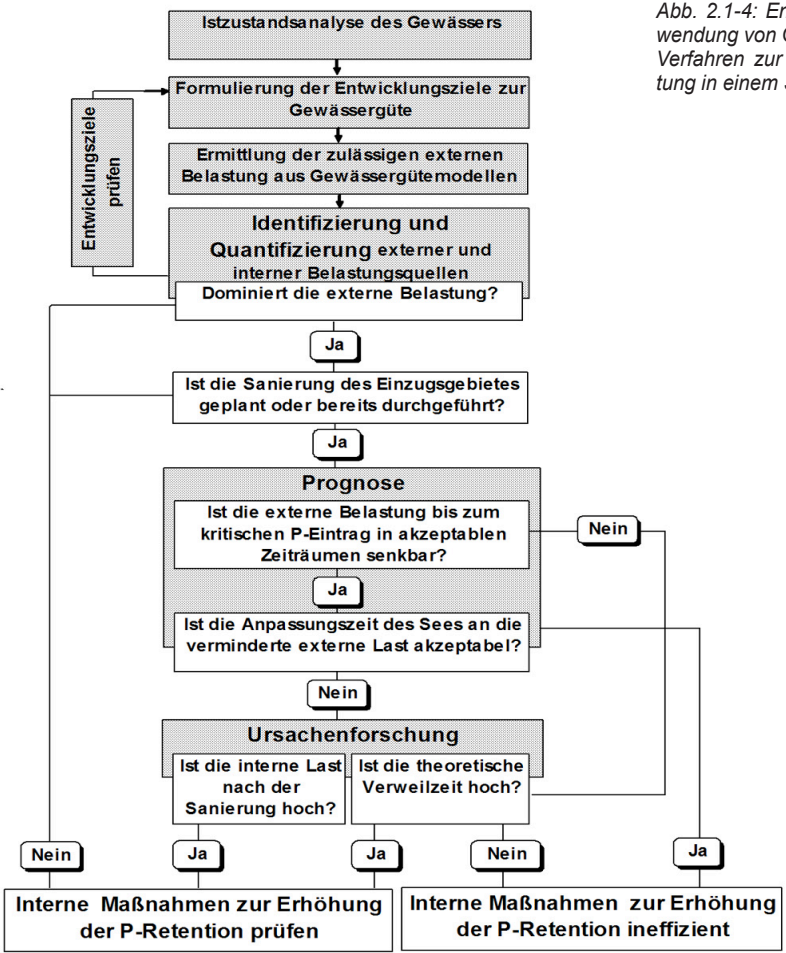


Abb. 2.1-4: Entscheidungsprozess vor der Anwendung von Ökotechnologien am Beispiel von Verfahren zur Erhöhung der Nährstoffrückhaltung in einem See (HUPFER et al. 1997).

lagen von gewässerinternen Verfahren so zu verbessern und auszuwerten, dass sie in anwendungsfähige Entscheidungshilfe-Systeme münden (SCHAUSER et al. 2002). Je besser die naturwissenschaftlichen Grundlagen bekannt sind, desto schwieriger ist es, entgegen dem Stand des Wissens zu handeln. Ein gravierendes Problem ist, dass naturwissenschaftliche Erkenntnisse über die Wirkmechanismen nicht schnell genug verbreitet werden. Unser Umweltwissen muss einer breiteren Öffentlichkeit bekannt gemacht werden und zur Verfügung stehen.

Instrumente für Kosten-Nutzen-Analysen entwickeln

Sehr große Wissensdefizite gibt es bei der ökonomischen Bewertung von ökologischen Gewässerfunktionen. Außerdem zeigt die Praxis, dass auch naturwissenschaftlich gut begründete Management-Maßnahmen Akzeptanzprobleme haben und nicht automatisch zu einer Zahlungsbereitschaft führen. Es bedarf also weiterer Argumente. Die Einbeziehung der Kosten-Wirksamkeit sollte zukünftig ein wichtiges Element von Gewässerschutzstrategien sein. Dazu fehlen zum Teil noch die wissenschaftlichen Grundlagen.

Diese Forderungen gewinnen auch im Zusammenhang mit der Umsetzung der EU-Wasserrahmenrichtlinie (WRRL), in der für alle Oberflächengewässer ein »guter ökologischer Zustand« pauschal gefordert wird und bewertet werden muss, zunehmend an Bedeutung.

