

Deutscher Rat für Landespflege

Kompensation von Strukturdefiziten in Fließgewässern durch *Strahlwirkung*

Zusammenfassung: Die Ergebnisse gezielter Untersuchungen der Gewässerstruktur im Einzugsgebiet der Ruhr und an Fließgewässern anderer Bundesländer deuten darauf hin, dass naturnahe Gewässerabschnitte eine positive Wirkung auf benachbarte, strukturell überprägte Gewässerabschnitte haben, also eine Zustandsverbesserung bewirken. Diese *Strahlwirkung* beruht auf der aktiven oder passiven Migration von Tieren und Pflanzen im Gewässer oder Gewässerumfeld. Sie indiziert den guten ökologischen Zustand oder das gute ökologische Potenzial im Sinne der EG-Wasserrahmenrichtlinie in einem Fließgewässerabschnitt durch die biologischen Qualitätskomponenten, obwohl die Gewässerstruktur (noch) nicht optimal ist.

Ausgangsbereich der *Strahlwirkung* ist ein naturnaher Gewässerabschnitt, der *Strahlursprung*, der sich durch eine dem Gewässertyp entsprechende stabile, arten- und individuenreiche Biozönose auszeichnet. Es handelt sich also grundsätzlich um Fließgewässerstrecken, die sich in sehr gutem oder gutem Zustand befinden. Elementar ist die vom Gewässertyp abhängige Mindestgröße des *Strahlursprungs* – sie muss über die Maßnahmenplanung gesichert werden. *Strahlursprünge* müssen nicht zwangsläufig im Hauptlauf des Fließgewässers lokalisiert sein: Unterhalb von Querbauwerken oder anderen Unterbrechungen des Fließgewässerkontinuums wirken vielfach einmündende Nebengewässer, Altwässer oder andere Gewässerbereiche (z. B. Bühnenfelder) als *Strahlursprung*. Der sich anschließende *Strahlweg* ist die Gewässerstrecke, auf der sich Organismen vom *Strahlursprung* ausgehend passiv oder aktiv fortbewegen. Eine Besiedlung ist auf dieser Strecke aufgrund von Strukturdefiziten kaum möglich – es findet lediglich eine Migration statt. *Trittsteine*, also kleine, strukturreiche Gewässerabschnitte mit guten Habitateigenschaften, können zumindest zeitweise besiedelt werden und verlängern so den *Strahlweg*. Die *Strahlwirkung* kann das Mehrfache der Ausdehnung eines *Strahlursprungs* betragen.

Noch bestehende Wissenslücken zur *Strahlwirkung* sind durch eine weitere Vertiefung der Grundlagen- und anwendungsorientierten Forschung zu schließen, um die fundierte Weiterentwicklung des fachlichen Regelwerks zu unterstützen.

Gewässerentwicklung im ökologischen Sinn und im Sinne der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie kann keine sektorale Aufgabe sein, sondern ist in die Planungsprozesse der Raumordnung, der Landespflege und des Städtebaus einzubinden. Dabei sind Renaturierungsmaßnahmen für Gewässer neu auszurichten: statt der derzeitigen isolierten Betrachtung einzelner Gewässerabschnitte müssen benachbarte Gewässerabschnitte oder Wasserkörper mitberücksichtigt werden. Dem entsprechend regt der DRL an, die Maßnahmen nach Kenntnis der funktionalen Zusammenhänge des Fließgewässerökosystems und nach dem Maximalprinzip der Ökonomie durchzuführen und liefert umsetzungsorientierte Vorschläge zur räumlichen Dimensionierung von Maßnahmen.

Durch die Kenntnis und Nutzung der *Strahlwirkung* kann die Umsetzung der EG-Wasserrahmenrichtlinie wesentlich kosteneffizienter gestaltet werden. Gezielte, räumlich begrenzte Maßnahmen zur Ausdehnung und Vernetzung von Lebensräumen und eine darauf ausgerichtete Gewässerunterhaltung können zur flächendeckenden Verbesserung des ökologischen Zustands führen. Der Mitteleinsatz kann optimiert werden, indem die Maßnahme im umzugestaltenden Abschnitt auf die erforderliche Mindestgröße zur Aktivierung der *Strahlwirkung* beschränkt bleibt, wenn ergänzend unterstützende Maßnahmen (z. B. Wegnahme von Barrieren oder Hinzufügen von *Trittsteinen*) auf dem *Strahlweg* im Fließgewässersystem umgesetzt werden.

Sogar „harte Restriktionsbereiche“ sind demnach möglicherweise für eine Verbesserung des ökologischen Zustands zugänglich, indem ein hierauf wirkender *Strahlursprung* geschaffen oder verbessert wird und im betrachteten Restriktionsbereich Elemente für den *Strahlweg* eingebracht werden.

1 Anlass und Ziel

Die Grundsätze der Wasserwirtschaft sind seit 1957 im Wasserhaushaltsgesetz niedergelegt, das seitdem mehrfach novelliert und aktuellen Bedürfnissen und Rahmenbedingungen angepasst wurde.

In der 6. Novelle von 1996 wurde der § 1 a (1) auf einen umfassenden Gewässerschutz ausgerichtet: „Die Gewässer sind als Bestandteil des Naturhaushaltes und als

Lebensraum für Tiere und Pflanzen zu sichern. Sie sind so zu bewirtschaften, dass sie dem Wohl der Allgemeinheit und im Einklang mit ihm auch dem Nutzen einzelner dienen und vermeidbare Beeinträchtigungen ihrer ökologischen Funktionen unterbleiben“ (WHG 1996). Mit dieser Formulierung erhielt die Sicherung der ökologischen Funktionsfähigkeit der Fließgewässer schon frühzeitig einen dominanten Stellenwert in der nationalen Gewässerschutzpolitik. Die Gewässerschutzpolitik der eu-

ropäischen Gemeinschaft wurde mit der EG-Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) neu ausgerichtet (EG 2000). Die WRRL sieht die Gewässer mit ihrem Einzugsgebiet als eine Einheit an, deren Bestandteile Grundwasser, Oberflächenwasser, Übergangs- und Küstengewässer in enger Wechselwirkung stehen. Damit werden stärker als bisher die ökologische Funktion der Gewässer als Lebensraum für unterschiedliche Pflanzen und Tiere betrachtet sowie Ziele des Naturschutzes einbezogen.

Die WRRL gibt als Ziel vor, dass bis 2015 für alle Oberflächengewässer ein guter ökologischer und chemischer Zustand bzw. für erheblich veränderte und künstliche Wasserkörper ein guter chemischer Zustand und ein gutes ökologisches Potenzial erreicht werden müssen. Maßgebliche Kriterien für die Beurteilung des Gewässerzustandes sind vor allem die Gewässerfauna und -flora. Das Ergebnis der von der WRRL vorgeschriebenen Bestandsaufnahme weist für Deutschland aus, dass dieses Ziel nach derzeitigem Stand bei weniger als 5 % der Gewässer erreicht wird (LAWA 2004, BMU 2005). Bis 2009 sind Bewirtschaftungspläne und Maßnahmenprogramme aufzustellen, um die von der WRRL gesetzte Zielvorgabe zu erfüllen.

Sowohl hinsichtlich der Zustandsbewertung als auch der erforderlichen Maßnahmen, deren Konkretisierung und Finanzierung bestehen Unsicherheiten und methodische Defizite. Darüber hinaus sind die Vorgaben der WRRL zur Mitberücksichtigung von Umwelt- und Ressourcenkosten, zur wirtschaftlichen Analyse und Kostendeckung und zur kosteneffizienten Maßnahmenkombination noch weitgehend offen – zumindest in ihrer praktischen Anwendung. Die WRRL fordert ausdrücklich, dass sich die Auswahl von Maßnahmen zur Beseitigung von Defiziten an Gewässern bzw. Verbesserung des Gewässerzustands auch an der Kosteneffizienz orientiert. Dabei ist die Berücksichtigung wirtschaftlicher Rahmenbedingungen für die Erreichung der anspruchsvollen Ziele der WRRL unerlässlich und erfordert eine Auswahl der wirtschaftlich günstigsten Instrumente und Maßnahmen. Es gilt folglich, in einem durchaus zeitkritischen Prozess das vorhandene Fachwissen, die bisherigen Erfahrungen und die Handlungsoptionen zu bündeln und in den Umsetzungsprozess einfließen zu lassen.

Methodische Überlegungen und gezielte Auswertungen nach der Methode AQEM/PERLODES (für die benthischen Makroinvertebraten¹) in Verbindung mit Erhebungen der Struktur an Gewässern im Einzugsgebiet der Ruhr deuten darauf hin, dass naturnahe Gewässerabschnitte eine Wirkung auf benachbarte, strukturell überprägte Gewässerabschnitte im Sinne einer Zustandsverbesserung aufweisen (STENDER 2005).

Ausgehend vom derzeitigen Wissensstand untersuchte der Deutsche Rat für Landespflege (DRL) im vorliegenden, vom Ministerium für Umwelt und Naturschutz,

Landwirtschaft und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen sowie der Lennart-Bernadotte-Stiftung finanziell geförderten Projekt, wie im Sinne einer *Strahlwirkung* Gewässerbiozönosen in Restriktionsbereichen entkoppelt von einer lückenlosen Strukturverbesserung in dem betreffenden Bereich entwickelt werden können. So könnten gezielte Maßnahmen zur Zustandsverbesserung auf der Grundlage funktionaler ökosystemarer Zusammenhänge über den Ort der eigentlichen Maßnahme hinaus wirken und einen Beitrag zur Kosteneffizienz leisten. Damit soll die Anwendbarkeit des Naturschutzmodells „Trittsteinkonzept“ auf die *Strahlwirkung* von Maßnahmen an Fließgewässern als Parallele zum Biotopverbund geprüft werden.

In Nordrhein-Westfalen sind insbesondere Fließgewässerlandschaften des Tieflandes und des Mittelgebirges vorhanden. Um die regionalspezifischen Fragestellungen bearbeiten zu können, wurden zunächst drei öffentliche Experten-Workshops (in Essen, Münster und an der Möhnetalsperre) durchgeführt, anlässlich derer die „Unter-Regionen“ in Kurzvorträgen vorgestellt und Beobachtungen in Bezug auf mögliche *Strahlwirkungen* diskutiert wurden. Ferner wurden Erfahrungsberichte aus Baden-Württemberg, Hessen, Niedersachsen, Rheinland-Pfalz, Thüringen und aus dem Nachbarland Österreich in die Diskussion einbezogen.:

Workshop 1, Ruhrverband Essen am 14. Dezember 2006

Prof. Dr. Günther FRIEDRICH:
Grundlagen - Mechanismen in Fließgewässern

Dipl.-Biol. Jochen LACOMBE:
Die Fließgewässerlandschaften Nordrhein-Westfalens - Besonderheiten der Mittelgebirge

Dr. Hannes SCHIMMER:
Die Fließgewässerlandschaften Nordrhein-Westfalens - Besonderheiten im Tiefland

Prof. Dr. Michael REICH:
Bedeutung der *Strahlwirkung* in Fließgewässern für den Naturschutz in Zusammenhang mit Biotopverbund- und Trittsteinfunktion

Dr. Uwe KOENZEN:
Erfolgskontrolle von Maßnahmen zur naturnahen Entwicklung von Fließgewässern - Hinweise für gezielte Maßnahmen zur Kompensation von Strukturdefiziten unter Berücksichtigung der *Strahlwirkung*

Dr. Petra PODRAZA:
Strahlwirkung in Fließgewässern - erste Herleitungen aus vorliegenden Untersuchungen und Empfehlungen zur Methodik weitergehender Auswertungen

Dr. Cornelia SCHÜTZ:
Strahlwirkung von strukturell intakten Fließgewässerabschnitten im Hinblick auf die Fischfauna

Workshop 2, Gut Havichhorst in Münster am 29. März 2007

Prof. Dr. Günther FRIEDRICH:
Anforderungen an Oberflächengewässer - Bedeutung und Bewertung der biologischen Qualitätskomponenten für die Zielvorgaben im Gewässerschutz

Martin HALLE:
Flächenbedarf von Fließgewässern des Tieflandes

Dr. Klaus van de WEYER:
Makrophyten in Fließgewässern des Tieflandes - Mögliche Maßnahmen zur Initiierung der *Strahlwirkung*

Dr. Armin LORENZ:
Fließgewässerrenaturierung im Tiefland - Wiederbesiedlung und potenzielle *Strahlwirkung* am Beispiel des Makrozoobenthos

Dr. Margret BUNZEL-DRÜKE, Olaf ZIMBALL & Dr. Cornelia SCHÜTZ:
Untersuchungen zum Einfluss naturnah umgestalteter Gewässerabschnitte auf die Fischfauna ausgebaute Bereiche

Ulrich DETERING:
Renaturierungsprojekte an der Lippe – Ergebnisse und Einschätzungen aus den Erfolgskontrollen

Thomas LUCKER:
Wirkungen von Renaturierungsmaßnahmen am Beispiel des Ise-Projekts

Dr. Mario SOMMERHÄUSER & Rudolf HURCK:
Aufbau des Arteninventars in isolierten, renaturierten Gewässerabschnitten im städtischen Bereich

Prof. Dr. Elisabeth MEYER:
Wiederbesiedlung sommertrockener Gewässer - Hinweise zu Mechanismen und Potenzialen der *Strahlwirkung*

¹ Wichtige Fachbegriffe sind im Glossar auf S. XX erläutert

Workshop 3, Möhnesee am 6. Juni 2007

Dr.-Ing. Thomas GRÜNEBAUM:
Strahlwirkung, was ist das? - Ansätze für eine Definition

Thomas HÜBNER:
Die Biotopverbundplanung am Rhein

Heike POPP & Gottfried LEHR:
Erfolgsbewertung von Renaturierungsprojekten in Hessen

Dr. Falko WAGNER & Dr. Jens ARLE:
Korrelationen zwischen ökologischem Zustand und Gewässerstruktur und Hinweise auf eine mögliche Strahlwirkung

Andreas SCHATTMANN:
Einschätzungen zu den Anforderungen an Strahlquellen

Andreas MELCHER: Wie viele km Verbesserung sind für den „guten Zustand“ erforderlich? - Bericht aus einem Projekt zur Fischfauna

Dr. Andreas HOFFMANN:
Erschließung größerer Gewässerabschnitte für die Fische im Mittelgebirge

Dr. André NIEMANN & Dr. Uwe KOENZEN:
Unterstützung der Strahlwirkung bei Maßnahmen an Fließgewässern im Zusammenhang mit der Regenwasserbehandlung

Dr. Gerhard SCHABER-SCHOOR:
Auswirkungen der Flößerei auf das Potenzial eines Mittelgebirgsbaches zur Kompensation von hydromorphologischen Defiziten.

