ATV-DVWK-Arbeitsbericht

Wehre und Staue an kleinen und mittelgroßen Fließgewässern

- Grundlagen zu Strömung, Sedimenttransport und ökologischen Funktionen -1

"Kurzfassung" ²

Dieser Bericht gründet auf den Diskussionen im Arbeitskreis "Wasserbau und Flusslandschaft" im Fachausschuss 2.5 "Experimentelle und numerische Hydraulik" des DVWK, dessen Arbeit nach der Fusion mit der ATV in der Arbeitsgruppe WW-1.5 "Wasserbau und Flusslandschaft" im Fachausschuss WW-1 "Flussbauliche Belange" fortgeführt wurde. Folgende Mitglieder, Gäste und weitere Mitwirkende gehören der Arbeitsgruppe an:

Dr.-Ing. *Klaus Träbing*, Institut für Wasserwirtschaft und Kulturtechnik, Universität Karlsruhe seit 2002 Unger Ingenieure, Darmstadt (Sprecher der AG)

BD Dipl.-Ing Benno Dröge, Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz

BD Dipl.-Ing. H. Hansen, Wasser- und Schifffahrtsamt Duisburg-Rhein, Duisburg

Dipl.-Ing. Günter Hartmann, Wald + Corbe Beratende Ingenieure, Hügelsheim

Dr.-Ing. Wolfgang Hauck, Beigeordneter der Stadt Buchen (bis 1998 im Arbeitskreis)

Dr. rer. nat. Daniel Hering, Institut für Ökologie, Abt. Hydrobiologie, Universität Essen

Dipl.-Ing. *Margit Högner*, Högner & Scholtes Büro für Landschaftsarchitektur und Landschaftsökologie, Minheim Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c.mult. *Franz Nestmann*, Institut für Wasserwirtschaft und Kulturtechnik, Universität Karlsruhe

Dipl.-Geogr. Steven Roller, Gießen

Dipl.-Biol. Heike Rösgen, Graduiertenkolleg Ökologische Wasserwirtschaft, Universität Karlsruhe

WORn Dipl.-Ing Eva Schmitz, Umweltbundesamt, Berlin

Abteilungsleiter Dipl.-Geogr. Georg J. A. Schrenk, ATV-DVWK Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft,

Abwasser und Abfall e. V., Hennef

Dipl.-Geogr. Arno Schwarzer, Auenzentrum Echzell

MinRat Dr.-Ing. Bernd Worreschk, Ministerium für Umwelt und Forsten Rheinland-Pfalz, Mainz (LAWA-Betreuer)

Einführung

Die Unterbrechung der Durchwanderbarkeit von kleinen und mittleren Fließgewässern durch Wehre ist eine der offensichtlichsten ökologischen Wirkungen solcher Querbauwerke. Die Sicherung bzw. Wiederherstellung der Durchwanderbarkeit sind daher vorrangige Ziele des nationalen und internationalen Gewässerschutzes. Dabei sind Wehre nicht nur aufgrund dieser Barrierewirkung, sondern im Sinne einer allgemeiner verstandenen Durchgängigkeit auch durch die Wirkung auf die Strömungs- und Sedimentverhältnisse sowie der damit verknüpften Lebensgemeinschaften als ein erheblicher menschlicher Eingriff in das Gewässersystem anzusehen.

Diese ökologische Bewertung stützt sich bisher vor allem auf die deutlich veränderten Strömungsverhältnisse als Folge des künstlichen Staus im Gegensatz zu einem als natürlich angenommenen Fließgewässercharakter. Durch die in der Vergangenheit erzielten Erfolge des Gewässerschutzes, neben der Anhebung der Wasserqualität insbesondere die Verbesserung der Gewässerstruktur, sind zunehmend Situationen mit natürlichen Ur-

Anregungen zu diesem Arbeitsbericht sind erwünscht. Richten Sie diese bitte an die ATV-DVWK-Hauptgeschäftsstelle, Abteilung Wasserwirtschaft, Abfall und Boden, Theodor-Heuss-Allee 17, 53773 Hennef.

