

Gefährdung und Schutz von Oberflächengewässern. Einführung in das Rundgespräch

Jürgen Geist

Zusammenfassung

Gewässer gelten als Lebensadern in der Landschaft und sind für die Biodiversität sowie für vielfältige menschliche Nutzungen von großer Bedeutung, darunter u.a. Trinkwasserversorgung, Landbewirtschaftung, Transportweg, Abwasserentsorgung, Wasserkraftnutzung, Fischerei und Aquakultur sowie Freizeit und Erholung. Die Zielmarken im europäischen Gewässerschutz, wie der in der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie angestrebte gute ökologische Zustand, sind klar definiert, werden derzeit aber weitgehend verfehlt. Dies ist u. a. auf hydrologisch-strukturelle Veränderungen der Gewässer und auf Landnutzungseffekte zurückzuführen, wird aber durch zusätzliche Stressoren wie den Klimawandel noch verstärkt. Vor dem Hintergrund der vielfältigen Nutzungsansprüche und der multiplen Stressoren und Gefährdungen der Gewässersysteme sind evidenzbasierte, integrative und systemische Management- und Governance-Ansätze nötig, die verschiedene Disziplinen zusammenführen und verstärkt auf Synergien setzen, z.B. zwischen Arten-, Gewässer-, Boden- und Klimaschutz.

Summary

Threats and Conservation of surface waters: an introduction

Water is life: Surface water bodies are essential elements in the landscape, with utmost importance for biodiversity as well as multiple human uses such as drinking water supply, land cultivation, transportation, sanitation, hydropower use, fisheries and aquaculture as well as recreation. The targets of European water management, such as the desired »good ecological status« of waterbodies in the European Water Framework Directive, have been clearly defined, yet are largely missed to date. Reasons include hydrological and structural modifications of water bodies and the effects of land use, which are further amplified by additional stressors such as climate change. In light of the multiple water use demands and the multiple stressors and threats to aquatic ecosystems, evidence-based, integrative and systemic management and governance approaches are needed. Such approaches should bring together different disciplines and focus on synergies, e. g., between species conservation, the protection of water resources, soil and climate.

✉ Prof. Dr. Jürgen Geist, Technische Universität München, Lehrstuhl für Aquatische Systembiologie, Mühlenweg 22, 85354 Freising; geist@tum.de

Biodiversitätskrise aquatischer Ökosysteme

Die Biodiversitätskrise ist in aller Munde; für Bayern sei hier nur das Volksbegehren »Rettet die Bienen« genannt,¹ darüber hinaus gibt es viele weitere Initiativen. Das Thema, das in der Vergangenheit möglicherweise eher ein rein ökologisches war, ist inzwischen in der Mitte der Gesellschaft angekommen. Gemäß den Kriterien der IUCN, der International Union for the Conservation of Nature, sind bei Vögeln und bei Säugetieren 14 % bzw. 16 % der Arten in einer der Gefährdungskategorien gelistet. Weit weniger bekannt ist aber, dass die Süßwassermuscheln mit 69 % an gefährdeten Arten diese Liste anführen, gefolgt von den Süßwasserkrebsen, den Steinfliegen, die ihr Larvenstadium in sehr sauberen Süßwasserökosystemen durchlaufen, und den Süßwasserfischen (Stein et al. 2000, Auerswald et al. 2019). Dies zeigt die besondere Gefährdung der Biodiversität unter der Wasseroberfläche, wenngleich dieser Biodiversitätsverlust weniger sichtbar ist als der im terrestrischen Bereich.

Am Beispiel der Fische lässt sich der Rückgang der biologischen Vielfalt und anspruchsvoller Arten in Flüssen anschaulich illustrieren: Für Bayern hatten wir an der Technischen Universität München die Gelegenheit, in einem Forschungsprojekt alle von staatlichen Stellen verfügbaren Daten zu Fischbeständen auszuwerten und in Zusammenhang mit verschiedenen Umweltfaktoren zu setzen (Mueller et al. 2018). Bis in die 1990er Jahre sind demnach bei den Fischen 21 Arten verschwunden und weitere 27 Arten zeigten einen Rückgang um mehr als 50 % in ihrer räumlichen Verbreitung. In der jüngeren Zeit gibt es einen leicht positiven Trend, der allerdings in erster Linie auf Arten- und Biomassezunahmen von nicht-heimischen Arten beruht. Diese bilden stellenweise Massenpopulationen

aus und es entstehen neuartige Nahrungsnetze, teilweise mit Artenkombinationen, die sich auf natürlichem Weg niemals treffen würden. In den Uferbereichen der bayerischen Donau tragen inzwischen invasive Grundeln stellenweise mehr als 50 % zur Fischbiomasse bei. Ähnliche Beispiele gibt es vom Rhein, wie Frau Kollegin Holm in ihrem Beitrag zeigen wird (Holm 2023, S. 57–64 in diesem Band).