Das Vorhaben wurde von einem aus den Ratsmitgliedern Prof. Dr. Günther FRIEDRICH, Dr. Thomas GRÜNEBAUM (verantwortlich), Prof. Dr. Werner KONOLD, Prof. Dr. Helmut MEUSER, Prof. Dr. h. c. Johann SCHREINER, sowie den Mitarbeiterinnen der Geschäftsstelle Dipl.-Biol. Ute BORCHERS und Dipl.-Ing. Angelika WURZEL zusammengesetzten Arbeitsausschuss begleitet. Der Arbeitsausschuss wertete die Vorträge und Diskussionen der Workshops sowie eine Befragung von Experten des 2. und 3. Workshops zur Abschätzung von Strahlwirkungen aus, führte weitere Literaturrecherchen durch und bereitete den Entwurf der nachfolgenden Stellungnahme vor, die vom Plenum des Rates nach eingehender Diskussion am 13. November 2007 in Essen verabschiedet wurde.

2 Das Konzept „Biotopverbund“

Als zu Beginn der 1980er Jahre auch der Deutsche Rat für Landespflege für den Aufbau eines integrierten Schutzgebietsystems mit großflächigen Schwerpunkten und Vernetzungselementen (Bandstrukturen, Trittsteinen) als Vorläufer eines Biotopverbunds plädierte, geschah dies auf der Grundlage des damals noch recht jungen § 1 Bundesnaturschutzgesetz (BNatSchG) von 1976, nämlich dass Naturschutz und Landschaftspflege auf der gesamten Landesfläche durchzuführen seien. Der Gedanke war, dass Schutzgebiete nicht zufällig verteilt im Land liegen, sondern einander so zugeordnet sein sollten, dass eine funktionale Vernetzung zwischen Populationen in Form von Beziehungssystemen ermöglicht wird, um Lebensräume zu erhalten und den Bestand sowie die Ausbreitung von Arten in den für sie geeigneten Lebensräumen über die gesamte Landesfläche sicherzustellen. Als Definition für ein integriertes Schutzgebiet sollte demnach gelten: „Ein integriertes Schutzgebietssystem ist ein zu entwickelndes Netz von Schutzgebieten, das aus allen naturraumspezifischen Biotopen in ausreichender Größe und in ökologisch funktionaler Verteilung im Raum besteht, unterschiedliche Schutzgebietskategorien umfasst und in dem die Schutzgebiete über spezifische naturnahe Landschaftstrukturen miteinander verbunden sind“ (DRL 1983, S. 6).

Nach heutiger Definition (aus BURCKHARDT et al. 2004, S. 8, 9) beschreibt der Begriff „Biotopverbund“ die Erhaltung, die Entwicklung und die Wiederherstellung der räumlichen Voraussetzungen und funktionalen Beziehungen in

Natur und Landschaft mit dem Ziel, Tiere, Pflanzen, ihre Lebensgemeinschaften und Lebensräume langfristig zu sichern. Die räumlichen Voraussetzungen beziehen sich auf die Sicherung und Bereitstellung von Flächen für ein funktional zusammenhängendes „Netz“, das landschaftstypische Lebensräume und Lebensraumkomplexe einbindet und das den Auswirkungen räumlicher Verinselung entgegenwirkt. Die funktionalen Beziehungen in einer Landschaft umfassen das ganze Spektrum ökologischer Prozesse, die das Vorkommen, die Verbreitung und das Verhalten von Lebensgemeinschaften von Tier- und Pflanzenarten bestimmen und beeinflussen. Dazu gehören sowohl die abiotischen Standortfaktoren wie Boden, Wasser, Klima/Luft, als auch biotische Einflussgrößen wie Nahrungsbeziehungen, Vermehrungs- und Anpassungsstrategien der Arten und Lebensgemeinschaften sowie der Einfluss des Menschen. Dabei sind nicht mehr nur die naturbetonten Lebensräume zu einem funktionsfähigen Gesamttraum zu vernetzen, sondern es sind auch solche Kulturbiotop unter dem Aspekt des Biotopverbundes zu behandeln, die eine wichtige Lebensraum- oder Verbundfunktion für die heimische Tier- und Pflanzenwelt haben. Tier- und Pflanzenpopulationen sind, beispielsweise bei sich ändernden Klimabedingungen, i. d. R. nur dauerhaft überlebensfähig, wenn die Möglichkeit reger Austausch-, Ausbreitungs- und Wanderungsbewegungen besteht. Der Prozess der Selbstregulierung zum Erhalt einer stabilen Metapopulation erfordert ein ausreichendes Angebot an Nahrungs-, Rückzugs- und Regenerationsbereichen, aber auch Ausweich- und Reservehabitaten, die in überbrückbarer Distanz zueinander liegen (STERNBERG 1995). Besonders wichtig für den Fortbestand einer Metapopulation sind einige stabile Lokalpopulationen (JEDICKE 1994).

Arten und ihre Lebensgemeinschaften besiedeln Landschaften entsprechend ihrer spezifischen Anforderungen an deren Ausstattung und Struktur. Diese beziehen sich einerseits auf die Qualität der Fläche an sich, die wesentlich durch die Flächengröße, die Ausprägung der Biotope (Bodenverhältnisse), die Vollständigkeit der Biotopkomplexe und ihre Unzerschnittenheit bestimmt wird. Andererseits beziehen sie sich auf die Lage im Raum, von der abhängt, ob ein Gebiet bzw. eine Fläche als Teil einer Verbundachse oder aufgrund seiner räumlichen Nähe zu anderen Gebieten als sonstige Verbindungsfläche oder –element einen Beitrag zum Biotopverbund leisten kann.

Beispiele für Biotopverbünde sind europaweit:

- Natura 2000 (Ökoplan Bonn/ Brandenburg (Hg.) 1997); länderübergreifend
- das „Grüne Band“, die ehemalige innerdeutsche Grenze (BfN 2007)
- der Biotopverbund Rhein (IKSR 2006, HÜBNER in diesem Heft)
- in weitem Sinn das Projekt „Lebendiger Rhein - Fluss der 1000 Inseln“ des NABU (www.lebendiger-rhein.de).

Daneben gibt es in allen Bundesländern regionale und lokale Biotopverbünde.

Die Idee und die Notwendigkeit des Aufbaus von Biotopverbänden auf unterschiedlichen Ebenen hat sich wissenschaftlich und praktisch durchgesetzt und ist Grundlage der Planung geworden. Der Aufbau eines länderübergreifenden Biotopverbands, der mindestens 10 % der Landesfläche umfassen soll, ist mit der Novellierung 1998 Ziel des Bundesnaturschutzgesetzes geworden (§ 3 BNatSchG). Im Bereich der Land-, Forst- und Fischereiwirtschaft werden die Länder im § 5 (3) BNatSchG verpflichtet, eine regionale Mindestdichte von zur Vernetzung von Biotopen erforderlichen linearen und punktförmigen Elementen (Saumstrukturen, insbesondere Hecken und Feldraine sowie Trittsteinbiotope) festzusetzen und geeignete Maßnahmen (planungsrechtliche Vorgaben, langfristige Vereinbarungen, Förderprogramme oder andere Maßnahmen) zu ergreifen, falls diese Mindestdichte unterschritten ist und solche Elemente neu einzurichten sind.

Das Konzept des Biotopverbands mittels *Trittsteinen* betrifft grundsätzlich auch die Fließgewässerökosysteme (siehe Beiträge von REICH und HÜBNER in diesem

Heft). In diesem Zusammenhang liegt der Schwerpunkt der Betrachtung zur Kompensation von Strukturdefiziten an Fließgewässern bei der möglichen *Strahlwirkung* von räumlich begrenzten Maßnahmen der Gewässerrenaturierung.

3 Definition des Begriffs *Strahlwirkung*

Strahlwirkung ist das Ergebnis des Prozesses der aktiven oder passiven Migration von Tieren und Pflanzen mit überwiegend hoher (Dispersions-)Dynamik aus dauerhafter Besiedlung im Gewässer oder Gewässerumfeld.

Strahlwirkung bezeichnet das Phänomen der Indikation des guten ökologischen Zustands oder Potenzials in einem Fließgewässerabschnitt durch die biologischen Qualitätskomponenten, ausgehend von benachbarten, direkt oder indirekt angebundenen Gewässerabschnitten in gutem oder sehr gutem Zustand. Dies gilt in dem betrachteten Abschnitt eines Fließgewässers auch für strukturelle Merkmale, die vom gewässertypbezogenen Leitbild abweichen. Anstelle des guten ökologi-

schen Zustands oder Potenzials kann eine *Strahlwirkung* auf einen benachbarten Gewässerabschnitt dort jedoch auch einen lediglich deutlich verbesserten biologischen Zustand eines morphologisch defizitären Gewässerabschnitts bewirken. Auch das stellt einen großen Nutzen für das Gewässer dar.

Hingegen ist auch das Phänomen zu beobachten, das trotz guter struktureller Merkmale kein ökologisch guter Zustand besteht, weil Störungen des Gewässerzustands bzw. der Lebensräume in benachbarten Gewässerabschnitten die ökologische Funktionalität beeinträchtigen, z. B. durch Barrierewirkungen von Stauanlagen oder übermäßigen Feststoffeintrag (negative *Strahlwirkung*). Die folgenden Ausführungen beziehen sich auf die positiven Aspekte der *Strahlwirkung*.

Die *Strahlwirkung* kann eine Erklärung dafür liefern, dass die lokale Besiedlungsstruktur und die daraus abgeleitete Bewertung des ökologischen Zustands anders ist, als nach den örtlichen hydromorphologischen Bedingungen zu erwarten wäre. Die örtlichen angepassten Le-

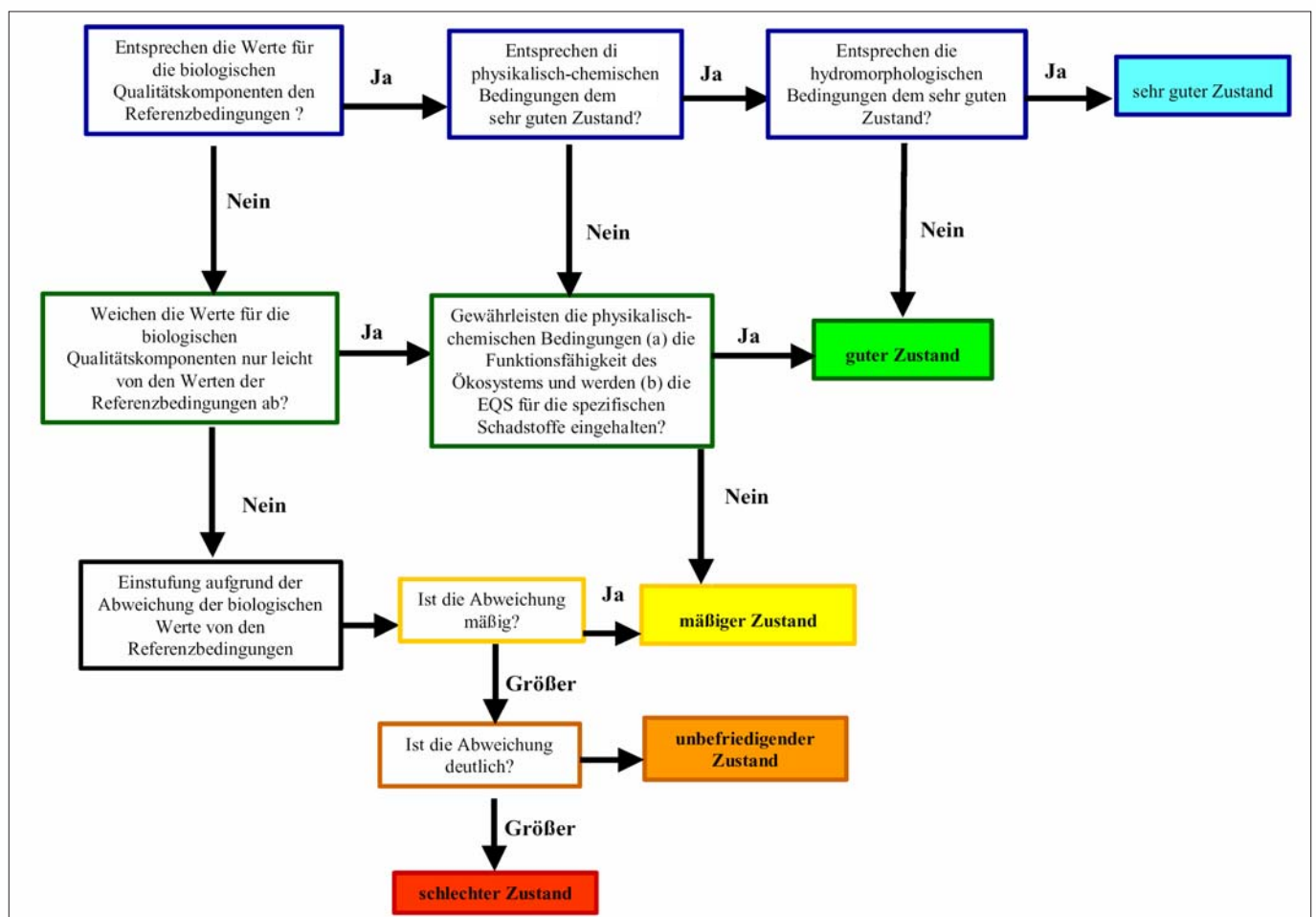


Abb. 1: Zusammenspiel biologischer, chemischer und hydromorphologischer Qualitätskomponenten bei der Klassifizierung des ökologischen Zustands (aus: IRMER, U. & RECHENBERG, B. 2006). EQS = Environmental Quality Standard.

bensgemeinschaften sind dabei immer im Zusammenhang mit der Zu- und Abwanderung der Organismen aus angrenzenden Lebensräumen zu sehen.