² Auf Grund des großen Umfangs kann der Arbeitsbericht an dieser Stelle nicht vollständig abgedruckt werden.

sachen für Staue in Gewässern wahrgenommen worden. Besonders augenfällig sind diese Effekte bei biogenen Faktoren der Strömungs- und Bettbildung, vor allem bei Biberdämmen und Totholzverklausungen. Eine einseitige Fixierung auf den Stau als wesentliches direktes oder indirektes Bewertungskriterium würde in diesem Fall eine Abgrenzung der künstlichen von natürlichen Verhältnisse verwischen.

Um die Unterschiede zwischen natürlichen Querstrukturen und künstlichen Querbauwerken zu erfassen, sind daher weitergehende Gesichtspunkte zu berücksichtigen. An dieser Stelle soll der hier vorliegende Bericht exemplarisch grundlegende Kenntnisse zu Querstrukturen am Beispiel von Wehren und Stauhaltungen an kleinen und mittleren Fließgewässern – überwiegend des Mittelgebirges – unter Hinblick auf einen Vergleich mit natürlichen Querstrukturen zusammenfassen.

Natürliche Querstrukturen wie Biberteiche und Totholzverklausungen werden meist als wertvolle Strukturbereicherung von Fließgewässern angesehen, künstliche Wehre hingegen als gravierende Beeinträchtigung der ökologischen Funktionsfähigkeit. Die wesentlichen Unterschiede liegen in dem Strukturreichtum natürlicher Querstrukturen und ihrer Staustrecken sowie der Strukturarmut künstlicher Stauhaltungen. Biberdämme, Biberteiche und Totholzverklausungen bieten daher einer Vielzahl von Organismen Lebensraum, während die meist monotonen Stauräume künstlicher Wehre eine deutliche Strukturverarmung gegenüber dem ungestauten Zustand bedingen. Daraus wurden Möglichkeiten und Ideen für die ökologisch begründete Verbesserung von Gestaltung und Betrieb von Wehren entwickelt und formuliert.

Am Beispiel der Querstrukturen an kleinen und mittleren Fließgewässern wurde eine Methodik abgeleitet, die sich auch für andere wasserbauliche Bauwerke und Maßnahmen anwenden lässt. Sie fußt auf der Analyse der Wechselwirkung von Strömungsbedingungen und Sedimentverhältnissen, die im vorliegenden Fall der künstlichen und natürlichen Querstrukturen noch um die Betrachtung der erheblichen Rückwirkungen der Organismen auf die Bedingungen in und an Fließgewässern erweitert wurde.

Ziele der Arbeit und Vorgehensweise

In diesem Bericht werden die Auswirkungen von dauerhaft stauwirksamen Querbauwerken im Hinblick auf die Strömung, die Sedimentverhältnisse und die Biozönosen von kleinen und mittleren Fließgewässern zusammengefasst und in Ergänzung zur derzeitigen Praxis eine erweiterte Methodik zur Beurteilung dieser Auswirkungen dargestellt.

Hierzu werden Wehre als Beispiel für anthropogene Querbauwerke beschrieben und ihre Funktionsweisen und Einsatzmöglichkeiten für verschiedene Gewässernutzungen aufgezeigt. Ihnen gegenüber gestellt werden verschiedene natürliche Querstrukturen, von denen Totholzverklausungen und Biberdämme detaillierter betrachtet werden. Mit Hilfe von Literaturstudien und durch die Auswertung von Freilandarbeiten zu dieser Thematik werden anschließend die Auswirkungen von Querstrukturen auf Fließgewässer, getrennt in den eigentlichen Stauraum, die Querstruktur selbst und den Unterwasserbereich dargelegt. Hierbei wird die Bedeutung der Gewässergröße diskutiert und die (pauschale) Übertragung von an einem bestimmten Gewässer gewonnenen Ergebnissen auf Gewässer anderer Größe und anderer Naturräume kritisch hinterfragt.