Ziele im europäischen Gewässerschutz

Die Zielmarken im Gewässerschutz sind in Europa klar definiert. In der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) hat man sich zum Ziel gesetzt, ursprünglich bis zum Jahr 2015, spätestens aber bis 2027 den »guten ökologischen Zustand« bzw. im Fall von erheblich veränderten oder künstlichen Gewässern das »gute ökologische Potenzial« zu erreichen (BMUB/UBA 2016). Neben der Fauna-Flora-Habitat-Richtlinie (FFH) im Kontext von Natura 2000 existieren Biodiversitätsstrategien auf europäischer und nationaler Ebene sowie beispielsweise für Bayern die Strategie zum Erhalt der biologischen Vielfalt in Bayern (Bayerische Biodiversitätsstrategie) und das Programm »NaturVielfaltBayern – Biodiversitätsprogramm Bayern 2030«. Darüber hinaus gibt es den European Green Deal und viele weitere Richtlinien, wie z. B. die Europäische Hochwasserrichtlinie (EG-Richtlinie über die Bewertung und das Management von Hochwasserrisiken; Richtlinie 2007/60/EG), die auch unmittelbar mit dem Management der Oberflächengewässer zu tun haben.

Bei all diesen Richtlinien stehen die Struktur und die Funktion und letztlich auch die Ökosystemdienstleistungen im Mittelpunkt, die von verschiedenen Faktoren beeinflusst werden (Geist 2014, Abb. 1). Hinsichtlich der Wasserqualität gab es zumindest in vielen industrialisierten Staaten bereits große Fortschritte – beispielhaft sei hier auf die Etablierung einer dritten Reinigungsstufe in Kläranlagen bzw. auf die vierte Stufe, die in der Schweiz intensiv diskutiert wird, verwiesen. In anderen Ländern bestehen oftmals noch grundlegende Probleme mit dem Nährstoff- und Abwassereintrag in Gewässer. Dass die Biologie als Zustandsindikator für Gewässer stärker in den Fokus gerückt ist, auch z. B. im Zuge der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie,

1 Volksbegehren »Artenvielfalt & Naturschönheit in Bayern« (»Rettet die Bienen«), Anfang 2019 im Freistaat Bayern. Der entsprechende Gesetzesentwurf wurde im Juli 2019 vom Bayerischen Landtag verabschiedet, am 01.08.2019 traten einige tiefgreifende Änderungen des Bayerischen Naturschutzgesetzes in Kraft.