Es geht demnach um eine Differenzierung zwischen der letztlich entscheidenden Bewertung des ökologischen Zustands bzw. Potenzials anhand biologischer Qualitätskomponenten und den strukturellen Merkmalen des Gewässers. Dabei stehen Gewässerstruktur und ökologischer Zustand eines Gewässers zwar in einem kausalen Zusammenhang; die funktionalen Zusammenhänge von Fließgewässern sind aber sehr komplex. Praktisch bedeutet dies, dass zur Erreichung des guten Zustandes die morphologischen Merkmale von denen des Referenzzustandes abweichen können.

Der Gewässerzustand wird auf Basis der verschiedenen Qualitätskomponenten und Randbedingungen schrittweise bewertet (Abb. 1).

Für die Bewertung der Fließgewässer sind nach der WRRL folgende biologische Elemente heranzuziehen: Phytoplankton, Makrophyten und Phytobenthos, Makrozoobenthos, Fische.

Die biologischen Qualitätskomponenten zeigen in Fließgewässern unterschiedliche Defizite an (siehe Kasten). Deshalb werden sie gemeinsam zur Bewertung des ökologischen Zustands herangezogen (Abb. 1; vgl. auch MELCHER in diesem Heft).

- Fische indizieren: Degradation großräumiger Strukturen, Versauerung, mangelnde Durchgängigkeit, Abflussveränderungen (z. B. Aufstau, Entnahme, Ausleitung), thermische Belastungen;
- Makrozoobenthos indiziert: Saprobie, Versauerung, Degradation kleinräumiger Strukturen;
- Makrophyten/Phytobenthos indizieren: Trophie, strukturelle Degradation, Versauerung, Versalzung; Degradation kleinräumiger Strukturen;
- Phytoplankton indiziert: Trophie, Verweilzeit des Wassers.

Anmerkung: Pflanzen indizieren einen Trophiestatus. Nährstoff selbst wird nicht angezeigt, z. B. wachsen bei extremer Beschattung keine Wasserpflanzen trotz hoher Nährstoffkonzentrationen.

Für die biologischen Qualitätskomponenten sind in der WRRL keine europaweit einheitlichen Bewertungsverfahren festgeschrieben. Diese werden auf nationaler Ebene entwickelt. Vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF), der Bund-/Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA), dem Umweltbundesamt (UBA) und mehreren Bundesländern wurden in den letzten Jahren verschiedene Forschungsvorhaben gefördert, deren Ergebnisse die Grundlage für die Praxiserprobung durch die Länder sind. Auf deren Grundlage erfolgte bzw. erfolgt die deutschlandweite Standardisierung der Bewertung der Fließgewässer nach den Vorgaben der WRRL. Gleichzeitig wird auf europäischer Ebene beim CEN (Comité Européen de Normalisation = Europäische Normungsorganisation) die Vereinheitlichung der Untersuchungsmethoden und Bewertungsverfahren vorangetrieben.

Strahlwirkung bezieht sich nicht auf Einzelorganismen, sondern immer auf Lebensgemeinschaften mit entsprechenden Abundanzen und Altersstrukturen der beteiligten Arten. Zudem bewirkt sie nicht in jedem Fall einen stabilen, sich selbst reproduzierenden Bestand der relevanten Organismen in dem betrachteten Gewässerabschnitt, wenn die artspezifischen Habitatansprüche hinsichtlich der strukturellen Merkmale nicht in voller Ausprägung oder nicht für den gesamten Lebenszyklus gegeben sind. Hinreichende stoffliche und hydrologisch/hydraulische Bedingungen sowie die Anbindung an die Gewässerabschnitte in gutem oder sehr gutem Zustand sind grundsätzlich notwendige Voraussetzungen für die arten- und individuenmäßig ausreichende Ausbreitung der Fließgewässerorganismen. Oftmals ist aufgrund struktureller Defizite für die Organismen in einem Gewässerabschnitt die quasi-dauerhafte Besiedlung nur infolge des ständigen oder periodischen Eintrags festzustellen. Ohne diese wäre der Bestand rückläufig und möglicherweise nach einigen Generationszeiten ausgestorben. Bei aktiv wandernden Organismen (insbesondere Fischen) ist ein solcher Gewässerabschnitt möglicherweise lediglich eine reine Verbindungsstrecke zwischen Habitaten ohne sonstige Bedeutung im Lebenszyklus. Trotzdem trägt auch dies im gesamten Gewässersystem aufgrund der Vernetzung von Biotopen wesentlich zu einer Verbesserung des ökologischen Zustands insgesamt bei. Dieser Umstand ist auch bei der Untersuchung dieser Gewässerabschnitte und ihrer Bewertung anhand von Indikatororganismen zu be-

achten. Inwieweit vor diesem Hintergrund eine Zustandsbewertung in diesen Abschnitten allein auf Grundlage der nachweisbaren Indikatororganismen eindeutig möglich ist, ob eine Korrektur oder Abwertung aufgrund der strukturellen Defizite angezeigt ist, bleibt auch der weiteren Entwicklung und den Anwendungserfahrungen mit den Methoden der ökologischen Gewässerbewertung vorbehalten. Gemäß EU-CIS-Leitfaden („ECOSTAT“) (EU 2003) können defizitäre morphologische Strukturen ohnehin nur zur Abwertung des biologischen Befundes von Qualitätsklasse „sehr gut“ auf „gut“ herangezogen werden (vgl. Abb. 1). Solange keine davon abweichenden nationalen oder supranationalen Regelungen vorliegen, bleibt daher als Basis für die Bewertung des ökologischen Zustands die Aussage der biologischen Untersuchung maßgebend.

Im Rahmen der Gewässerbewirtschaftung kommt der gezielten Nutzung der *Strahlwirkung* für eine flächendeckende Verbesserung des ökologischen Zustands große Bedeutung zu, insbesondere durch gezielte, räumlich begrenzte Maßnahmen zur Ausdehnung und Vernetzung von Lebensräumen und eine darauf ausgerichtete Gewässerunterhaltung.

Für die Abschätzung der *Strahlwirkung* sind zu berücksichtigen:

- die räumliche Verteilung der strukturellen Merkmale eines Gewässers oder Gewässersystems (Fließgewässerkontinuum),
- die vor allem jahreszeitlich geprägte hydrologisch/hydraulische und physikalisch-chemische Dynamik eines Fließgewässers,
- anthropogene Eingriffe in das Wassermengenregime (Abfluss, Fließgeschwindigkeit, Wasserstand etc.) und den Stoffhaushalt (Inhaltsstoffe, chemisch-physikalische Parameter),
- Kolmatierung der Gewässersohle,
- biologische Prozesse, z. B. Ausbreitung invasiver Arten.

4 Grundlagen

4.1 Die Fließgewässertypen in Nordrhein-Westfalen

In Nordrhein-Westfalen und danach in Deutschland wurde für die Strukturkartierung der Fließgewässer eine Typisierung erarbeitet (LUA NRW 1999, 2001). Sie dient jetzt als eine Grundlage für

die Umsetzung der WRRL (vgl. auch SCHIMMER und LACOMBE in diesem Heft). Dazu wurden zunächst aus der Verknüpfung von Geologischen Karten und Bodenkarten Fließgewässerlandschaften als homogene Landschaftsräume bestimmt, in denen u. a. aufgrund ähnlicher geologischer, hydrologischer, klimatischer und biologischer Voraussetzungen ähnliche Gewässer zu erwarten sind.

Von den 25 natürlichen Gewässerlandschaften Deutschlands sind in Nordrhein-Westfalen zehn vorhanden (Tab. 1). Besonders große Anteile haben die Fließgewässerlandschaften des „Silikatischen Grundgebirges“ mit einem Flächenanteil von 27,7 % und die „Fließgewässerlandschaften der Niederungsgebiete“ mit 21,3 %. Mittlere Flächenanteile nehmen die Fließgewässerlandschaften der Sand-

, Löss- und Verwitterungsgebiete ein mit jeweils etwa 12 % (LUA 2002; BRIEM et al. 2004).

Der „Fließgewässertyp“ ist eine Abstrahierung der individuellen Ausprägung der Bäche und Flüsse anhand morphologischer, physikalisch-chemischer, hydrologischer und biozönotischer Merkmale. Wenn, wie z. T. der Fall, für einen Gewässertypus kein Referenzgewässer gefunden wurde, wurde er mit Hilfe von Merkmalselementen von mehreren verwandten Gewässern rekonstruiert. Hierbei flossen auch Merkmale ein, die sich in der Vergangenheit durch menschliche Einflüsse ergaben und die irreversibel sind, so z. B. die Auenlehmbildung. Der Fließgewässertyp als Referenz gemäß WRRL ergibt sich demnach aus dem aktualistischen Ansatz des „heutigen potenziell natürlichen Gewässerzustands“

(hpnG) – vergleichbar mit dem Konzept der heutigen potenziell natürlichen Vegetation (hpnV) – und entspricht daher oft nicht dem heutigen realen Zustand. Für die in Nordrhein-Westfalen vorhandenen Typen wurden Leitbilder entwickelt und zusammen mit Referenzstrecken festgeschrieben. Von den 22 Fließgewässertypen deutschlandweit sind in Nordrhein-Westfalen 19 vorhanden (Tab. 1).

4.2 Wirkmechanismen und Wiederbesiedlungspotenzial

Strahlwirkung hängt im Wesentlichen von dem (Wieder-)Besiedlungspotenzial eines Gewässerabschnitts ab. Der Begriff Wiederbesiedlungspotenzial von Fließgewässern umfasst als Oberbegriff alle Faktoren, die zur (Wieder-)Besiedlung von durch natürliche Störungen/Ereignisse oder menschliche Einwirkungen veröde-

Tab. 1: Fließgewässerlandschaften Nordrhein-Westfalens mit den häufigsten, darin vorkommenden Fließgewässertypen, ihren Gesamt-Lauflängen und ihrem Anteil in der jeweiligen Landschaft (FGL). Fließgewässertypen mit einem Anteil unter 5 % sind nicht aufgeführt (LUA 2002, S. 21, 23, ergänzt durch POTTGIESSER (schriftl.): Übersetzungsschlüssel der NRW und aktuellen Typen Deutschlands ohne Stromtypen (Stand Nov. 2006)).

Fließgewässerlandschaft (FGL) - NRW -	Landesfläche [km ²]	Landesfläche [%]	Fließgewässertypen (FGT) - NRW -	FGT - BUND -	Fließlänge in NRW [km]	%-Anteil in FGL
Tiefland						
Sandgebiete	4.169	12,2	• Sandgeprägtes Fließgewässer der Sander und sandigen Aufschüttungen	14	2.241	78,1
			• Kiesgeprägtes Fließgewässer der Verwitterungsgebiete, Flussterrassen und Moränengebiete	16	238	8,3
			• Organisch geprägtes Fließgewässer der Sander und sandigen Aufschüttungen	11	147	5,1
Verwitterungsgebiete, Flussterrassen und Moränengebiete	3.956	11,6	• Kiesgeprägtes Fließgewässer der Verwitterungsgebiete, Flussterrassen und Moränengebiete	16	1.759	58,8
			• Sandgeprägtes Fließgewässer der Sander und sandigen Aufschüttungen	14	670	22,4
			• Lösslehmgeprägtes Fließgewässer der Börde	18	387	12,9
Lössgebiete	3.752	11,0	• Lösslehmgeprägtes Fließgewässer der Börde	18	1.552	84,0
			• Kiesgeprägtes Fließgewässer der Verwitterungsgebiete, Flussterrassen und Moränengebiete	16	130	7,0
Niederungsgebiete	7.292	21,3	• Fließgewässer der Niederungen	19	8.303	99,6
Mittelgebirge						
Silikatisches Grundgebirge	9.444	27,7	• Kleiner Talauenbach im Grundgebirge	5	5.359	49,9
			• Kerbtalbach im Grundgebirge	5	4.138	38,5
			• Großer Talauenbach im Grundgebirge	5	1.092	10,2
Schwach-karbonatisches Deckgebirge	2.566	7,6	• Kleiner Talauenbach im Deckgebirge	6/5.1	1.872	75,2
			• Großer Talauenbach im Grundgebirge	6/5.1	417	16,8
			• Muschelkalkbach	7	125	5,0
Verkarstete Kalkgeb.	1.795	5,3	• Karstbach	7	722	99,2
Muschelkalkgebiete	683	2,0	• Muschelkalkbach	7	348	98,5
Vorland des Silikatischen Grundgebirges	271	0,8	• Colliner Bach	5.1	269	93,7
Vulkangebiete	71	0,2	• Bach der Vulkangebiete	5	0,2	99,4

ten Gewässerstrecken erforderlich sind. Diese Faktoren sind: biotisches Potenzial, Habitatpotenzial und aquatisches Potenzial.