Nachdem Gemeinsamkeiten und Unterschiede zwischen natürlichen und anthropogenen Querstrukturen erarbeitet wurden, werden methodische Ansätze vorgestellt, die eine Bewertung von Querbauwerken in Bezug auf ihre Auswirkungen auf die ökologische Funktionsfähigkeit ermöglichen. Grundlage hierfür sind zum einen die von der LAWA erhobenen Leitbilder für Fließgewässer kleiner und mittlerer Größe. Konkretisierend erfolgt eine ergänzende Orientierung an den ohne den Einfluss des Menschen natürlicherweise in Gewässern vorkommenden Strukturen.

Es werden Möglichkeiten vorgestellt, die unter gewissen Voraussetzungen eine ökologisch verträglichere Gestaltung und nachhaltige Nutzung beim Betrieb von Wehren gestatten. Hierbei wird differenziert zwischen Anla-

Zusammenfassung - Ziele der Arbeit:

- Beschreibung der Auswirkungen von Querstrukturen in kleinen und mittleren Fließgewässern, v.a. in Bezug auf die Schlüsselparameter Strömung, Sedimenthaushalt und Lebensgemeinschaft
- Erarbeitung von Gemeinsamkeiten und Unterschieden zwischen anthropogenen und natürlichen Querstrukturen
- Vorstellung einer Methodik zur Bewertung der Auswirkungen von Querstrukturen
- Darstellung von Möglichkeiten einer ökologische verträglichen Bauweise und Nutzung von Querbauwerken (Möglichkeiten und Grenzen)

Ziel:

Charakterisierung anthropogener und natürlicher Querstrukturen in Fließgewässern

Kap. 2.1

Einführende Bemerkungen zu Gewässerstauen

- > Strömungsbedingungen
- ➤ Sedimentverhältnisse
- Wechselwirkung zwischen Strömungs- und Sedimentverhältnissen

Kap. 2.2

Anthropogene Querbauwerke am Beispiel der Wehre

- Allgemeines
- ➤ Elemente von Wehren
- Nutzungen und Aspekte der Gewässerentwicklung

Kap. 2.3

Natürliche Querstrukturen

- Charakteristika
- Biberdämme
- ➤ Totholzverklausungen

Ziel:

Beschreibung der ökologischen Auswirkungen von anthropogenen und natürlichen Querstrukturen v.a. in Bezug auf die Schlüsselfaktoren Strömung, Sedimenttransport und Biozönose.

Ableiten von Gemeinsamkeiten und Unterschieden zwischen anthropogenen und natürlichen Querstrukturen

Kap. 3

Ökologische Auswirkungen von Querstrukturen in Form von Wehren, Totholz- und Biberdämmen auf Gewässer

Differenzierung in:

Stauraum - Querstruktur – Unterwasser

Gemeinsamkeiten und Unterschiede zwischen anthropogenen und natürlichen Querstrukturen in raumzeitlicher Hinsicht

Ziel:

Praxisnahe Anleitung zur Bewertung der Auswirkung vorhandener Querstrukturen bzw. zur Planung von Neuanlagen

Kap. 4

Methodik zur Bewertung der Auswirkungen von Querstrukturen in Gewässern

Kap. 5

Darstellung von Möglichkeiten und Grenzen einer ökologisch verträglichen Bauweise und Nutzung von Querbauwerken