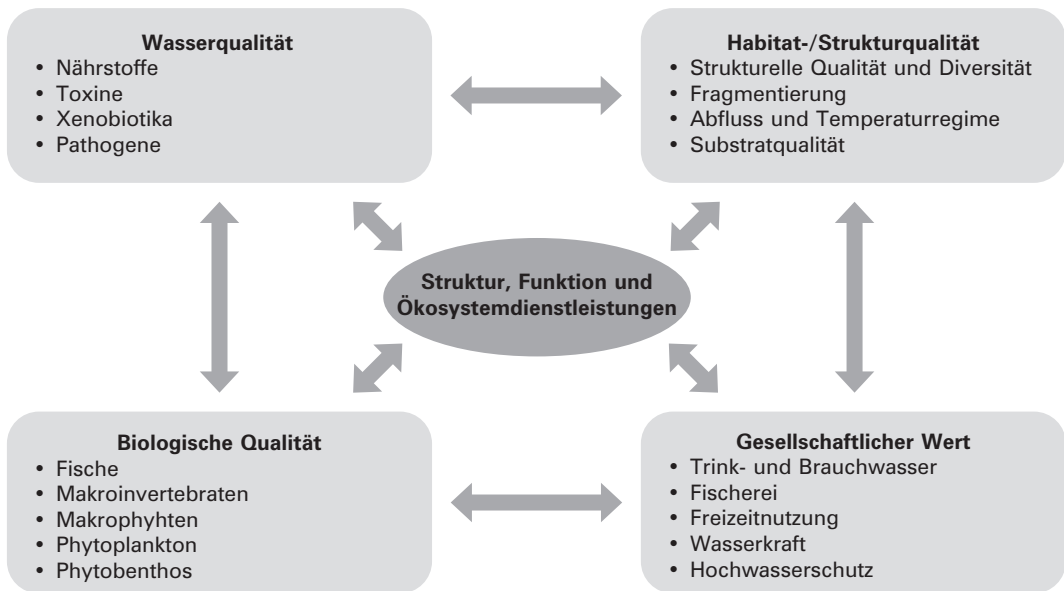


Abb. 1. Ziele im europäischen Gewässerschutz und ihre Wechselwirkungen untereinander.

war ein großer Fortschritt; der »gute Zustand« soll sich jetzt in den Lebensgemeinschaften der Gewässer widerspiegeln und man betrachtet Einzugsgebiete als Einheiten. Insbesondere bei den Fischen gibt es in unseren Gewässern bei der ökologischen Bewertung aber große Defizite, was in erster Linie an Problemen bezüglich der Habitat- und Strukturqualität sowie im Fall der Fische auch an der Konnektivität der Gewässer liegt. Dies ist nicht verwunderlich, da der Mensch in nahezu allen dicht besiedelten Gebieten die Oberflächengewässer und ihr unmittelbares Umland sehr stark nach seinen Bedürfnissen verändert hat (Auerswald et al. 2019) – und diese hatten in der Vergangenheit meist nicht den Schutz der biologischen Diversität oder andere ökologische Themen im Fokus. Herr Ministerialdirigent Grambow wird in seinem Beitrag auf die Aspekte von Governance eingehen und zeigen, dass ohne eine Berücksichtigung der Nutzung der Gewässer durch den Menschen und die Beteiligung bzw. Akzeptanz der Bevölkerung keine tragfähigen Lösungen erzielt werden können (Grambow 2023, S. 89–100 in diesem Band). Dies verdeutlicht, dass viele Entscheidungen im Gewässermanagement nicht allein auf naturwissenschaftlicher Basis getroffen werden können. Auch Herr Kollege Schmutz legt in seinem Beitrag dar,

wie Restaurierungsbemühungen für Gewässer in Österreich mittels eines »gemeinsamen Wegs« realisiert werden (Schmutz 2023, S. 101–112 in diesem Band).

Zielverfehlungen und ihre Ursachen

Wo stehen wir nun in Bezug auf die gesetzten Zielmarken? Gemäß einer Auswertung der European Environment Agency wird in fast allen mitteleuropäischen Flussgebietseinheiten die Zielerreichung des guten ökologischen Zustands bzw. des guten ökologischen Potenzials gemäß der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie zu über 70 % verfehlt (EEA 2018, S. 26).

In Bezug auf die Fische hatten wir die Gelegenheit, anhand verfügbarer staatlicher Daten zur Landnutzung, der Urbanisierung einschließlich Kläranlagen, dem Wasserbau, bis hin zu Bestandsdaten von Kormoranen und verschiedenen anderen Einflussfaktoren auf der lokalen Ebene, d. h. entlang von Gewässerstreifen, auf der regionalen Ebene und auch auf der überregionalen Ebene ganzer Gewässereinzugsgebiete zu prüfen, welche dieser Faktoren in einem statistisch signifikantem Zusammenhang mit den Veränderungen in den Fischartengemeinschaften stehen (Bierschenk et al. 2019, Mueller et al.