Biotisches Potenzial

Das biotische Potenzial beruht auf:

- Organismen, die an Ort und Stelle in Refugialräumen als Restpopulationen überlebt haben;
- Organismen, die im Ober- oder Unterstrom sowie in Nebengewässern stabile Bestände bilden und von dort aktiv oder passiv in den betrachteten Gewässerabschnitt gelangen können (Abb. 2);
- Organismen, die über kurze oder weite Entfernung aus anderen Gewässern aktiv oder passiv (Ausbreitung, Verdriftung oder über den Lufttransport durch Vögel oder Wind) in die betrachtete Strecke gelangen können (SOMMERHÄUSER & HURCK in diesem Heft).

Je nach Erreichbarkeit verödeter Strecken und der Standortansprüche der verschiedenen Arten ist ihr Potenzial unterschiedlich hoch. Sehr hoch ist es z. B., wenn im Oberstrom des betrachteten Gewässerabschnittes die entsprechenden Arten stabile Bestände bilden und sie sich leicht aktiv oder passiv ausbreiten. Als sehr gering ist es einzuschätzen, wenn im weiten Umkreis die betreffende Art verschollen oder ausgestorben ist. Das biotische Potenzial der von Natur aus seltenen, vielfach aber hoch indikativen Arten kann nur schwer eingeschätzt werden.

Habitatpotenzial

Das Habitatpotenzial ergibt sich aus den morphologischen Strukturen des Gewässerbettes einschließlich der aquatischen Makrophyten:

- Substratbeschaffenheit und seine Lagerungsbeständigkeit;
- geeignete (typspezifische) Strukturdiversität;
- Ausprägung von Uferstrukturen und ihre Längsdurchgängigkeit.

Weiterhin sind zu nennen:

- Durchgängigkeit des Gewässersystems für die verschiedenen Arten, z. B. Behinderung durch Querbauwerke für Fische;
- laterale Anbindung an Gewässerelemente im Auenbereich sowie terrestrische Habitate;
- Beschaffenheit der Gewässersohle, insbesondere des hyporheischen Interstitials.

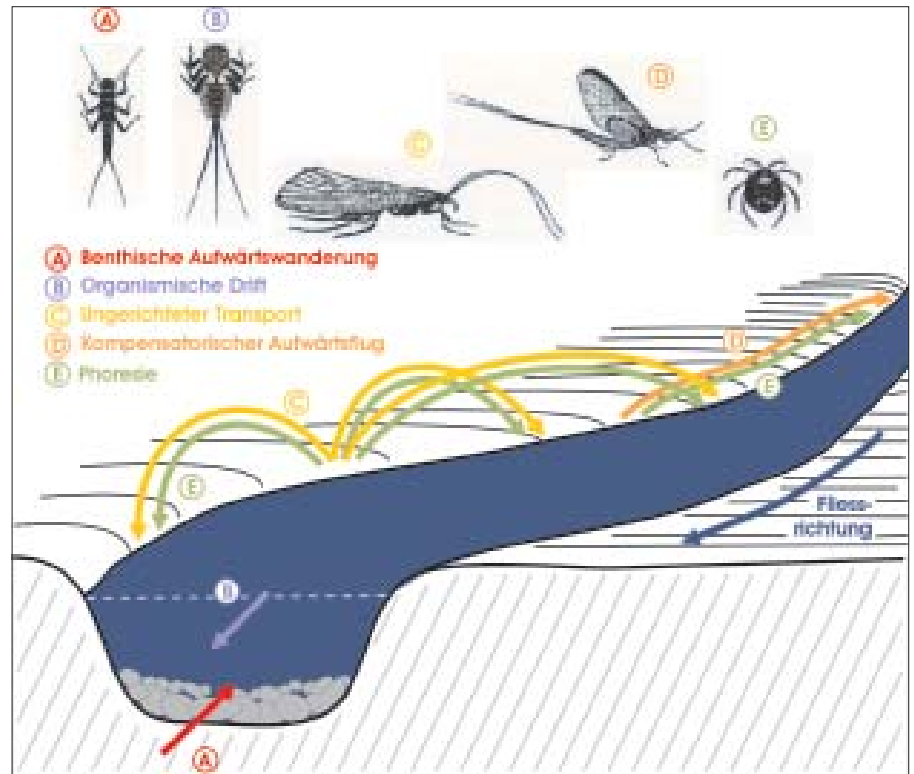


Abb. 2: Ausbreitungsstrategien der Organismen in Fließgewässern (geändert; nach CASPERS 1986, unveröffentlicht).

Der heutige Zustand des Habitatpotenzials der meisten Bäche, kleinen und großen Flüsse trägt wesentlich zu den biologischen Defiziten und damit zu den schlechten Einstufungen gemäß WRRL bei. Dabei spielt die Kolmatierung der Gewässersohle eine bisher vielfach unterschätzte Rolle.

Sichergestellt werden muss auch, dass die Sohle zum Anhaften bzw. Festhalten von Tieren, aber auch Makrophyten und benthischen Algen geeignet ist sowie bei Hochwasser für das Makrozoobenthos und vor allem die Jungfische Schutz in strömungsarmen Kleinräumen besteht.

Aquatisches Potenzial

Das aquatische Potenzial besteht aus der physikalisch-chemischen Beschaffenheit des Wassers und seiner hydrologischen und hydraulischen Charakteristik. Generell kann davon ausgegangen werden, dass in den allermeisten Fällen die Wasserbeschaffenheit der Fließgewässer in NRW ausreicht, den guten bis mäßigen Zustand nach der WRRL zu erreichen.

Das Wasserdargebot vieler Fließgewässer, nicht nur im Flachland, ist auf weiten Strecken infolge vorangegangener Entwässerungen des Umlandes sowie zahlreicher bestehender kleiner und großer Entnahmen z. B. für landwirtschaftliche oder gewerbliche Zwecke beeinträchtigt. So führen Störungen durch Aus- und Beileitungen nicht selten zum Trockenfallen bzw. zu übermäßiger Tiefenerosion.

5 Elemente und Aspekte der Strahlwirkung

5.1 Strahlursprung

Mit dem *Strahlursprung* wird der Ausgangsbereich einer *Strahlwirkung* bezeichnet. Hierbei handelt es sich um einen artenreichen und dem Gewässertyp entsprechend besiedelten Gewässerabschnitt, der eine Quellenfunktion im ökologischen Sinne für die jeweils betrachteten Organismen erfüllt (Abb. 3).

Strahlursprünge müssen nicht zwangsläufig im Hauptlauf der Fließgewässer vorhanden sein. Gerade unterhalb von Querbauwerken oder anderen Unterbrechungen des Fließgewässerkontinuums wirken vielfach einmündende Nebengewässer, Altgewässer oder andere Gewässerbereiche (z. B. Bühnenfelder) als *Strahlursprung*, wenn sie demselben oder einem ähnlichen Gewässertyp mit gemeinsamem Arteninventar angehören. Dies ist für die planerische Berücksichtigung der *Strahlwirkung* – und damit für die Zustandsverbesserung von Gewässern z. B. unterhalb von Unterbrechungen des Längskontinuums – von besonderer Bedeutung.

Strahlursprung und der sich anschließende *Strahlweg* sind stets im Zusammenhang zu betrachten. Die erforderliche Beschaffenheit und Größe eines Gewässerabschnitts für dessen Wirkung als *Strahl-*



Abb. 3: Elemente der Strahlwirkung und deren Ausprägung in der Laufform eines Fließgewässers.

ursprung ist wie die ansonsten notwendigen Merkmale und die biologische Ausstattung wesentlich vom Gewässertyp abhängig. Im Hinblick auf das Zusammenwirken von *Strahlursprung* und *Strahlweg* sollte die erforderliche Mindestgröße ermittelt und über die Maßnahmenplanung gesichert werden (vgl. auch SCHATTMANN in diesem Heft). Es bietet sich auch unter dem Kriterium der Kosteneffizienz an, Maßnahmen zur Schaffung eines *Strahlursprungs* räumlich auf die für die *Strahlwirkung* ermittelten Erfordernisse abzustimmen. Vielfach wurde in der Vergangenheit bei Renaturierungsmaßnahmen diesem Aspekt nicht Rechnung getragen. Kleinste Maßnahmen wurden auf begrenztem Raum umgesetzt,

bei denen keine positive Wirkung nachzuweisen war, oder es wurden Maßnahmen auf den insgesamt verfügbaren Abschnitt oder Raum ausgedehnt (vgl. auch KOENZEN in diesem Heft). Es ist hingegen möglich, den Mitteleinsatz dadurch zu optimieren, dass die Maßnahme im umzugestaltenden Abschnitt auf die erforderliche Mindestgröße zur Aktivierung der *Strahlwirkung* beschränkt bleiben kann, wenn ergänzend unterstützende Maßnahmen (z. B. Wegnahme von Barrieren oder Hinzufügen von *Trittsteinen*) auf dem *Strahlweg* im Fließgewässersystem umgesetzt werden. Eine isolierte Betrachtung einzelner, lokaler Maßnahmen in der durch die Gewässerstationierung gegebenen örtlichen Eingrenzung wird den ökologi-

schen Funktionen und Mechanismen des Gewässers, wie sie auch mit der *Strahlwirkung* beschrieben werden, nicht gerecht.

Allerdings kommt dem Zeitfaktor beim Wirkungsnachweis von Maßnahmen mit ökologischen Verbesserungen ausschlaggebende Bedeutung zu. Vielfach stellen sich Maßnahmenfolge erst nach mehreren Generations- und Sukzessionszeiten, d. h. nach einigen Jahren, ein. Dabei spielen „renaturierende Hochwasser“ eine große Rolle (Abb. 4).

5.2 Trittsteine

Trittsteine können kleine Gewässerabschnitte mit typgerechten morphologischen Bedingungen oder verschiedene Strukturelemente mit guten Habitateigenschaften sein, z. B. eingebrachte Tothölzer, lokale Gewässeraufweitungen oder Wiederansiedlungen von typgerechten Wasser- und Uferpflanzen (Abb. 3; vgl. auch KOENZEN und van de WEYER in diesem Heft). Sie ermöglichen und erleichtern verschiedenen Gewässerorganismen, z. B. des Makrozoobenthos, die Migration, indem sie kleinräumige Nahrungs- und Rastmöglichkeiten bieten. *Trittsteine* müssen dauerhaft angelegt sein. Über die notwendigen Abstände von *Trittsteinen* zueinander und zum *Strahlursprung* liegen bisher nur wenige praktische Erkenntnisse vor.

5.3 Strahlweg

Der *Strahlweg* ist die Gewässerstrecke, auf der Organismen vom *Strahlursprung* ausgehend im Wasser bewegt werden oder sich aktiv im oder außerhalb des Wassers bewegen (Abb. 3). Es ist die Gewässerstrecke, die aufgrund struktureller Defizite kaum ortsfeste Besiedlung aufweist, durch die aber eine Migration stattfindet. Über den *Strahlweg* können biologische Defizite ausgeglichen werden (Abb. 5).

Je nach betrachteten Organismen kann der *Strahlweg* bei Fließgewässern in Fließrichtung oder entgegen der Fließrichtung ausgebildet sein. Bei passiver Migration



Abb. 4: Ruhrinsel bei Rellinghausen (2003) als möglicher *Strahlursprung* (Foto: T. Grünebaum).

als organismische Drift ist ein *Strahlweg* nur unterhalb des *Strahlursprungs* denkbar. Bei aktiver Migration (Aufwärtsbewegung, Verbreitungs- oder Aufwärtsflug merolimnischer Arten, Fischwanderung) oder sonstiger Ausbreitung (über Luft, Fische, Vögel, Menschen) ist auch die Ausbildung eines *Strahlwegs* entgegen der Fließrichtung möglich.