Bild 1: Ziele und Vorgehensweise

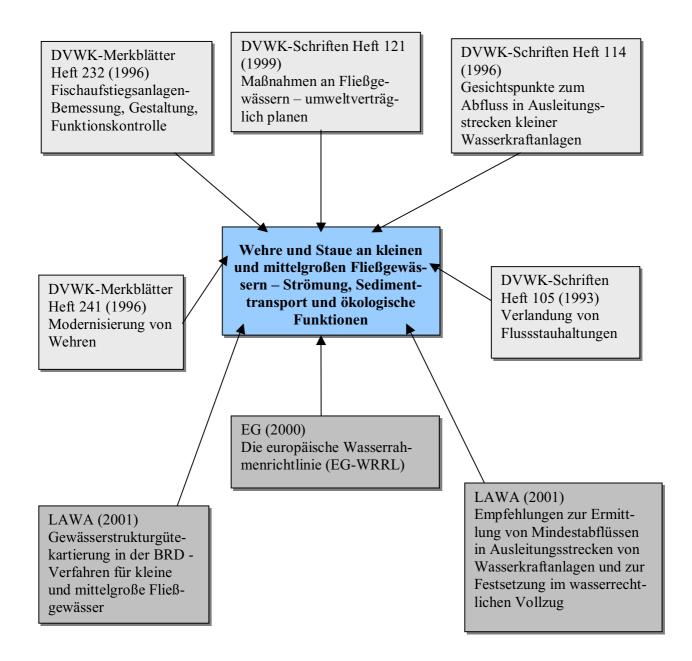


Bild 2: Thematische Einbindung der Veröffentlichung in bereits vorhandene Publikationen von DVWK und LAWA

gen, die der Nutzung des Gewässers durch den Menschen z. B. für die Energiegewinnung dienen und Anlagen, die errichtet werden, um einen bestimmten (ökologischen) Gewässerzustand zu erreichen oder zu erhalten. Zur besseren Nachvollziehbarkeit werden auch hier wieder die Teilbereiche Stauraum, Querbauwerk und Unterwasserbereich jeweils getrennt dargestellt.

Ein Literaturverzeichnis ermöglicht die Vertiefung von Einzelaspekten. Das Glossar soll dazu beitragen, die Lesbarkeit und Nachvollziehbarkeit der Publikation von einem interdisziplinären Leserkreis zu erhöhen. In Bild 1 werden Ziel und Vorgehensweise der Arbeit noch einmal veranschaulicht. Aufgrund der Tatsache, dass jedes Fließgewässer einen individuellen Charakter aufweist und eine generelle Übertragbarkeit von Ergebnissen nicht auf alle Gewässer pauschal anwendbar ist, konzentrieren sich sowohl die theoretischen Überlegungen als auch die Hinweise für die praktische Umsetzung auf kleine und mittlere Gewässer des Mittelgebirgsraumes. Soweit

eine Berücksichtigung von Gewässern anderer Naturräume bzw. großer Fließgewässer möglich ist, wird dies explizit erwähnt. Diese Arbeit steht nicht isoliert im Raum, sondern greift Fragestellungen auf, die bereits in anderen DVWK-Publikationen behandelt wurden und ergänzt und erweitert diese, vgl. Bild 2. So kann eine bestehende Lücke geschlossen werden, da der Kenntnisstand zu den Strömungs- und Sedimentverhältnissen an Flussstauhaltungen großer Fließgewässer zwar bereits beschrieben wurde, eine generelle Übertragbarkeit der dort gewonnen Ergebnisse auf kleinere und mittlere Gewässer aber nicht möglich ist. Einzelne ökologisch relevante Fragen zu Wehren, z. B. zur Durchwanderbarkeit von Gewässern mit Hilfe von Fischaufstiegsanlagen und Mindestabfluss wurden bereits bearbeitet, ebenso wurden technisch orientierte Inhalte zu Sanierung bzw. Modernisierung von Wehren zusammengestellt.

Eine Übersicht zur Thematik von Strömungs- und Sedimentverhältnissen unter dem Einfluss von Wehren an kleineren und mittleren Fließgewässern existiert bisher aber nicht. Auch Untersuchungen natürlicherweise in mitteleuropäischen Gewässern vorhandener Querstrukturen sind bisher nur in geringem Umfang publiziert noch nicht systematisch zusammengestellt worden.