2020). Es zeigte sich, dass auf allen Skalen drei maßgebliche Faktoren eine Rolle spielen:

- Hydrologische Veränderungen: Werden Fließgewässer aufgestaut, verändert sich deren Charakter und damit die Lebensgemeinschaften. Anspruchsvolle Fließgewässerarten (Spezialisten) und wandernde Arten sind hiervon besonders betroffen.
- Landnutzung: Eine intensive und erosionsanfällige Landnutzung, z. B. Maisanbau, führt zu Einträgen von Feinsediment, Nährstoffen und Pestiziden, mit entsprechenden Effekten auf die aquatischen Lebensgemeinschaften. Landnutzung war in der Vergangenheit häufig geprägt vom Interesse, die Landschaft zu entwässern. In Zeiten des Klimawandels kommt es jetzt in gewisser Weise zu einem Umdenken und es wäre sinnvoll, wieder mehr Wasser in der Landschaft zu halten (Schwammlandschaften). Herr Kollege Auerswald wird darauf in seinem Beitrag eingehen (Auerswald 2023, S. 31–42 in diesem Band).
- Einflüsse aus dem urbanen Raum (z. B. Kläranlagen, Flächenversiegelungen): Diese können sich auf die stoffliche Belastung auswirken, verändern aber auch das Temperaturregime und die Abflussdynamik, d. h. die zeitliche Abfolge des Abflusses in den Fließgewässern.

Herausforderungen im Gewässermanagement

Die Herausforderungen im Gewässermanagement sind eng mit den verschiedenen Nutzungen der Gewässer durch den Menschen verknüpft (Abb. 2). Von primärem Interesse ist hier meist die Trinkwasserversorgung, für die auch Oberflächengewässer eine wichtige Rolle spielen können. Beispiele dafür sind der Bodensee und Trinkwassertalsperren. Eng damit verbunden ist das Thema der Gesundheit bzw. der »Waterborne diseases«, d. h. der durch Wasser übertragenen Krankheiten, das unmittelbar mit dem Gewässermanagement verknüpft ist. Leitet man viele Nährstoffe in ein Oberflächengewässer ein, aus dem man Trinkwasser gewinnen möchte, führt dies z. B. zur Entwicklung von Cyanobakterien, die Toxine produzieren können. In den letzten Jahren kam es in Bayern deswegen zu mehreren Todesfällen bei Hunden, glücklicherweise (noch) nicht bei Menschen.

Eine weitere wichtige Herausforderung ist die Landbewirtschaftung. In Bayern stand in der Vergangenheit immer genug Wasser zur Verfügung, aber in den letzten Jahren hat das Thema Bewässerung an Bedeutung gewonnen. Die Landwirtschaft ist einerseits ein wichtiger Konsument von Wasser – global sogar der größte Konsument, der 92 % des Wasserfußabdrucks der Menschheit verursacht (Hoekstra & Mekonnen 2012) –, andererseits hat sie z. B. über den Eintrag von Feinsediment, Nährstoffen oder auch von Pflanzenschutzmitteln einen direkten Einfluss auf die stoffliche Qualität der Gewässer.

Großen Einfluss haben auch die fischereiliche Bewirtschaftung von Gewässern und die Aquakultur – Themenfelder, die auch zu Nutzungskonflikten führen können, wenn es z. B. um Nährstoffgehalte in den Gewässern geht. Dazu wird Herr Brinker, der Leiter der Fischereiforschungsstelle Baden-Württemberg, Näheres zum Bodensee berichten, wo die Managementkonflikte zum Teil sehr emotional ausgetragen werden (Brinker 2023, S. 65–76 in diesem Band).

Die Gefährdung durch Hochwasser ist zuletzt durch die Katastrophe im Ahrtal 2021 stark in den Fokus des Interesses gerückt. Das Thema ist auch dahingehend spannend, da für den Hochwasserschutz berechtigterweise relativ umfangreiche Finanzmittel zur Verfügung stehen, wodurch Synergien mit anderen Aspekten des Gewässermanagements möglich sind.

Auch die energetische Nutzung von Gewässern ist ein spannendes und hochkontroverses Thema, gerade vor dem Hintergrund des erforderlichen Ausbaus regenerativer Energie. Für manche ist Wasserkraft wegen der CO₂-Neutralität und der Grundlastfähigkeit eine »grüne Energie« *par excellence*, für andere eine »rote« aufgrund der meist unvermeidbaren Schädigungen der Fische und der Gewässerlebensräume (Geist 2021, Mueller et al. 2022).

Dazu kommt schließlich die Nutzung von Gewässern als Transportweg: Einerseits können über unser dichtes europäisches Kanalnetz Güter energiesparend transportiert werden, andererseits verbinden sie ehemals klar voneinander getrennte Flusseinzugsgebiete, was Invasionskorridore für nicht-heimische Arten und damit für Veränderungen der Ökosysteme schafft.