Die Ausdehnung eines *Strahlwegs* ist bei der aktiven Migration vor allem abhängig von den Aktivitätsmustern und dem Wanderungsverhalten der betrachteten Organismen. Bei aktiver wie auch bei passiver Verbreitung sind jedoch auch lokale Beeinträchtigungen des Fließgewässerkontinuums auf dem *Strahlweg* mit signifikanten Habitatdefiziten von ausschlaggebender Bedeutung. Dies können insbesondere sein:

- gestaute Bereiche in einem Fließgewässersystem mit Senkenfunktion für Substrate (und damit i. d. R. auch für Organismengruppen, die sich über Verdriftung ausbreiten),
- Querbauwerke oder gravierende morphologische Veränderungen (z. B. Verrohrung, betonierte Sohle) mit einer Barrierenwirkung für die jeweiligen Organismen (insbesondere bei Aufwärtsbewegung durch aktive Migration),
- stoffliche Veränderungen durch Eintrag von toxischen Stoffen, Nährstoffen, Salzen, Feststoffen (u. a. durch Erosion von Ackerböden mit der Gefahr des zusätzlichen Eintrags von daran adsorbierten Stoffen),
- Kolmatierung der Gewässersohle,
- Veränderungen des Sauerstoffhaushalts im Wasserkörper oder im Interstitial

(insbesondere unzureichender oder stark schwankender Sauerstoffgehalt),

- thermische Veränderungen (z. B. durch Einleitungen von warmen Wässern, Abschnitte mit fehlender Beschattung, Einleitung von kalten Tiefenwässern aus Talsperren),
- gravierende wassermengenmäßige Veränderungen des Kontinuums (Einleitungen, Entnahmen, Schwallbetrieb von wasserbaulichen Anlagen) mit Veränderungen der Fließgeschwindigkeit und Schleppkraft, der Strömungsmuster und -diversität, des Gewässerquerschnitts und der Wassertiefe (soweit nicht „geschützte“ Bereiche verfügbar sind, z. B. für Jungtiere und -pflanzen, Eier, Larven),
- Lebensräume mit einer Artenzusammensetzung, die durch eine übermäßige Prädatordichte geprägt sind.

Hingegen sind zur Unterstützung der *Strahlwirkung* auf dem *Strahlweg* alle den artspezifischen Habitatansprüchen entsprechenden Bedingungen vorteilhaft und anzustreben. Dazu gehören u. a.:

- Longitudinale aber auch laterale Konnektivität im Fließgewässerkontinuum, insbesondere für die Gewässersohle mit Durchgängigkeit des typspezifischen Substrats - auch des organischen Substrats als Falllaub und Totholz,
- vielfältige und weitgehend durchgehende Elemente der Uferstruktur wie Gehölze und Hochstauden für merolimnische Arten,
- Schaffung oder die Initiierung typspezifischer Diversität von Substraten und Kleinbiotopen mit *Trittsteinfunktionen*.

Die Erreichbarkeit von Gewässerabschnitten, die als *Strahlursprung* oder *Trittstein* den Habitatansprüchen (wieder) genügen, ist für die Biotopvernetzung und die Ausdehnung des guten ökologischen Zustands der Gewässer von entscheidender Bedeutung. Dabei ist auch immer der Zeitfaktor zu bedenken, der für viele Arten bis zur Ausbildung belastbarer Populationen als Voraussetzung einer stabilen Biozönose mehrere Jahre betragen kann (Abb. 5).

Ergänzend sei noch darauf hingewiesen, dass die hier betrachtete *Strahlwirkung* durch invasive Neophyten und Neozoen überlagert werden kann (vgl. Abschn. 5.5).

5.4 Erfahrungen aus Monitoring- und Renaturierungsprojekten

Es wurde bereits eine Reihe von Renaturierungsprojekten durchgeführt und wissenschaftlich begleitet, die die Prüfung einer möglichen *Strahlwirkung* zulassen. Vorab ist anzumerken, dass die untersuchten Effekte von räumlich begrenzten Renaturierungsmaßnahmen nicht unter den in diesem Heft benutzten Begrifflichkeiten *Strahlwirkung* - *Strahlursprung* - *Strahlweg* thematisiert wurden, sich inhaltlich dennoch damit auseinandersetzen.

Für den Bereich des Makrozoobenthos liegen bislang nur lückenhafte Erkenntnisse in Bezug auf die *Strahlwirkung* vor (u. a. VÖLKER & BORCHARDT 2007). Untersuchungen an mehreren nordrhein-westfälischen Fließgewässern belegen, dass von naturnahen Fluss-Oberläufen weitreichende *Strahlwirkungen* auf die Unter-

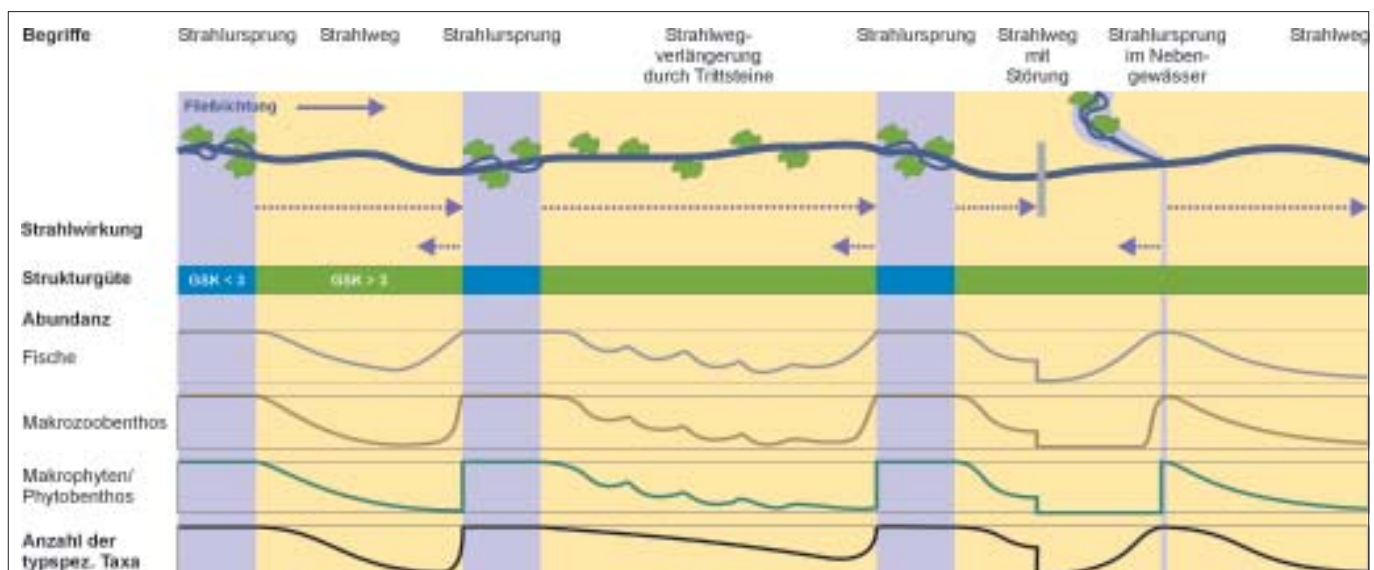


Abb. 5: *Strahlwirkung* auf Abundanz und Anzahl der relevanten Organismen in einem Gewässersystem (Schema), Gewässerstrukturgüteklassen sind kumuliert.

läufe ebenso feststellbar sind wie der umgekehrte Effekt einer negativen Wirkung von stark degradierten Oberläufen auf die Unterläufe. Im Falle von Renaturierungsmaßnahmen lässt sich zwar eine Zunahme der Artendiversität im unmittelbaren Umfeld feststellen, eine deutliche längszonale Wirkung stellt sich jedoch erst nach langen Zeiträumen ein (LORENZ in diesem Heft). Dies gilt insbesondere auch für Gewässer in urban-industriellen Einzugsgebieten (SOMMERHÄUSER & HURCK in diesem Heft). Auf Standorten außerhalb der Städte bezogen gilt, dass im Falle eines hohen Waldanteils im Einzugsgebiet des Flusses die *Strahlwirkung* wesentlich deutlicher ausfällt als bei vorherrschender Ackernutzung. Untersuchungen in Nordrhein-Westfalen und Rheinland-Pfalz ergaben, dass - bezogen auf die Fließgewässer des Mittelgebirges - beim Makrozoobenthos unter optimalen Randbedingungen (z. B. keine Sohlverbaue, überwiegend Waldeinzugsgebiete, natürliche Geschiebedynamik) von einer *Strahlwirkung* zwischen 0,3 und 1,5 km (Fließgewässertyp 5: Grobmaterialreiche, silikatische Mittelgebirgsbäche) in Abhängigkeit von der Strukturgüte des Gewässers ausgegangen werden kann (SCHATTMANN in diesem Heft). PODRAZA (in diesem Heft) gibt einen Wert von 1,65 km (75 %-Perzentil) für den gleichen Fließgewässertyp an. Bei beiden Autoren wurden gute bis sehr gute Verhältnisse hinsichtlich der Saprobie und gute bis sehr gute Verhältnisse bezüglich der allgemeinen Degradation vorausgesetzt.

Die durch „Entfesselung“ renaturierten Abschnitte der Lippe zeigten hinsichtlich der Fischfauna höhere Abundanzen sowie ein stärkeres Hervortreten anspruchsvoller Arten. Positive *Strahlwirkungen* auf nicht verbesserte Abschnitte des Flusses ließen sich eindeutig für mehrere Fischarten nachweisen (BUNZEL-DRÜKE et al. in diesem Heft). Die jeweilige longitudinale Ausprägung der Wirkung ist artabhängig (DETERING in diesem Heft). Als besonders wichtiger Faktor stellte sich die Anzahl naturnaher Streckenabschnitte als *Trittsteine* oder sogar als *Strahlursprung* im gesamten Untersuchungsgebiet dar. Berücksichtigt werden muss, dass *Strahlwirkungen* durch Wanderungshindernisse wie Wehre abrupt beendet sein können. Die Zunahme von Artendiversität und -abundanz bei Fischen über längere Fließstrecken (mehrere Kilometer) ließ sich auch im Rahmen des Ems-Auenprogramms (SCHÜTZ in diesem Heft) nachweisen. Eine flussaufwärts gerichtete *Strahlwirkung* - die Besiedlung eines renaturier-

ten Bereiches oberhalb eines Relikt-vorkommens autochthoner Fischarten - konnte an der Nidda in Hessen beobachtet werden (POPP & LEHR in diesem Heft). Ungünstige Gegebenheiten (Abwärmeeinleitungen, Zufluss stark degradierter Bäche) können negative Wirkungen verursachen (BUNZEL-DRÜKE et al. in diesem Heft).

Die umfangreichen Maßnahmen entlang der niedersächsischen Ise (Reduzierung der Gewässerunterhaltung, Flächenextensivierung, Anpflanzungen, Wehrumbau etc.) haben positive *Strahlwirkungseffekte* für sehr unterschiedliche Tierarten erbracht; so haben sich verschiedene Libellenarten und auch der Fischotter ausgebreitet. Eine Quantifizierung und Übertragbarkeit dieser Wirkungen ist jedoch auf Grund der jeweiligen gewässer- und organismenspezifischen Gegebenheiten problematisch (LUCKER in diesem Heft).

Wie das Beispiel Dellwiger Bach (SOMMERHÄUSER & HURCK in diesem Heft) zeigt, erfolgt *Strahlwirkung* nicht nur entlang eines Gewässers, sondern auch über die Wasserscheide hinweg über die Luft. Dies zeigt sich auch an anderen urban-industriell geprägten Gebieten. Für die *Strahlwirkung* ist neben Fluss-Renaturierungsmaßnahmen die Wasserqualität im gesamten Flussverlauf ausschlaggebend. Die Verbesserung der Wasserqualität muss aber auch in landwirtschaftlich geprägten Einzugsgebieten (Nährstoffeinträge) Ziel werden, um eine mögliche *Strahlwirkung* zu unterstützen (LUCKER in diesem Heft).

Bei kulturbedingt stark anthropogen überformten Gewässern wie etwa dem alten Flößereigewässer Zinsbach/Nord-schwarzwald sind verschiedenste Maßnahmen erforderlich, um langfristig eine eigendynamische Gewässerentwicklung zu ermöglichen (SCHABER-SCHOOR in diesem Heft).

Für die *Makrophyten* liegen bislang relativ wenige Erkenntnisse über eine longitudinale Ausbreitung aus dem Bereich der Renaturierungsfläche vor. Da die Ausbreitungswege der sich meist vegetativ vermehrenden Arten entscheidend sind, bedeuten Renaturierungsmaßnahmen wie das Anlegen von Altarmen, Altwässern oder Buhnenfeldern meistens eine Verbesserung der Hydrochorie. Generell kann davon ausgegangen werden, dass kleinräumige strukturelle Maßnahmen an Flüssen, aber auch das direkte Ansiedeln von dem Gewässer-

typ entsprechenden Makrophyten einen *Strahlursprung* schaffen, von dem letztendlich weitreichende *Strahlwirkungen* zu erwarten sind (van de WEYER in diesem Heft).

Zum Phytobenthos liegen dazu kaum Informationen vor. Es kann davon ausgegangen werden, dass die meisten Arten sich sehr leicht verbreiten und neben dem Vorhandensein von Festsubstraten für viele indikative Arten die Wasserbeschaffenheit ausschlaggebend ist.

5.5 Mögliche Überprägungen

Die *Strahlwirkung* in Fließgewässern unterliegt verschiedenen Formen der Überprägung durch Hydraulik, Klimawandel, Neobiota und Kettenwirkungen, die durch verschiedene Belastungen ausgelöst werden können.

Die *Strahlwirkung* wird von hydraulischen Gegebenheiten mitbeeinflusst. Natürliche Fließgewässer weisen abwechselnd Einengungen, Erweiterungen, Stillen, Schnellen und unterschiedliche Rauigkeit der Ufer auf und unterliegen einer zeitlichen Dynamik des Wasserstandes und des Wasserabflusses (Hochwasser, Niedrigwasserzeiten). In ausgebauten Fließgewässern sind diese Gegebenheiten oftmals novelliert oder überformt. Extreme Änderungen der natürlichen hydraulischen Verhältnisse beeinflussen die *Strahlwirkung* ungünstig.