Allgemeine Grundlagen zu Wehren und natürlichen Querstrukturen

Einführende Bemerkungen zu Gewässerstauen

Staue in Gewässern – unabhängig, ob sie durch künstliche Wehre oder natürliche Querstrukturen verursacht werden - heben den oberwasserseitigen Wasserspiegel an. Hierdurch wird die Fließtiefe und die Wasserspiegelbreite vergrößert, damit nimmt auch die durchströmte Querschnittsfläche zu. Umgekehrt proportional hierzu verringert sich in gleichem Maße die Fließgeschwindigkeit. Bei Niedrig- und Mittelwasserbedingungen werden durch den Stau die Wasserspiegel-, Energiehöhen- und Reibungsgefälle ebenso wie die Schleppkräfte vermindert.

Dies führt zunächst zur vergrößerten Sedimentationstendenz von Geschiebe und ggf. Schwebstoffen im Stauraum. Die zugrundeliegenden Wirkungsbeziehungen und Prozesse werden im folgenden erläutert.

Die Strömungsverhältnisse von Fließgewässern sind zeitlich nicht konstant, sondern vom Abfluss abhängig. Dabei hängt die Fließgeschwindigkeit maßgeblich vom Verhältnis der abflussverfügbaren Querschnittsfläche zum reibungswirksamen benetzten Umfang ab. Das Verhältnis von Fläche zu Umfang wird als hydraulischer Radius bezeichnet und bestimmt maßgeblich, wie stark die Strömung durch die Reibung an der Sohle gebremst wird. Hierzu sind noch die Rauheiten der Sohle und Ufer und das Gefälle zu berücksichtigen. **Grundsätzlich** gilt, dass die Fließgeschwindigkeit umso größer ist,

- je größer das Verhältnis von durchströmter Querschnittsfläche zu benetztem Umfang (der hydraulische Radius) ist
- je geringer die Fließwiderstände durch Rauheit und Formwiderstände sind
- je größer das Gefälle ist.

Der Abfluss, der sich aus dem Produkt von Fließgeschwindigkeit und Querschnittsfläche bestimmt, nimmt also mit

- zunehmender Fließgeschwindigkeit (maßgebliche Einflüsse s.o.)
- zunehmender Querschnittsgröße

zu. Mit zunehmendem Abfluss wird mehr Querschnittsfläche gefüllt. Hierdurch vergrößert sich bei kompakten Querprofilen bis zum Ausufern üblicherweise auch der hydraulische Radius.

Für frei fließende Strecken ergibt sich eine eindeutige Verknüpfung zwischen Geometrie und Strömung, so dass jedem Abfluss eine Wasserspiegellage zugeordnet ist. Aus dem Längsverlauf der Wasserspiegellage bestimmt sich das Wasserspiegelgefälle. Je größer dieses ist, um größer ist in der Regel auch die stromab gerichtete Kraft, die durch die entgegengesetzte Reibung an Sohle und Ufern kompensiert wird. Die Reibung der

Strömung an den begrenzenden Wandungen von Sohle und Ufer steigt mit zunehmender Fließgeschwindigkeit an. Der Zusammenhang zwischen den geometrischen Größen (Fließtiefe, benetzter Umfang, Querschnittsfläche, Rauheit, Gefälle) und hydraulischen Parametern (Fließgeschwindigkeit, Schleppkraft) wird für die technische Anwendung mit Fließformeln erfasst. Die gegenseitige Beziehung der dabei berücksichtigten Parameter ist oft nicht-linear.

Durch einen Stau vergrößert sich an der Staustelle die Fließtiefe und die Querschnittsfläche. Deshalb zeichnet sich ein **gestauter Bereich** durch eine geringere Fließgeschwindigkeit und gemäß den weiterhin gültigen Fließformeln auch kleinere Reibung aus. Hieraus folgt eine Verringerung des Wasserspiegelgefälles in Richtung Oberwasser. Daher weisen die Stauräume neben reduzierten mittleren Fließgeschwindigkeiten auch im Vergleich zum mittleren Sohlhöhengefälle geringere Wasserspiegelgefälle als ungestaute Gewässerabschnitte auf.