Das Thema der Abwasserentsorgung in die Gewässer ist ebenfalls wichtig. In der breiten Bevölkerung ist es wenig bekannt, dass manche

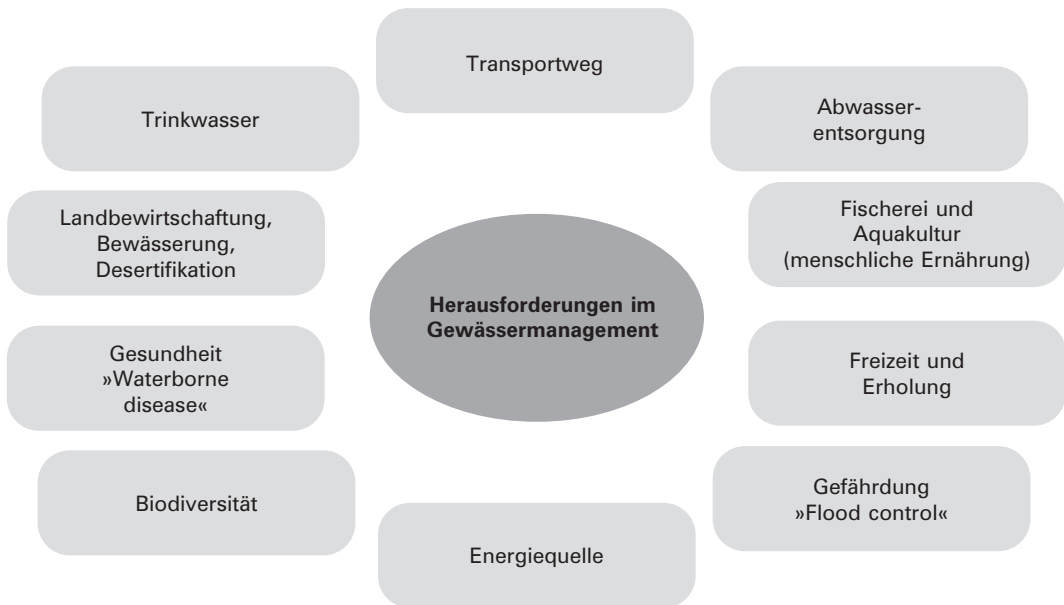


Abb. 2. Herausforderungen im Gewässermanagement.

unserer Fließgewässer in der abflussarmen Zeit im Sommer einen so genannten Klarwasseranteil von mehr als 50 % aufweisen, d. h., mehr als die Hälfte des Wassers stammt aus Kläranlagen. Ich freue mich, dass Frau Kollegin Helmreich und Frau Kollegin Werner in ihren Vorträgen auf den urbanen Raum bzw. auf Mikroschadstoffe in Gewässern eingehen werden (Helmreich 2023, S. 77–87, und Werner 2023, S. 43–56 in diesem Band).

Auch das Thema Freizeit und Erholung ist von steigender Bedeutung, wie sich gerade in der Coronapandemie gezeigt hat, und kann zu einer entsprechenden Übernutzung an den Gewässern führen. Und nicht zuletzt ist die Biodiversität, wie eingangs schon angesprochen, eine der großen Herausforderungen im Gewässermanagement.

Hauptgefährdungen aquatischer Ökosysteme

Bringt man die Nutzungen mit den Gefährdungen zusammen, so stellen global gesehen die Übernutzung, die Verschmutzung, die Habitatdegradierung, Invasionen gebietsfremder Arten, Veränderungen des Abflussregimes und der Klimawandel, der mit allen anderen Faktoren interagiert, die Hauptgefährdungen aquatischer Ökosysteme dar (Dudgeon et al. 2006, Geist

2011). In den heutigen Vorträgen werden wir zu all diesen Themen von führenden WissenschaftlerInnen auf diesen Gebieten informiert. Herr Kollege Borchardt wird in seinem Beitrag zeigen, wie der Klimawandel alle genannten Faktoren beeinflusst (Borchardt 2023, S. 17–30 in diesem Band).