Bezüglich des Klimawandels in Mitteleuropa wird prognostiziert, dass die Sommer trockener, die Winter dagegen niederschlagsreicher werden, allerdings mit einer stark ausgeprägten regionalen Differenzierung (Deutsche IPCC-Koordinierungsstelle 2007). Für die Fließgewässer bedeutet dies eine Änderung im Temperaturhaushalt und eine Änderung der Hydraulik. Für den Rhein und andere Flüsse Nordrhein-Westfalens wird mit der Zunahme des Abflusses und damit auch der Hochwassergefahr im Winter sowie erhöhtem grobpartikulären Eintrag gerechnet. Zudem wird sich die Frequenz und Intensität von Niedrigwasser- und Trockenperioden erhöhen, so dass derzeit permanente Gewässer im Sommer austrocknen können (MEYER in diesem Heft).

Gebietsfremde Arten (Neobiota) sind solche Pflanzen (Neophyta) und Tiere (Neozoa), die definitionsgemäß unter Mitwirkung des Menschen seit der Entdeckung Amerikas eingewandert sind oder auch eingeführt wurden und hier heute wild leben (BfN 2005). Seit 1980 ist die

Anzahl der aquatischen *Neophyten* allein in NRW bis 2005 auf 17 Arten angestiegen (HUSSNER 2006). Die meisten aquatischen *Neozoen* gehören dem Makrozoobenthos an, 50 Arten wurden in deutschen Binnen- gewässern nachgewiesen (NEHRING 2005, Stand November 2007); bei den Fischen wurden zehn Arten gezählt (GOLLASCH & NEHRING 2006).

Neobiota wirken sich unterschiedlich aus; oftmals leben die Einwanderer in durch anthropogene Veränderungen der Fließgewässer freigewordenen Nischen neben den alteingesessenen Arten. In anderen Fällen verdrängen sie einheimische Arten. Die Wirkung als Prädatoren (räuberische Arten) ist ebenfalls sehr verschieden und reicht von graduellen oder lokalen Ausrotungen oder Verdrängungen bis zum Ausbleiben von Reaktionen. Es wurden auch elastische Reaktionen beobachtet, so dass die Einwanderer sich nach anfänglich schneller Ausbreitung wieder zurückzogen; ein Beispiel hierfür ist die Kanadische Wasserpest (*Elodea canadensis*) (SCHÖNBORN 2003). Häufig unterliegen die Neobiota gegenüber den etablierten Arten. I. d. R. ist nicht vorhersehbar, wie sich invasive Arten auf Dauer ökologisch einnischen. Neobiota können die *Strahlwirkung* überprägen.

Die Überprägungen werden zudem um einiges verschärft durch die Kettenwirkung verschiedener Faktoren. Wie sich der Ein-

fluss von Klimawandel und Neobiota auf die Gewässer auswirkt, ist momentan sehr schwer abzuschätzen. Globalisierung und Klimawandel werden schätzungsweise die Etablierung aquatischer Neobiota, vor allem der wärmeliebenden Arten, erhöhen. Dabei dienen die Wasserstraßen als Hauptwanderungswege (GALIL et al. 2007).

6 Empfehlungen für Maßnahmen

6.1 Quantitative Gesichtspunkte

Zur Abschätzung der Mindestlänge eines *Strahlursprungs* und der Länge eines *Strahlwegs* wurden im Sinne von Bemessungsempfehlungen in diesem Vorhaben folgende Quellen einbezogen:

- Einzeluntersuchungen von Gewässerstruktur und Gewässerzustand mittels biologischer Qualitätskomponenten, die hinsichtlich eines räumlichen Zusammenhangs von möglichem *Strahlursprung* und *Strahlweg* ausgewertet wurden,
- grundsätzliche Überlegungen zu Funktionen und Mechanismen des Fließgewässerökosystems,
- Befragung der Experten des 2. und 3. Projektworkshops, aufgeschlüsselt nach den in NRW relevanten Fließgewässertypen.

Aufgrund von Analogieschlüssen und Plausibilitätsüberlegungen wurde - um ei-

nen ersten Anhalt und eine Hilfe für Planungsprozesse anzubieten - die Abschätzung getrennt für die verschiedenen Gewässertypen vorgenommen.

Für die Mindestlänge des *Strahlursprungs* gilt, dass er hinsichtlich Taxa und Abundanz wenigstens einen guten Zustand anhand der vorhandenen Indikatororganismen erreicht, also „biologisch reich“ ist, und hinsichtlich der Gewässerstruktur möglichst leitbildähnliche Merkmale besitzt (Tab. 2). Die Länge des *Strahlwegs* reicht grundsätzlich vom *Strahlursprung* bis zum Ende der *Strahlwirkung*, der nächsten signifikanten Störung (insbesondere Unterbrechung der Durchgängigkeit durch strukturelle oder stoffliche Einflüsse) oder einer langsamen Abschwächung der *Strahlwirkung* (Abb. 3), sofern der Fließgewässerabschnitt die gewässertypspezifischen Anforderungen erfüllt (Tab.3). In dem Fall sollten aufgrund der auf dem *Strahlweg* nicht gegebenen Reproduktion der Indikatororganismen die Anhaltswerte in Tab. 4 herangezogen werden.

Die Länge des *Strahlwegs* kann durch *Trittsteine* ausgedehnt werden. Wirkung und Ausgestaltung von *Trittsteinen* sollten aufgrund ihres hohen natürlichen Renaturierungspotenzials Gegenstand weiterer Untersuchungen werden.

Tab. 2: Mindestvoraussetzungen für einen *Strahlursprung*, Ergebnisse der DRL-Expertenbefragung 2007, n = 20. (+++ = 71-100% Zustimmung, ++ = 36-70% Zustimmung, + = 1-35% Zustimmung, - = keine Nennung).

	Typ 14 Sandgeprägte Tieflandbäche	Typ 15 Sand- und lehmge- prägte Tieflandflüsse	Typ 19 Fließgewässer der Niederungen	Typ 5/7 Grobmaterialreiche Mittelgebirgsbäche	Typ 9/9.1 Fein- bis grobmaterial- reiche Mittelgebirgsflüsse
Sohldurchgängigkeit	+++	+++	+++	+++	+++
Totholz/ Wurzelwerk	+++	+++	+++	+++	++
Struktur-/ Strömungsdiversität	+++	+++	+++	+++	+++
Auenanbindung	++	+++	+++	++	+++
Ufergehölz einseitig	++	++	++	+++	+++
Ufergehölz beidseitig	++	+	+	-	+
Uferentwicklung einseitig eigendyn.	++	++	++	++	++
Umfeldentwicklung einseitig eigendyn.	++	++	++	++	++
Umfeldentwicklung beidseitig eigendyn.	++	+	+	+	+
Länge [km]	0,1 - 3	0,5 - 5	0,01 - 2	0,3 - 2	0,5 - 5

Tab. 3: Mindestvoraussetzungen für einen Strahlweg, Ergebnisse der DRL-Expertenbefragung 2007, n = 20.
 (↑ = flussaufwärts, ↓ = flussabwärts, +++ = 71-100% Zustimmung, ++ = 36 – 70% Zustimmung, + = 1 – 35% Zustimmung, - = keine Nennung).

	Typ 14 Sandgeprägte Tiefenläufe		Typ 15 Sand- und lehmge- prägte Tiefenläufe		Typ 19 Fließgewässer der Niederungen		Typ 5/7 Grobmaterialreiche Mittelgebirgsbäche		Typ 9/9.1 Fein- bis grobmaterial- reiche Mittelgebirgsflüsse	
	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓
Sohldurchgängigkeit	+++	+++	+++	+++	+++	++	+++	+++	+++	++
Geschiebetransport ungehindert	++	++	++	++	++	++	+++	+++	++	+++
Sauerstoffversorgung ausreichend	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++
keine signifikanten stofflichen Einleitungen	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	++	++
Ufergehölz einseitig	++	++	++	++	++	++	+++	+++	++	+++
Totholz/ Wurzelwerk	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++
Durchlässe / Verrohrungen [%]	2 bis 10	1 bis 10	2 bis 10	1 bis 10	2 bis 10	1 bis 10	1 bis 30	5 bis 30	1 bis 30	5 bis 30
Abstürze [m]	max. 0,20	max. 0,30	max. 0,20	max. 0,30	max. 0,20	max. 0,30	max. 0,30	max. 1	max. 0,30	max. 1
Rückstau [m]	typspe- zifisch	typspe- zifisch	max. 10	max. 100	max. 10	max. 100	max. 200	max. 500	max. 200	max. 500

Eine *Strahlwirkung* kann das Mehrfache der Ausdehnung eines *Strahlursprungs* betragen.

Der *Strahlursprung* kann sich anstatt im Hauptlauf eines betrachteten Fließgewässers auch in einmündenden Nebengewässern, Altgewässern oder etwa Bühnenfeldern befinden, solange sie dem gleichen Gewässertyp angehören. So kann unterhalb massiver Einschränkungen der Durchgängigkeit (insbesondere Talsperren und große Stauseen) der *Strahlursprung* in einem unterhalb dieses Querbauwerks mündenden Nebengewässer liegen - die *Strahlwirkung* erstreckt sich über das Nebengewässer bis in das Hauptgewässer unterhalb des Querbauwerks.

Es ist darauf hinzuweisen, dass die Wirkung eines renaturierten Gewässerabschnitts als *Strahlursprung* sich auch nur einseitig auf ein Ufer oder ein Gewässerumfeld beschränken kann (Tab. 2).

Schwerpunkt der Maßnahmen in einem *Strahlweg* muss die Durchgängigkeit für die jeweilige Fauna und Flora sein (Tab. 3). Dazu gehören die Durchgängigkeit der Gewässersohle, ausreichende Wasserqualität (gute Sauerstoffversorgung, keine signifikanten stofflichen Beeinträchtigungen) und die Unterstützung der Migrationsbewegungen durch typgerechte Uferstrukturen, insbesondere

Gehölze und andere Uferpflanzen, auch wenn sie auf ein Ufer beschränkt sind.

Über den *Strahlweg* können biologische Defizite ausgeglichen, zumindest gemildert werden, insbesondere wenn durch *Trittsteine* die *Strahlwirkung* und im günstigsten Falle die Migration zwischen zwei *Strahlursprung*-Bereichen ermöglicht wird. Die Erreichbarkeit von Gewässerabschnitten, die als *Strahlursprung* den Habitatansprüchen (wieder) genügen, ist für die Biotopvernetzung und die Verlängerung der Gewässerstrecken im guten ökologischen Zustand der Gewässer von entscheidender Bedeutung.

Die Funktion eines Gewässerabschnitts als *Strahlursprung* oder *Strahlweg* kann durch Gewässernutzungen beeinträchtigt werden. Signifikante Belastungen des Gewässers in diesen Bereichen sind somit vor diesem Hintergrund zu vermeiden bzw. zu minimieren.

Stoffliche Einleitungen sind besonders kritisch, da die Einhaltung chemisch-physikalischer Qualitätsziele sowohl für den *Strahlursprung* als auch für den *Strahlweg* eine Grundvoraussetzung ist. Maßstab für die Qualitätsziele ist die für die typspezifische Biozönose gerade noch verträgliche (zumeist Höchst-)Konzentration der relevanten Stoffe (vgl. auch WAGNER & ARLE in diesem Heft). Permanente Einleitungen haben einen deutlich

größeren Einfluss als gelegentliche oder periodische stoffliche Belastungen). Sie führen im *Strahlursprung* zum Verlust der Funktion als Quelle für Elemente der Fauna und Flora, im Bereich des *Strahlwegs* zu einer Beendigung der *Strahlwirkung*. Gelegentliche oder periodische Einleitungen treten in Abhängigkeit von den Abflussverhältnissen, den meteorologischen Bedingungen, von der Jahreszeit oder menschlichen Aktivitäten bzw. Gewässernutzungen auf. Im Vergleich zu permanenten Einleitungen sind sie weniger kritisch, da Fließgewässer über eine gute Regenerationsfähigkeit (Wiederbesiedlungspotenzial) und aktiv migrierende Organismen über Rückzugsmöglichkeiten verfügen. Der erosive Eintrag von an der Bodenmatrix haftenden Feststoffen wurde bisher in seinen negativen Auswirkungen nicht hinreichend betrachtet.

Insgesamt führt die Berücksichtigung der *Strahlwirkung* dazu, dass Maßnahmen nicht auf den jeweils umzugestaltenden Gewässerabschnitt konzentriert werden. Stattdessen sind diese Abschnitte auf ihre Funktion als *Strahlursprung* im gesamten Gewässerverlauf (Fließgewässerkontinuum) neu zu entwickeln. Konkret bedeutet dies: Verfügbare Finanzmittel sind nicht für isolierte wasserbauliche Maßnahmen als Renaturierungsprojekte auszugeben; vielmehr sind künftige Maßnahmen als *Strahlursprung* immer im Zusam-

menhang mit dem anschließenden *Strahlweg* zu optimieren.