Im Stauraum werden die maximalen Fließgeschwindigkeiten reduziert, hierdurch wird das Spektrum der Fließgeschwindigkeiten eingeschränkt. Der oberwasserseitige Übergang vom gestauten zum ungestauten Gewässerabschnitt wird durch die Stauwurzel gebildet. Ab dieser Stelle ist der Einfluss des Staus in Richtung Oberwasser vernachlässigbar klein.

Im Gegensatz zu ungestauten Abschnitten werden die Wasserspiegellagen in gestauten Bereichen weniger durch die Reibung des fließenden Wassers an der Wandung als vielmehr durch die unterwasserseitige Stauhöhe bestimmt. Diese gibt bei Niedrig- und Mittelwasser über weite Bereiche des Staus die Wasserspiegellage und damit die Querschnittsfläche vor. Beide Größen und die davon abgeleiteten Parameter wie Wasserspiegelbreite oder benetzter Umfang sind deshalb nur noch schwach vom Abfluss abhängig und unterscheiden sich damit deutlich von frei fließenden Strecken. Demgegenüber ist die Fließgeschwindigkeit bei diesen Abflusssituationen in gestauten Bereichen stärker durchflussabhängig als in frei fließenden Strecken, denn zunehmender Abfluss wird nicht wie in ungestauten Abschnitten überwiegend durch Querschnittsflächenvergrößerung, sondern maßgeblich durch erhöhte Fließgeschwindigkeiten erzielt. Dieser Effekt wird umso geringer, je größer die Fließgeschwindigkeit und damit die Reibung wird, denn in diesem Fall steigen das Gefälle und die Wasserspiegellagen an.

Zusammenfassend zeigt der Vergleich zwischen ungestauten und gestauten Abschnitten bei den geometrischen Kenngrößen (z. B. Wasserspiegelbreite, Fließtiefe, benetzter Umfang) bei Niedrig- und Mittelwasser eine geringere und bei den Kenngrößen der Strömung (u.a. Fließgeschwindigkeit, Schleppkraft) eine höhere Abflussabhängigkeit. Die Dynamik (zeitliche Veränderlichkeit) der Kenngrößen wird sowohl für frei fließende als auch für gestaute Strecken durch den zeitlich veränderlichen Abfluss ausgelöst. Für gestaute Abschnitte tritt die Wirkung des Staus hinzu, der mit zunehmendem Abfluss geringer wird.

Je größer der Abfluss ist, umso mehr nähert sich die gestaute Strecke den frei fließenden Strecken an. Dieser Prozess wird bei Hochwasserabflüssen maßgeblich. Unter diesen Bedingungen können die Schleppkräfte und Transportkapazitäten des Gewässers ausreichen, um Geschiebe und Schwebstoffe durch den Stauraum und über die Querstruktur (z. B. künstliches festes Wehr oder auch natürlicher Totholzriegel) zu transportieren. Sedimente, die sich bei Niedrig- und Mittelwasser im Stauraum abgelagert haben, können dabei wieder zum Transport gelangen. Die bei Hochwasser auftretenden Schleppkräfte, wie sie durch Sohlenschubspannungen und Turbulenz bestimmt werden, reichen allerdings selten aus, um den Stauraum wieder völlig zu räumen.

Allgemein lässt sich davon ausgehen, dass bei Niedrigwasser die strömungsverzögernde hydraulische Wirkung eines Staus im Vergleich zu ungestauten Abschnitten insbesondere umso größer ist,

- je kleiner der Abfluss ist,
- je weniger der Stauraum verlandet ist,
- je größer die Rückstaulänge ist,
- je kleiner das mittlere Sohlhöhengefälle ist und
- je größer die Stauhöhe ist.

Anthropogene Querbauwerke am Beispiel der Wehre

Wehre sind Querbauwerke an Fließgewässern. Sie bilden eine "durchgehend massive, nicht unbedingt feststehende Barriere in einem Wasserlauf für die Ableitung, Regelung oder Messung des Abflusses".