Durch Klimawandel und Landnutzungseinflüsse ist selbst die Austrocknung von Gewässern im niederschlagsreichen Bayern inzwischen ein Thema. Spätestens seit 2018/19, als in Nordbayern Gewässer komplett ausgetrocknet sind und als Notmaßnahme mit Tanklastern Wasser zu diesen Bächen gefahren wurde, um letzte bedeutende Bestände der vom Aussterben bedrohten Flussperlmuschel zu retten, muss man sich mit dem Management dieser Systeme unter diesen neuen Realitäten beschäftigen.

Letztlich sind die Herausforderungen im Gewässermanagement, vor denen wir alle stehen, global vorzufinden (Grill et al. 2019). Überall auf der Welt sind die Oberflächengewässerökosysteme sehr stark verändert und wir stehen vor der Frage, wie wir damit umgehen. Lösungen müssen dennoch auf der lokalen Ebene gefunden werden und die Wissenschaft kann dafür wichtige Beiträge liefern.

Ansätze zur Lösungsfindung

In der Vergangenheit wurden verschiedene Ansätze – ökologische, wasserbauliche, Klimaschutzansätze – häufig sehr disziplinär betrachtet und die notwendigen Interaktionen fehlten oftmals, obwohl klar ist, dass die verschiedenen Probleme wie Biodiversitätsverlust und Wasser-sicherheit keine getrennten, sondern unmittelbar gekoppelte Probleme sind (Vörösmarty et al. 2010). Ein wichtiger Weg zur Lösungsfindung liegt in einem evidenzbasierten, ganzheitlich-systemischen Denken, wobei Synergien stärker berücksichtigt werden sollten (Geist & Auerswald 2019). Wenn wir beispielsweise versuchen, die in der Vergangenheit zur Entwässerung und landwirtschaftlichen Nutzung eingebauten Drainagen wieder rückzubauen, um das Wasser besser in der Landschaft zu halten, dann ergeben sich Synergien im Gewässer-, Boden-, Arten- und Klimaschutz. Derartige Schwamm-Einzugsgebiete schützen uns besser vor Hochwasser und erhöhen gleichzeitig die Resilienz der Lebensgemeinschaften in und am Gewässer, da sie als Puffer bei Niedrigwasser dienen. Durch mehr Wasser im Boden wird andererseits die Mineralisierung der organischen Substanz vermindert und es kann mehr Kohlenstoff gespeichert werden, was wiederum dem Klimaschutz dient. Letztlich profitiert aber auch die Landnutzung, wenn Böden nicht erodieren und das Wasser nicht als Ressource für die Produktion knapp wird (Geist & Auerswald 2019, Serra-Llobet et al. 2022).

Als kleines Zwischenfazit für die weitere Diskussion lässt sich festhalten:

- Die Herausforderungen sind deutlich: Wir verfehlen viele der klar gesteckten Ziele wie z.B. die der Wasserrahmenrichtlinie; multiple Stressoren müssen berücksichtigt werden und es gibt viele Stakeholder mit unterschiedlichen Nutzungsinteressen. Das bedeutet in der Konsequenz, dass wir neue (evidenzbasierte, integrative und systemische) Managementansätze brauchen, die die verschiedenen Disziplinen zusammenführen.
- Die große Chance ist, dass die Bedeutung von Wasser und Gewässern zunehmend erkannt wird. Gerade vor dem Hintergrund der Extremsituationen wie Starkregenereignisse und Trockenperioden mit Wasserknappheit

in den Sommermonaten rückt das Thema immer stärker in den Fokus von Wissenschaft, Öffentlichkeit und Politik. In vielen Bereichen verfügt die Wissenschaft über ein weit entwickeltes Prozessverständnis, das bei der Lösungsfindung einfließen sollte. In der Nutzung von Synergien, die momentan noch nicht vollständig ausgeschöpft werden, liegt hier eine große Chance.