Die Operationalisierung der *Strahlwirkung* als Element der wasserwirtschaftlichen Planung zur Zielerreichung eines guten Zustands baut auf einem kompensatorischen Ansatz auf. Dies bedeutet, dass Maßnahmen nicht zwingend am Ort des jeweiligen Zustandsdefizits ansetzen, sondern – sofern Kosteneffizienzkriterien eine andere Priorisierung vorgeben – Maßnahmen identifiziert werden, die an anderer Stelle im Gewässersystem (*Strahlursprung*) eine Wirkung auch auf den betrachteten defizitären Abschnitt entfalten. Hierdurch sind „harte“ Restriktionsbereiche eines Gewässers möglicherweise zugänglich für eine Verbesserung des ökologischen Zustands, indem ein hierauf wirkender *Strahlursprung* in einem angrenzenden Bereich geschaffen oder verbessert wird und im betrachteten Restriktionsbereich Elemente für den *Strahlweg* umgesetzt werden. Hinsichtlich Maßnahmen- und insbesondere der Kostenträgerschaft sind bei einem solchen kompensatorischen Ansatz neue Wege und Instrumente erforderlich. Eine Maßnahme in einem angrenzenden Gewässerabschnitt mit oder womöglich zur ausschließlichen Kompensation von Defiziten in einem Restriktionsbereich kann nicht zu Lasten der Gewässernutzer im angrenzenden Abschnitt realisiert werden. Vielmehr ist aus Gründen der Verursachergerechtigkeit ein entsprechender finanzieller Beitrag der Gewässernutzer im Restriktionsbereich zwingend erforderlich. Auch bei einer anteiligen oder weitgehenden Finanzierung der Maßnahmen aus öffentlichen Mitteln ist eine Mitbeteiligung der Verursacher anzustreben. Die bisherigen Instrumente zur Maßnahmenfinanzierung sind hierfür allerdings nicht geeignet. Eine Finanzierung aus öffentlichen Förderprogrammen oder eine Durchsetzung von Maßnahmen nach dem Freiwilligkeitsprinzip würden dazu führen, dass einerseits Effizienzkriterien nur untergeordnet einbezogen würden; zusätzlich würden Nutzer im Restriktionsbereich entgegen dem Verursacherprinzip von einer finanziellen Betei-

Tab. 4: Anhaltswerte für erforderliche Mindestlänge des Strahlursprungs und zu erwartender Länge des Strahlwegs bei Fließgewässern des Tieflandes und des Mittelgebirges (eigene Schätzungen und Auswertung der DRL-Expertenbefragung 2007).

		Mindestlänge Strahlursprung [km]	Zu erwartende Länge Strahlweg [km]	
			in Fließrichtung	entgegen der Fließrichtung
Typ 14 Sandgeprägte Tieflandbäche	Makrozoobenthos		2,5	2,0
	Makrophyten, Phytobenthos	1,5	5,0	–
	Fischfauna		7,5	4,0
Typ 15 Sand- und lehmgeprägte Tieflandflüsse	Makrozoobenthos		3,5	1,5
	Makrophyten, Phytobenthos	2,5	4,0	–
	Fischfauna		12,5	3,5
Typ 19 Fließgewässer der Niederungen	Makrozoobenthos		1,5	1,5
	Makrophyten, Phytobenthos	1,0	1,0	–
	Fischfauna		5,5	3,5
Typ 5/7 Grobmaterial- reiche Mittel- gebirgsbäche	Makrozoobenthos		3,0	1,0
	Makrophyten, Phytobenthos	0,5	1,5	–
	Fischfauna		3,5	2,0
Typ 9/9.1 Fein- bis grob- materialreiche Mittelgebirgsfl.	Makrozoobenthos		4,0	1,5
	Makrophyten, Phytobenthos	1,5	2,0	–
	Fischfauna		20,0	5,0

ligung ausgenommen - und dies trotz eindeutiger Ursache für die bestehenden Zustandsdefizite.

6.2 Qualitative Gesichtspunkte

Strahlursprünge sind grundsätzlich die Fließgewässerstrecken, die sich in sehr gutem oder gutem Zustand befinden. Darüber hinaus können Gewässer, die unter nationalen (Naturschutzrecht) oder supranationalen Regelungen (Fauna-Flora-Habitat-Richtlinie, EG 1992, Vogelschutzrichtlinie, EG 1979) geschützt sind, Berei-

che potenzieller *Strahlursprünge* sein. Auch renaturierte Strecken können sich zu *Strahlursprünge* entwickeln.

Das Phänomen der *Strahlwirkung* sollte zukünftig bei Maßnahmen im Gewässerschutz verstärkt Beachtung finden und bereits im Ansatz mitbedacht werden. Die Kenntnisse und Erfahrungen der Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter der Wasserwirtschafts- und Umweltverwaltungen sind dabei frühzeitig - trotz der aktuellen finanziellen Situation und der vielfältigen Aktivitäten zur Umstrukturierung der Aufbau- und Ablauforganisation im Vollzug - einzubeziehen.

Die bisher vorliegenden Erkenntnisse zur *Strahlwirkung* sind noch sehr lückenhaft und bedürfen unbedingt einer weiteren Vertiefung in der Grundlagen- und anwendungsorientierten Forschung, um somit eine fundierte Weiterentwicklung des fachlichen Regelwerks zu unterstützen.

Die grundlegende Kenntnis des Phänomens Strahlwirkung muss sowohl in der Aus- als auch in der Weiterbildung vermittelt werden.

Das Ausbreitungsvermögen/ Migrationsvermögen und die Überlebensfähigkeit von Arten sind nicht für alle in und an Fließgewässern lebenden Arten bekannt; daher besteht hier noch Forschungsbedarf sowohl im Grundlagen- als auch im anwendungsorientierten Bereich, um die Strahlwirkungsbereiche genauer abschätzen zu können.

Bei der Gewässerentwicklung sind die Vorgaben des Wasserhaushaltsgesetzes des Bundes, des Bundesnaturschutzgesetzes, des Gesetzes über die Umweltverträglichkeitsprüfung, des Bundesbodenschutzgesetzes, des Verwaltungsverfahrensgesetzes, der Wasserverbandsgesetze (in Nordrhein-Westfalen sondergesetzlich geregelt), des Raumordnungsgesetzes des Bundes sowie in bebauten Bereichen des Bundesbaugesetzes zu beachten.

Das nordrhein-westfälische Landesplanungsgesetz fordert die Festlegung der Ziele der Raumordnung und der Gesamtplanung aus überörtlicher und überfachlicher Sicht auf der Ebene des Landesentwicklungsplans, der nachgeordneten Regionalpläne (früher Gebietsentwicklungspläne) und der regionalen Flächennutzungspläne. Dabei sind die raumbedeutsamen Erfordernisse und Maßnahmen des Naturschutzes und der Landschaftspflege mit den anderen raumbedeutsamen verschiedenen Ansprüchen der Wasserwirtschaft, der Land-, Forst- und Fischereiwirtschaft, der Verkehrs- und Siedlungsentwicklung, der Freizeit und Erholung abzuwägen und zu bündeln. Bei den Fortschreibungen soll auf Berücksichtigung der *Strahlwirkung* geachtet werden.

Das Phänomen der *Strahlwirkung* muss aus fachlicher Sicht zudem im Gewässer- und Umweltmonitoring berücksichtigt werden, begleitet von langfristigen systematischen wissenschaftlichen Untersuchungen im laufenden wasserwirtschaftlichen Vollzug sowie durch eine gezielte Auswahl von Maßnahmen am Gewässer und deren Einordnung nach den vorgenannten Kriterien der *Strahlwirkung*. Hierbei ist insbesondere auf die Bewertung von *Strahlursprung* und *Strahlweg* im Fließgewässerkontinuum und die gewässertypbezogene Einordnung zu achten. Die Ergebnisse können für weitere zu planende Maßnahmen genutzt werden.

Gewässerentwicklung im ökologischen Sinn und im Sinne der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie kann keine sektorale Planungsaufgabe sein. Vielmehr ist sie in die Planungsprozesse der Raumordnung, der Landespflege und des Städtebaus einzubinden. Hierdurch entstehen Synergien bei der Natur- und Umweltentwicklung, die auch hinsichtlich der damit zu erwartenden finanziellen Freiräume positiv zu bewerten sind. Mit einzubeziehen ist die Förderung und Lenkung der Entwicklungen in Landwirtschaft, Gewerbe, Industrie und Infrastruktur (Verkehrsentwicklung, Energie- und Wasserversorgung, Kommunikation etc.), die neben ihrer primären Zielrichtung eine positive Umweltentwicklung stärken können. Herausragende Verantwortung kommt dabei der Politik und Administration auf Europa-, Bundes-, Landes- und kommunaler Ebene zu.

Durch die Anpassung des Förder-, Steuer- und Abgabensystems, soweit der öffentliche Bereich nicht selbst Planungsträger

ist, können entsprechende Werkzeuge entwickelt werden.

Maßnahmen zur Verbesserung der Gewässerstruktur, wie sie als sogenannte Renaturierungsmaßnahmen für Gewässer bisher geplant, gefördert und umgesetzt wurden, bedürfen einer neuen Orientierung an den Zielvorgaben eines verbesserten ökologischen Zustands der Wasserkörper und des Gewässersystems in ihrer Gesamtheit. Erreicht werden kann dies durch die Ausrichtung der Förderungs- und Lenkungsinstrumente (finanzielle Förderung, fachliche und administrative Begleitung, Monitoring etc.) an diesen Zielen. Eine reine Angebotsplanung, wie sie bisher über das Freiwilligkeitsprinzip angestrebt wurde, ist auf Dauer nicht zielführend. In der Vergangenheit wurde oftmals bereits bei der Maßnahmenkonzeption eine Vorauswahl im Hinblick auf die Durchsetzbarkeit, d. h. der Wahrscheinlichkeit der Akzeptanz bei dem betroffenen Maßnahmenräger, vorgenommen. Der staatliche bzw. öffentliche Bereich war vielfach bevorzugter oder auch

In den nordrhein-westfälischen Förderprogrammen z. B. zur Renaturierung, zur Entwicklung von Auen und Entwicklung des ländlichen Raums soll die *Strahlwirkung* als Beitrag zur Kosteneffizienz Anwendung finden.

Konkret könnte z. B. auch die Eingriffsregelung angewandt werden, um Maßnahmen zur Schaffung von *Strahlursprüngen* und *Trittsteinen* zu finanzieren.

einzigem Adressat entsprechender Maßnahmen (z. B. Gewässerrenaturierungsmaßnahmen auf öffentlichen oder durch den öffentlichen Bereich zu erwerbenden Flächen). Renaturierungsmaßnahmen wurden isoliert im Gewässersystem durchgeführt, wobei die erwünschte Wirkung häufig aufgrund der fehlenden Anbindung an andere Ökosysteme ausblieb. Nachweisbar wurde dieser Umstand auch mit den neueren Verfahren zur Zustandsbewertung der Gewässer anhand biologischer Qualitätskomponenten. Erforderlich ist auch die Einbindung von Gewässerabschnitten, die im strengen Sinne nicht zum Planungsraum gehören, aber für die Gewässerentwicklung bedeutsam sind.

Zukünftig sind Maßnahmen – auch aus Gründen der Kosteneffizienz – daraufhin auszurichten, dass sie ihre Wirkung im und mit dem Gewässersystem entfalten. Statt der derzeitigen isolierten Betrachtung einzelner Gewässerabschnitte müssen benachbarte Gewässerabschnitte oder Wasserkörper mitbetrachtet werden. Dies beinhaltet über eine Untersuchung der angestrebten biologischen Ausstattung des Gewässerabschnittes im Maßnahmenbereich hinaus weitergehende Untersuchungen der Anbindung bzw. Verbindung verschiedener Gewässerabschnitte.

So sollten zukünftige Maßnahmen nicht nur den Renaturierungsbereich fördern, sondern gezielt auf die Einbindung dieses Gewässerabschnittes als *Strahlursprung* in das Gewässersystem wirken. Ein *Strahlursprung* kann entwickelt oder verbessert werden, indem insbesondere die (Wieder-)Herstellung von typgerechten hydro-morphologischen Bedingungen in einem Gewässerabschnitt erfolgen, wie die Entfernung von Gewässerverbauungen im Sohlen- und Uferbereich, die Anbindung des Gewässers an den terrestrischen Bereich durch Sohlhebung oder Herstellung einer (Sekundär-)Aue einschließlich ihrer temporären und permanenten Auen- und Ufergewässer. Die eigendynamische Entwicklung ist erfahrungsgemäß der Schlüssel für eine naturnahe Gewässerentwicklung. Dazu bedarf es vor allem der Bereitstellung von Entwicklungsflächen im Gewässersystem (vgl. auch HALLE in diesem Heft), oftmals verbunden mit Einschränkung bisheriger Nutzungen, und zwar sowohl für Siedlungs-, Industrie- und Gewerbeflächen sowie Bereiche der Infrastruktur als auch auf ackerbaulichen Hochleistungsstandorten. Dabei kommt der Umwidmung von Flächen, dem Flächentausch und dem Flächenrecycling eine besondere Bedeutung zu.

Anzustreben ist weder die Vollständigkeit aller typgerechten strukturellen Merkmale, noch ist die Ausdehnung der Maßnahmen auf den gesamten verfügbaren Gewässerraum zwingend notwendig. Stattdessen möchte der DRL anregen, mit der Kenntnis über funktionale Zusammenhänge des Fließgewässerökosystems und nach dem Maximalprinzip der Ökonomie anzustreben:

- Bemessung der Größe eines Renaturierungsabschnittes anhand ökologischer Kriterien als *Strahlursprung*;
- Priorisierung struktureller Maßnahmen im Renaturierungsabschnitt anhand funktionaler Zusammenhänge für den Gewässerzustand;
- Bewertung der Anbindung des renaturierten Gewässerabschnittes an benachbarte (nicht renaturierte) Gewässerabschnitte im Hinblick auf deren Wirkung als *Strahlweg*.

Die konsequente Anwendung des Konzeptes der *Strahlwirkung* stellt einen Beitrag zum kosteneffizienten Einsatz der vorhandenen finanziellen Mittel für die notwendigen sinnvollen und zielgerichteten Maßnahmen der Gewässerentwicklung dar.