Sie unterscheiden sich von Talsperren, deren Bauwerkshöhe mindestens fünf Meter und deren Speicherraum mindestens 100.000 m³ beträgt, auch dadurch, dass sie nicht überwiegend der Speicherung des Abflusses dienen. Ähnliche Kriterien können auch zur Abgrenzung von anderen Formen der Querbauwerke wie Schwellen oder Rampen herangezogen werden.

Wehre stauen Flüsse und Bäche zum Zweck, den Wasserspiegel anzuheben und somit verschiedene Nutzungen zu ermöglichen oder zu erleichtern, bzw. einen bestimmten ökologischen Gewässerzustand zu gewährleisten. Hierzu gehören beispielsweise:

- die Nutzung der Wasserkraft zur Energiegewinnung
- die Verbesserung bzw. Erleichterung der Schiffbarkeit eines Gewässers
- die Ableitung von Wasser für unterschiedliche Zwecke, z. B. zur Bewässerung
- Erhaltung bzw. Wiederherstellung eines bestimmten Gewässerzustandes, z. B. Schutz vor Tiefenerosion oder Vermeidung von Grundwasserabsenkung

Wehre verursachen aufgrund der Wechselwirkung zwischen Strömung und Sedimentverhältnissen eine morphologische Veränderung des Gewässers, besonders in Bezug auf Sohlen- und Wasserspiegellage. Diese Prozesse führen v.a. in Abhängigkeit von Bauwerkstyp, -alter und -funktion, Gewässertyp, Einzugsgebiet und deren jeweilige Nutzung nach der Störung des alten morphologischen Ausgangszustandes zu einem neuen morphologischen Gleichgewichtszustand. Dieses wirkt sich auch auf die Biozönosen aus.

Natürliche Querstrukturen

Neben den beschriebenen anthropogenen Wehren gibt es auch natürliche Ursachen für Wasserspiegelanhebungen, ggf. in Kombination mit Stillwasserbereichen. Die folgende Tabelle 1 zeigt ausgewählte natürliche Querstrukturen.

Hieraus geht hervor, dass natürliche Stauwasserbereiche an kleinen Fließgewässern i.d.R. abflussabhängig sind. Sie wirken bei Niedrigwasser besonders deutlich und erhöhen dann die räumliche Variabilität erheblich, z. B. durch Gumpen in Pool-Riffle-Sequenzen. Eine wichtige Ausnahme sind Totholzverklausungen, sofern sie nur den oberen Abflussquerschnitt verlegen. In diesem Fall tritt die Wirksamkeit erst bei Hochwasser auf, so dass dann zwar eine Stauwirkung auftritt, der Abfluss aber an der Engstelle dennoch ausreicht, um durch einen Düseneffekt trotz der damit verbundenen konvergenten Strömung eine Geschiebedurchgängigkeit zu gewährleisten. Die Aussagen zu natürlichen Querstrukturen konzentrieren sich im folgenden auf Totholzansammlungen und Biberdämme, da diese in der hydraulischen Stauwirkung den Wehren vergleichbare Strukturen darstellen.

Natürliche Totholzansammlungen, die das Gewässerbett queren, sind vor allem in Gewässern bis 3., ausnahmsweise auch bis 4. Ordnung nach dem Konfluenzprinzip anzutreffen (Keller & Swanson, 1979). In der heutigen Kulturlandschaft treten Totholzakkumulationen aufgrund des erheblichen menschlichen Einflusses nur noch als äußerst rudimentäre Relikte bzw. überhaupt nicht mehr auf, da sie aus Gründen wie z. B. dem vorbeugenden Hochwasserschutz im Rahmen der Unterhaltung den Gewässern entnommen werden. Erst in den letzten Jahren wurde Totholz wieder in den Gewässern belassen bzw. gezielt in kleine Gewässer eingebracht.