Empfehlungen für die Politik Grundlagenforschung verstärken

Die Umsetzung eines integrierten Gewässerschutzes und einer nachhaltigen Entwicklung unserer Umwelt bringt zahlreiche neue Aufgaben und Herausforderungen für die Gewässerforschung mit sich. Wir benötigen dafür naturwissenschaftlich begründete und gut definierte Leitbilder, die sich an den ökologisch-hydrologischen Hauptfunktionen unserer Gewässer orientieren. Zu ihnen zählen Selbstreinigung, Komplexität des Nahrungsnetzes von den Bakterien bis zu den Fischen, Abflussvorgänge, Stofftransporte sowie die Vernetzung von Luft (Klima), Land und Wasser. Wir benötigen weiterentwickelte Instrumente (Modelle) zur Vorhersage integraler Einflüsse auf Qualität und Quantität unserer Gewässerökosysteme, die globale Klimaänderungen ebenso einbeziehen müssen wie sozioökonomische Veränderungen. Wir benötigen belastbare Grundlagen, um die Ressource Gewässer ökonomisch zu bewerten.

Ein moderner integrierter Gewässerschutz muss auf einer effizienten Kombination von Sanierungs-, Renaturierungs- und Restaurierungsprinzipien sowie ökologisch sinnvollen und ressourcenschonenden Bewirtschaftungsprinzipien aufbauen. Das setzt einen hohen Kenntnistand bezüglich der vielfältigen und hoch komplexen Prozesse in den Gewässerökosystemen voraus. Entsprechend groß ist und bleibt der Bedarf an die Grundlagenforschung, der von einem besseren Verständnis der biologischen, chemischen und physikalischen Strukturen und ihren Funktionen in den Gewässerökosystemen bis hin zur Regulation der vielfältigen Stofftransport- und -transformationsprozesse vom Einzugsgebiet bis in die Gewässer reicht.

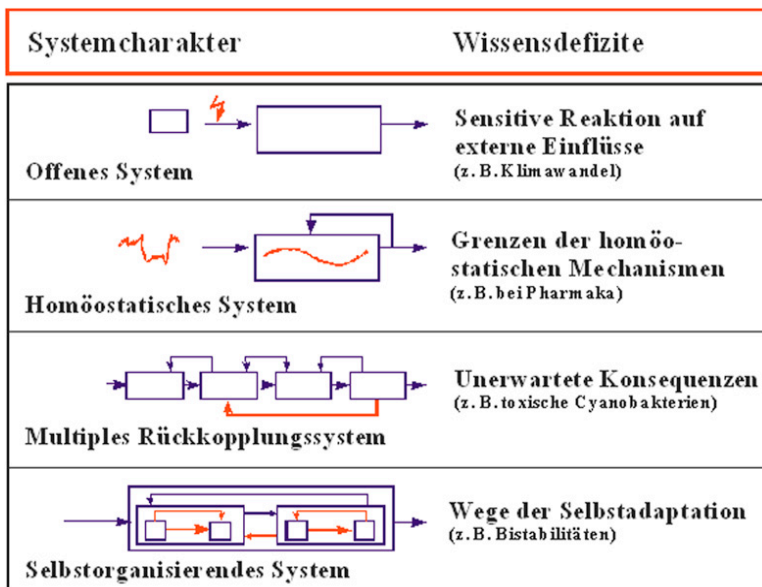


Abb. 2.1-5: Wichtige Systemeigenschaften von Gewässern und Erkenntnisdefizite (verändert nach STRASKRABA 1993).

Gesellschaftliche Akzeptanz erhöhen

Ein ganzheitlicher Gewässerschutz führt zwangsläufig zu Interessenskonflikten von Bewohnern, Wasser- und Landnutzern sowie Eigentümern. Solche Konflikte sind langfristig nur zu bewältigen, wenn die Umweltbildung verstärkt wird und neue Formen des öffentlichen Diskurses entwickelt werden. Es müssen Möglichkeiten gefunden werden, die Politiker und Mitarbeiter der Landkreise und Kommunen sowie Interessenverbände mit Fachkenntnissen auf dem Gebiet des Gewässerschutzes auszustatten. Medieninformationen können dazu beitragen, Wasserprobleme besser wahrnehmbar zu machen und Handlungsmöglichkeiten aufzuzeigen. Zunehmend sollte die Konfliktschlichtung in Form von runden Tischen, Bürgerbeteiligung oder öffentlichen Veranstaltungen in die Entscheidungsfindung eingebunden werden.