- Es gibt aber auch Risiken. Es besteht die Gefahr, dass mit der hochgradigen Verfehlung der gesteckten Zielmarken eine gewisse Versuchung entsteht, die Ziele herabzusetzen oder aufzuweichen. Auch besteht die Gefahr, vordergründig drängende Ziele wie den Hochwasserschutz oder die Trinkwassersicherheit isoliert zu lösen und damit eine integrative Lösung der Probleme zumindest zu erschweren, weil Ressourcen verbraucht und der Druck kurzfristig gemindert werden. Weiter besteht ein Risiko in Bezug auf die Nutzungskonflikte, z. B. beim Thema Wasserkraft, wo sich teilweise extreme Positionen gegenüberstehen und auch sehr emotional diskutiert werden. Vor dem Hintergrund der vielen anderen Krisen, wie wir sie gerade erleben (wie die Coronapandemie und der Krieg in der Ukraine), besteht auch ein Risiko, dass der Fokus stärker auf andere Themen rückt und dass das Management der Oberflächengewässer in dieser Prioritätensetzung nach hinten rückt. Und letztlich wird auch wichtig sein, dass die wissenschaftlichen Erkenntnisse in der Politik verstärkt berücksichtigt werden. Dazu dient unter anderem dieses heutige Forum.

Literatur

- Auerswald, K. 2023. Einfluss der gewässernahen Landnutzung auf die Funktionalität von Auen und Gewässern. – In: Bayer. Akademie der Wissenschaften (Hrsg.): Gefährdung und Schutz von Oberflächengewässern. Pfeil, München: 31–42.
- Auerswald, K., P. Moyle, S. P. Seibert & J. Geist. 2019. HESS Opinions: Socio-economic and ecological trade-offs of flood management – benefits of a transdisciplinary approach. – *Hydrology and Earth System Sciences*, 23(2): 1035–1044. <https://doi.org/10.5194/hess-23-1035-2019>.
- Bierschenk, A. M., M. Mueller, J. Pander & J. Geist. 2019. Impact of catchment land use on fish community composition in the headwater ar-