7 Summary²

The results of targeted studies of the morphological water structure in the watershed of the Ruhr and watercourses in other Federal Länder show evidence that semi-natural sections of water have a positive impact on neighbouring, structurally altered sections of water, therefore causing an improvement in their condition. This radiating effect is based on the active or passive migration of fauna and flora into the waters or water surroundings. It indicates the good ecological status or the good ecological potential in terms of the European Water Framework Directive in a

section of a watercourse by the biological quality components, although the morphological water structure is not (yet) optimal.

This radiating effect emanates from a semi-natural section of water – the radiation source –, which is distinguished by a stable biocoenosis that is rich in species and individuals as corresponds to the type of water. Therefore, on principle these are watercourse stretches that are in very good or good status. The minimum size of the radiation source is elementary depending on the type of water – it must be safeguarded by measures planning. Radiation sources do not necessarily need to be located in the main reaches of the watercourse; downstream of transverse structures or other interruptions to the watercourse continuum, inflowing tributaries, backwaters or other water segments (e.g. groyne fields) frequently act as radiation sources. The connecting radiating pathway is the stretch of water upon which organisms passively or actively move away from the radiation source. It is hardly possible for them to populate this stretch because of structural deficits – they merely migrate through. Stepping stones, or small, structurally rich sections of water with good habitat properties, can be populated at least temporarily, thus lengthening the radiating pathway. The radiating effect can account for several times the dimension of a radiation source.

We need to gain increased knowledge about the radiating effect by further intensifying basic and applied research, in order to support the substantiated further development of the specialist regulations.

Improving waters in ecological terms and in terms of the European Water Framework Directive should not be the job of a single sector, but ought to be embedded in the planning processes of the regional

planning, the land conservation and the urban planning sectors. Renaturation measures for waters need to be realigned: instead of the present isolated treatment of single sections of water, neighbouring sections of water or water bodies must be considered as well. Accordingly, the German Council for Land Stewardship (DRL) recommends that the measures be carried out according to knowledge of the functional interrelations of the watercourse ecosystem and according to the principle of maximal economy and supplies implementation-oriented proposals on the spatial dimensions of measures.

Knowledge and utilization of the radiating effect make it possible to implement the EU Water Framework Directive in a considerably more cost-efficient way. Targeted, regional measures for enlarging and interconnecting habitats and maintenance of waters in line with these goals can lead to area-wide improvement of the ecological condition. Use of funds can be optimized by restricting the measure in the section targeted for change to the minimum size required to activate the radiating effect, if supplemental supporting measures (e.g. removal of barriers or addition of stepping-stones) are implemented along the radiating pathway in the watercourse system.

As a result, even “rigid restricted areas” or “heavily modified waterbodies” can potentially be made accessible for improvement of the ecological condition, by creating or improving a radiation source that impacts them and by introducing elements for the radiating pathway within the restricted area under consideration.

² Translation/Übersetzung: Faith Gibson-Tegethoff.

8 Glossar

Abundanz: Anzahl von Organismen in Bezug auf eine Flächen- oder Raumeinheit. Betrachtet werden die Individuen eines Taxons, z. B. einer Art (Individuenabundanz bzw. -dichte) oder das Vorhandensein von Arten in einem Lebensraum (Artendichte).

Benthos: Am Grund von Gewässern lebende fest-sitzende und bewegliche Tierwelt.

Dekolmatierung: Beseitigung der → Kolmatierung.

Gewässerstationierung: Bundesweit abgestimmte Systematik für die Zuweisung von Daten und Informationen zu Fließgewässern, stehenden Gewässern und deren Einzugsgebieten.

Hydrochorie: Ausbreitung von Pflanzendiasporen mittels Wasser.

Hyporheal: Der wassergefüllte Lückenraum zwischen den Sanden, Kiesen und Steinen unter und neben der Sohle eines Fließgewässers, also der Bereich des im Untergrund mitfließenden Wassers. Dieser Lebensraum wird gewöhnlich als hyporheisches Interstitial bezeichnet.

9 Literatur

BfN - Bundesamt für Naturschutz (2005): Gebietsfremde Arten. BfN-Skripten Nr. 128. Bonn.

BfN - Bundesamt für Naturschutz (2007): Das Grüne Band. Vom Todesstreifen zur Lebenslinie. Bonn.

BMU - Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (2005) (Hg.): Die Wasserrahmenrichtlinie – Ergebnisse der Bestandsaufnahme 2004 in Deutschland. Berlin

BRIEM, E., SPITZER, A. & SCHRENK, G. (2004): Gewässerlandschaften der Bundesrepublik Deutschland. – Wasserwirtschaft, H. 7/8, S. 58-62.

Bundesnaturschutzgesetz vom 20. Dezember 1976, BGBl. I S. 3573 und vom 25. März 2002 (BGBl. I S. 1199) sowie letzte Änderung BGBl. I S. 1818.

BURCKHARDT, R., BAIER, H., BENZKO, U., BIERHALS, E., FINCK, P., LIEGL, A., MAST, R., MIRBACH, E., NAGLER, A., PARDEY, A., RIECKEN, U., SACHTELEBEN, J., SCHNEIDER, A., SZEKELY, S., ULLRICH, K., van HENGEL, U., ZELTNER, U. & ZIMMERMANN, F. (2004): Empfehlungen zur Umsetzung des § 3 BNatSchG „Biotopverbund“. Ergebnisse des Arbeitskreises „Länderübergreifender Biotopverbund“ der Länderfachbehörden mit dem BfN. – Naturschutz u. Biologische Vielfalt 2, Bonn.

BWK - Bund der Ingenieure für Wasserwirtschaft, Abfallwirtschaft und Kulturbau e.V. (2004): Ableitung von immissionsorientierten Anforderungen an Misch- und Niederschlagswassereinleitungen unter Berücksichtigung örtlicher Verhältnisse. Merkblatt 3 (M3), 2. Auflage, Juli, Pfullingen.

Deutsche IPCC-Koordinierungsstelle (Hg.) (2007): Vierter Sachstandsbericht (AR4) Klimaänderung 2007: Zusammenfassungen für politische Entscheidungsträger. Bern/Wien/Berlin. S. 28.

DRL - Deutscher Rat für Landespflege (1983): Stellungnahme. Integrierter Gebietsschutz. Schriftenreihe des DRL, Heft 41. S. 5-14.

EG (1979): Richtlinie 79/409/EWG des Rates vom 2. April 1979 über die Erhaltung der wildlebenden Vogelarten (Vogelschutzrichtlinie). ABl. L 103 vom 25.4.1979.

EG (1992): RL 92/43/EWG vom 21. Mai 1992 zur Erhaltung der natürlichen Lebensräume sowie

Interstitial: Porenraum unter der Gewässersohle, der als Grenzbiotop nach oben mit dem fließenden Oberflächenwasser und nach unten mit dem Grundwasser in Verbindung steht.

Invasive Arten: Arten, häufig Neobiota, die sich durch eine hohe Vermehrungsrate und Anpassungsfähigkeit auszeichnen und daher oft innerhalb kürzester Zeit neue Lebensräume erobern können.

Kolmatierung: Die Verstopfung der Hohlräume des Interstitials durch Schwebstoffe, Faulschlamm und Ablagerungen.

Konnektivität: Verbindung, Art und Weise einer Verbindung.

Makroinvertebraten: Wirbellose, tierische Organismen in Fließgewässern, die mit dem Auge noch erkennbar sind (z. B. Insekten und ihre Larven, Krebse, Würmer, Egel, Schnecken, Muscheln und Milben).

Merolimnische Arten: Insekten, die ihre Larvalphase im Wasser verbringen und als ausgewachsene Insekten zur Fortpflanzung das Wasser verlassen.

der wildlebenden Tiere und Pflanzen (Fauna-Flora-Habitat-Richtlinie), ABl. L 206 v. 22.7.1992.

EG (2000): Richtlinie 2000/60/EG des Europäischen Parlamentes und des Rates vom 23. Oktober 2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik. ABl. EG L 327 v. 22.12.2000, S. 1; Aktualisierung: ABl. EG L 331 v. 15.12.2001 A. 1.

EU (2003): CIS WG 2 A – Ecological status (ECOSTAT) – Overall approach to the classification of ecological status and ecological potential.

GALIL, B.; NEHRING, S. & PANOVA, V. (2007): Waterways as Invasion Highways – Impact of Climate Change and Globalization. – In: NENTWIG, W.: Biological Invasions. Ecological Studies 193, Berlin Heidelberg. S. 59-74.

GOLLASCH, S. & NEHRING, S. (2006): National checklist for aquatic alien species in Germany. – Aquatic Invasions, Volume 1, Issue 4. S. 245-269

HUSSNER, A. (2006): Die aquatischen Neophyten in NRW. – Decheniana 159. S. 39-50.

IKSR – Internationale Kommission zum Schutz des Rheins (2006): Biotopverbund am Rhein. Bericht und Atlas. Koblenz.

IRMER, U. & RECHENBERG, B. (2006): Allgemeine Anforderungen an den Schutz der Oberflächengewässer. – Handbuch der EU-Wasserrahmenrichtlinie, Hg. von: RUMM, P., von KEITZ, St. & SCHMALHOLZ, M., Berlin: Erich-Schmidt-Verlag. 2. Auflage. S. 103-132.

JEDICKE, E. (1994): Biotopverbund – Grundlagen und Maßnahmen einer neuen Naturschutzstrategie (2. Aufl.). Ulmer Verlag, Stuttgart. 287 S.

LAWA - Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (1998): Gewässerstrukturgütekartierung für die Bundesrepublik Deutschland – Verfahren für kleinere und mittlere Fließgewässer.

LAWA - Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (2004): Workshop LAWA-EUF Bonn III „Bestandsaufnahme nach WRRL: Vorgehensweise und Ergebnisse“ am 26./27. April in Siegburg

LUANRW - Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen (1998): Gewässerstrukturgüte in Nordrhein-Westfalen, Kartieranleitung. Merkblätter Nr. 14. Essen, 1. Auflage.

LUANRW - Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen (1999): Referenzgewässer der Fließgewässer-

Metapopulation: Gesamtheit diskreter, zur selben Art gehörende Unterpopulationen (Subpopulationen), die sich jedoch gegenseitig durch einen seltenen Austausch von Individuen beeinflussen; der größte Teil der Fortpflanzung erfolgt zwischen den Individuen derselben Unterpopulation.

Refugialraum: Rückzugsraum.

Restriktionsbereiche: Gewässerstrecken oder -bereiche, in denen ökologische Belange Einschränkungen oder Modifikationen durch grundsätzlich zulässige Ausbauten oder Veränderungen der Ufer, Gewässersohlen und Wasserkörper erfahren.

Taxon: Systematische Kategorie. Niedrigste Einheit ist die Art, folgende sind die Gattung, die Familie, die Ordnung, die Klasse und der Stamm.

Trittsstein: Inselartig in einer anders gearteten Umgebung gelegene Fläche, die eine Wanderung oder Ausbreitung von Organismen über größere Entfernungen ermöglicht oder verstärkt.

typen Nordrhein-Westfalens, Teil 1: Kleine bis mittelgroße Fließgewässer. Merkblätter Nr. 16, Essen.

LUANRW - Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen (2001): Gewässerstrukturgüte in Nordrhein-Westfalen, Anleitung für die Kartierung mittelgroßer bis großer Fließgewässer. Merkblätter Nr. 26. Essen, 1. Auflage.

LUANRW - Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen (2001): Referenzgewässer der Fließgewässertypen Nordrhein-Westfalens, Teil 2: Mittelgroße bis große Fließgewässer. Merkblätter Nr. 29, Essen.

LUANRW - Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen (2002): Fließgewässertypenatlas Nordrhein-Westfalens, Merkblätter Nr. 36, Essen

NEHRING, S. (2005): Neozoa (Makrozoobenthos) in den deutschen Gewässern – Eine Einführung. – Aqua et Terra umweltplanung Koblenz, www.neozoa.de (Stand 6.11.2007).

Ökoplan Bonn/Brandenburg (Hg.) (1997): Natura 2000. Schutz, Pflege und Entwicklung des europäischen Naturerbes. Bonn.

SCHÖNBORN, W. (2003): Lehrbuch der Limnologie. Stuttgart: E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung (Nägele u. Obermiller).

STENDER, K. (2005): Untersuchungen zur Strahlwirkung von Renaturierungsmaßnahmen. Ergebnisse eines Praxistrainings in der Entsorgung und Wasserwirtschaft vom 14.2. bis 30.9.2005 beim Ruhrverband Essen

STERNBERG, K. (1995): Populationsökologische Untersuchungen an einer Metapopulation der Hochmoor-Mosaikjungfer (*Aeshna subarctica elisabethae* Djanokov, 1922) (Odonata, Aeshnidae) im Schwarzwald. – Z. Ökologie u. Naturschutz 4: 53-60.

VÖLKER, J. & BORCHARDT, D. (2007): Hydromorphologische Bedingungen und deren Wechselwirkungen mit der Makrozoobenthosbesiedlung. Ergebnisse und Schussfolgerungen für die Umsetzung der WRRL in Bezug auf die Monitoringplanung und im Hinblick auf lokale, regionale und überregionale Umweltziele. Abschlussbericht. Im Auftrag des Hess. Landesamtes für Umwelt und Geologie (HLUG). Center for Environmental Systems Research (CESR), Abt. Integriertes Gewässermanagement, Universität Kassel.

Wasserhaushaltsgesetz – Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushaltes vom 12. November 1996, BGBl. 1695-1711.