Öffentliches Interesse und politischer Handlungsdruck haben oftmals dazu geführt, dass interne Maßnahmen an verschmutzten Seen ohne die notwendigen Voruntersuchungen durchgeführt wurden. Durch solche meist nicht erfolgreichen Aktionen standen die knappen finanziellen Mittel für wirksamere Maßnahmen nicht zu Verfügung. Ein weiteres Problem liegt darin, dass Planung, Durchführung und die Erfolgskontrolle von Gewässerschutzmaßnahmen oft in einer Hand liegen. Dadurch besteht die Gefahr, dass bei der Auswahl eines Verfahrens oder bei der Beurteilung der Wirksamkeit eine Befangenheit entsteht. Will man die Untersuchungen bei einer Institution belassen, könnte man ein Vorgehen analog dem Ökoaudit durchführen, bei dem die Untersuchungsergebnisse und die Planungsunterlagen einem zertifizierten Gutachter übergeben werden. Die Ergebnisse von Erfolgskontrollen sollten von den Auftraggebern nicht verschwiegen werden, denn sie sind ein wichtige Informationsquelle.

Emissions- und Immissionsprinzip kombinieren

Da die Gewässer mit der terrestrischen Umgebung eng verbunden sind, beginnt vorbeugender Gewässerschutz immer im Einzugsgebiet. Die begrenzten finanziellen Ressourcen für den Gewässerschutz erfordern eine optimale Kombination von Emissions- und Immissionsprinzip (BENNDORF et al. 2003). Viele ökologische und technische Standards orientieren sich an dem Null-Emissionsprinzip (bei toxischen Stoffen), am neuesten Stand der Technik (vierte Reinigungsstufe in Kläranlagen) oder scheinen willkürlich festgelegt zu sein. Für nichttoxische Stoffe sind im Einzelfall auch höhere Immissionen möglich, als sich das durch

Grenz- und Richtwerte ergibt, wenn die Ökosystemstruktur entsprechend gestaltet und optimiert werden kann. Das kann durch ökotechnologische Verfahren erreicht werden. Daher ist nicht immer die Vermeidung von Schadstoffen an der Quelle um jeden Preis zu empfehlen. Wirksamer Gewässerschutz erfordert ein auf den Einzelfall oder eine Region angepasstes Vorgehen.