- eas of Elbe, Danube and Main. – *Science of The Total Environment*, 652: 66–74. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.10.218>.
- BMUB/UBA (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit & Umweltbundesamt) (Hrsg.). 2016. Die Wasserrahmenrichtlinie – Deutschlands Gewässer 2015. – UBA, Bonn, Dessau, 148 S. <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/die-wasserrahmenrichtlinie-deutschlands-gewaesser> [abgerufen am 29.07.2022].
- Borchardt, D. 2023. Multiple Stressoren in Oberflächengewässern: Welche Rolle spielt der Klimawandel? – In: Bayer. Akademie der Wissenschaften (Hrsg.): *Gefährdung und Schutz von Oberflächengewässern*. Pfeil, München: 17–30.
- Brinker, A. 2023. Konsequenzen der fischereilichen Bewirtschaftung – Was wissen wir wirklich? – In: Bayer. Akademie der Wissenschaften (Hrsg.): *Gefährdung und Schutz von Oberflächengewässern*. Pfeil, München: 65–76.
- Dudgeon, D., A. H. Arthington, M. O. Gessner, Z. Kawabata, D. J. Knowler, C. Lévêque, R. J. Naiman, A. H. Prieur-Richard, D. Soto, M. L. Stiassny & C. A. Sullivan. 2006. Freshwater biodiversity: importance, threats, status and conservation challenges. – *Biological Reviews of the Cambridge Philosophical Society*, 81 (2): 163–182. <https://doi.org/10.1017/S1464793105006950>.
- EEA (European Environment Agency). 2018. *European waters – Assessment of status and pressures 2018*. – EEA-Report, 7/2018, 85 S. https://www.eea.europa.eu/publications/state-of-water/at_download/file [abgerufen am 29.07.2022].
- Geist, J. 2011. Integrative freshwater ecology and biodiversity conservation. – *Ecological Indicators*, 11 (6): 1507–1516. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2011.04.002>.
- Geist, J. 2014. Trends and directions in water quality and habitat management in the context of the European water framework directive. – *Fisheries*, 39(5): 219–220. <https://doi.org/10.1080/03632415.2014.903838>.
- Geist, J. 2021. Green or red: Challenges for fish and freshwater biodiversity conservation related to hydropower. – *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 31(7): 1551–1558. <https://doi.org/10.1002/aqc.3597>.
- Geist, J. & K. Auerswald. 2019. Synergien im Gewässer-, Boden-, Arten- und Klimaschutz am Beispiel von Flussauen. – *Wasserwirtschaft*, 11/2019: 11–16.
- Grambow, M. 2023. Anthropozän 2.0 – Governance-Aspekte im Gewässerschutz. – In: Bayer. Akademie der Wissenschaften (Hrsg.): *Gefährdung und Schutz von Oberflächengewässern*. Pfeil, München: 89–100.
- Grill, G., B. Lehner, M. Thieme, B. Geenen, D. Tickner, F. Antonelli, S. Babu, P. Borrelli, L. Cheng, H. Crochetiere, H. Ehalt Macedo, R. Filgueiras, M. Goichot, J. Higgins, Z. Hogan, B. Lip, M. E. McClain, J. Meng, M. Mulligan, C. Nilsson, J. D. Olden, J. J. Opperman, P. Petry, C. Reidy Liermann, L. Sáenz, S. Salinas-Rodríguez, P. Schelle, R. J. P. Schmitt, J. Snider, F. Tan, K. Tockner, P. H. Valdujo, A. van Soesbergen & C. Zarfl. 2019. Mapping the world's free-flowing rivers. – *Nature*, 569(7755): 215–221. <https://doi.org/10.1038/s41586-019-1111-9>. Erratum in: *Nature*, 2019, 572(7768):E9.
- Helmreich, B. 2023. Einflüsse des urbanen Raums auf Oberflächengewässer. – In: Bayer. Akademie der Wissenschaften (Hrsg.): *Gefährdung und Schutz von Oberflächengewässern*. Pfeil, München: 77–87.
- Hoekstra, A. Y. & M. M. Mekonnen. 2012. The water footprint of humanity. – *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*, 109(9): 3232–3237. <https://doi.org/10.1073/pnas.1109936109>.
- Holm, P. 2023. Invasion der Schwarzmeergundeln im Oberrhein und Auswirkungen auf das Gewässerökosystem. – In: Bayer. Akademie der Wissenschaften (Hrsg.): *Gefährdung und Schutz von Oberflächengewässern*. Pfeil, München: 57–64.
- Mueller, M., J. Pander & J. Geist. 2018. Comprehensive analysis of > 30 years of data on stream fish population trends and conservation status in Bavaria. – *Biological Conservation*, 226: 311–320. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2018.08.006>.
- Mueller, M., A. M. Bierschenk, B. M. Bierschenk, J. Pander & J. Geist. 2020. Effects of multiple stressors on the distribution of fish communities in 203 headwater streams of Rhine, Elbe and Danube. – *Science of The Total Environment*, 703: 134523. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134523>.
- Mueller, M., J. Knott, J. Pander & J. Geist. 2022. Experimental comparison of fish mortality and injuries at innovative and conventional small hydropower plants. – *Journal of Applied Ecology*, 59(9): 2360–2372. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.14236>.
- Schmutz, S. 2023. Gewässersanierung am Beispiel Österreichs – ein gemeinsamer Weg. – In: Bayer. Akademie der Wissenschaften (Hrsg.): *Gefährdung und Schutz von Oberflächengewässern*. Pfeil, München: 101–112.
- Serra-Llobet, A., S. C. Jähmig, J. Geist, G. M. Kondolf, C. Damm, M. Scholz, J. Lund, J. J. Opperman, S. M. Yarnell, A. Pawley, E. Shader, J. Cain, A. Zingraff-Hamed, T. E. Grantham, W. Eisenstein & R. Schmitt. 2022. Restoring rivers and floodplains for habitat and flood risk reduction: Experiences in multi-benefit floodplain management from California and Germany. – *Frontiers in Environmental Science*, 9: 778568. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2021.778568>.
- Stein, B. A., L. S. Kutner & J. S. Adams (eds.). 2000. *Precious Heritage: The Status of Biodiversity in the United States*. – Oxford University Press, New York, 416 S.

- Vörösmarty, C. J., P. B. McIntyre, M. O. Gessner, D. Dudgeon, A. Prusevich, P. Green S. Glidden, S. E. Bunn, C. A. Sullivan, C. R. Liermann & P. M. Davies. 2010. Global threats to human water security and river biodiversity. – *Nature*. 467(7315): 555–561. <https://doi.org/10.1038/nature09440>.
- Werner, I. 2023. Risiken und Effekte von Mikroschadstoffen auf aquatische Organismen. – In: Bayer. Akademie der Wissenschaften (Hrsg.): *Gefährdung und Schutz von Oberflächengewässern*. Pfeil, München: 43–56.