Literatur

- BENNDORF J., KOBUS H., ROTH K. & SCHMITZ G. (2003): In: DEUTSCHE FORSCHUNGSGEMEINSCHAFT: Wasserforschung im Spannungsfeld zwischen Gegenwartsbewältigung und Zukunftssicherung. Wiley, Weinheim, 175 pp.
- BEHRENDT H., BACH M., KUNKEL R., OPITZ D., PAGENKOPF W.-G., SCHOLZ G. & WENDLAND, F. (2003): Quantifizierung der Nährstoffeinträge der Flussgebiete Deutschlands auf der Grundlage eines harmonisierten Vorgehens. UBA-Texte, 82/03, 201 pp.
- BEHRENDT H. & DANNOWSKI, R. (Eds.) (2003): Nutrients and heavy metals in the Odra River system, Weißensee Verlag, Berlin, 335 pp.
- BORCHARDT D., BENNDORF J., REQUATE T., ISENBECK-SCHRÖTER M., STEINBERG CH. & WAGNER A. (2004): Thesenpapier zum DFG-Rundgespräch: Optimierung von Gewässerschutzstrategien. Kassel, 12 pp.
- CONSTANZA R., D'ARGE R., DE GROOT R., FARBER ST., GRASSO M., HANNON B., LIMBURG K., NAEEM S., O'NEIL R. V., PARUELO J., RASKIN R. G., SUTTON P. & VAN DEN BELT M. (1997): The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 387, 253-260.
- HUPFER M., GELBRECHT J., SCHARF B. & STEINBERG C. (1997): Konzeptionelle Ansätze zur Steuerung des Phosphat-Haushaltes durch seeinterne Maßnahmen. - *Wasser und Boden*, 49/12, 8-13.
- HUPFER M. & NIXDORF B. (2011): Zustand und Entwicklung von Seen in Berlin und Brandenburg. Materialien der Interdisziplinären Arbeitsgruppen IAG Globaler Wandel - Regionale Entwicklung. Berlin-Brandenburgische Akademie der Wissenschaften. Berlin. 60 pp.
- KOSCHEL R., BRÜGGEMANN R. & KASPRZAK P. (1998): Ökotechnologien zur Sanierung und Restaurierung von Standgewässern. *Spektrum der Wissenschaften*, 9, 97-100.
- KOSCHEL R., BEHRENDT H. & HUPFER M. (2005): Integrierter Gewässerschutz für Binnengewässer. In: Leibniz-Institut für Gewässerökologie und Binnenfischerei (Hrsg.). Maßnahmen zum nachhaltigen Umgang mit der Ressource Wasser. 4. Stechlinforum. Berlin, 11-20.
- KOSCHEL R., BEHRENDT H. & HUPFER M. (2005): Integrierter Gewässerschutz für Binnengewässer: Maßnahmen zum nachhaltigen Umgang mit der Ressource Wasser. In: Leibniz-Gemeinschaft (Hrsg.): Zwischenruf 2, 4-15.
- KOSCHEL R., BEHRENDT H. & HUPFER M. (2007): Surface waters under stress factors and their controlling by integrated measures. In: LOZAN, J. L., GRAßL, H., HUPFER, P., MENZEL & L., SCHÖNWIESE, D. (eds): *Global change: Enough water for all?* Hamburg, 89-94.
- LEWANDOWSKI J., SCHAUSER I. & HUPFER M. (2002): Bedeutung von Vor- und Nachuntersuchungen in der Seentherapie. *Wasser & Boden*, 54/9, 21-25.
- NIXDORF B., RÜCKER J., DENEKE R. & GRÜNEBERG B. (2009): Gewässer im Klimastress? Eutrophierungsgefahr in Seen am Beispiel der Scharmützelseeregion. *Forum der Forschung* 22: 99-106.

- RINKE K., DIETZELA., ELLIOTT J.A. & PETZOLD T. (2010): Komplexe dynamische Seenmodelle (III-5.2). Handbuch Angewandte Limnologie - 27. Erg.Lfg. 4/10: 1-28.
- RIPL W. & WOLTER K.-D. (2001): Stoffstrommanagement nach dem Energie-Transport-Reaktions-Modell (ETR-Modell). Wasser & Boden, 53/10, 4-9.
- SCHAUSER I., MATHES J., SCHARF B. & HUPFER M. (2002): Entscheidungsfindung und Entscheidungshilfen bei der Seentherapie. Wasser & Boden, 54/9, 14-20.
- STEINBERG C., WEIGERT B., MÖLLER K. & JEKEL M. (HRSG.) (2002): Nachhaltige Wasserwirtschaft. Entwicklung eines Bewertungs- und Prüfsystems. Initiativen zum Umweltschutz, 36, Schmidt Verlag Berlin, 311. pp.
- STRASKRABA M. (1993): Ecotechnology as a new means for environmental mangement. Ecol. Engineering 2, 311-331.
- WBGU (WISSENSCHAFTLICHER BEIRAT DER BUNDESREGIERUNG GLOBALE UMWELTVERÄNDERUNGEN) (1999): Welt im Wandel – Erhaltung und nachhaltige Nutzung der Biosphäre. Jahrgutachten 1999, Springer, Berlin 482 pp.
- WWDR (WORLD WATER DEVELOPMENT REPORT) (2009): Water in a changing world. The United Nations World Water Development Report 3 UNESCO publishing. 344 + 86 pp.

Prof. Dr. Rainer Koschel
Leibniz-Institut für Gewässerökologie
und Binnenfischerei
Alte Fischerhütte - 16775 Stechlin-Neuglobsow
rko@igb-berlin.de

Dr. Michael Hupfer
Leibniz-Institut für Gewässerökologie
und Binnenfischerei
Müggelseedamm 310 - 12587 Berlin
hupfer@igb-berlin.de