Wie sich bei der Durchsicht historischer Literatur und durch die Analyse von Flur-, Gewässer und Ortsnamen ergibt, war der Biber früher in ganz Mitteleuropa heimisch. Durch intensive Bejagung waren die Tiere im vergangenen Jahrhundert bis auf wenige Restbestände nahezu vollständig verschwunden. Daher können die beschriebenen natürlichen Verhältnisse zum Teil nur aus der Literatur, in der die Verhältnisse für Gebiete außerhalb von Mitteleuropa beschrieben sind, abgeleitet werden. Es ist davon auszugehen, dass solche Strukturen unter

Tabelle 1: Natürliche Querstrukturen in Fließgewässern und ausgewählte Charakteristika

Querstruktur	natürliche Dauerhaftigkeit ²⁾	Wirksamkeit (Abflussbereich) 3)
Querbänke an Kolk-Furt-Abfolgen (Pool-Riffle-Sequenzen)	regelmäßiges Vorkommen	NW, MW
Stufenabstürze in Kaskadensystemen (Step-Pool-Systeme)	regelmäßiges Vorkommen	NW, MW
Totholzverklausungen im unteren Abflussquerschnitt	temporär (u.U. Jahrzehnte) ¹⁾	überwiegend NW
Totholzverklausungen im oberen Abflussquerschnitt	temporär (u.U. Jahrzehnte) ¹⁾	überwiegend HW
Biberdämme	temporär (u.U. Jahrzehnte) ¹⁾	NW, MW
Murgangschüttfächer (überwiegend alpine und hochmontane Gewässer)	variabel ¹⁾	NW, MW
Sohldurchwurzelungen	regelmäßiges Vorkommen	NW

¹⁾ nicht abschließend geklärt

natürlichen Bedingungen auch in Deutschland in dafür geeigneten Naturräumen wieder auftreten. Die erfolgreichen Wiederansiedlungen der Biber an verschiedenen Stellen (z. B. Spessart, Eifel) sind hierfür ein gutes Beispiel.

Ökologische Auswirkungen von Querstrukturen

Die Ermittlungen der Konsequenzen von Wehren als anthropogenen Querstrukturen in Gewässern erfolgte zum einen durch die Auswertung bereits vorhandener Publikationen in Form von Literaturstudien zu diesem Thema, zum anderen durch die Auswertung von Untersuchungen, die von einzelnen Mitgliedern des Arbeitskreises durchgeführt worden waren. Die Ergebnisse aus Recherche und Freilandarbeiten werden differenziert für verschiedene Naturraumtypen und Gewässergrößen dargestellt. Wie bereits eingangs erwähnt, konzentrieren sich die eigenen Erhebungen auf kleine bis mittelgroße Gewässer, während in der Literatur auch häufig Auswirkungen von Stauanlagen auf große Gewässer untersucht wurden. Generell ist zu berücksichtigen, dass bei der Beurteilung der Auswirkungen von Stauhaltungen immer auch weitere am Gewässer vorgenommene anthropogene Eingriffe wie z. B. Wasserentnahmen betrachtet werden müssen. Auffällig ist, dass ökosystemare Langzeituntersuchungen, die den Gewässerzustand vor und nach dem Ausbau hinsichtlich der beschriebenen Parameter untersuchen, fast vollständig fehlen. Ebenso sind kaum Untersuchungen über den zeitlichen Ablauf und die

²⁾ abhängig von Naturraum und Gewässergröße

³⁾ NW: Niedrigwasser, MW: Mittelwasserabflüsse, HW: Hochwasserabflüsse

Irreversibilität der Veränderungen vorhanden. In der Regel beziehen sich die Untersuchungen auf einzelne Stauanlagen und die nähere Umgebung derselben. Ökologische Auswirkungen von Wehren oder Staustufenketten auf das Gesamtgewässer wurden mit Ausnahme von Erhebungen zur Durchwanderbarkeit selten untersucht.

Zusammenfassender Vergleich künstlicher und natürlicher Querstrukturen

Prinzipiell ähneln sich natürliche Querstrukturen (Biberdämme, große Totholzverklausungen) und künstliche Stauwehre in ihren Auswirkungen auf die flussaufwärts und flussabwärts gelegenen Gewässerabschnitte. Je nach Bauwerkstyp und Stauhöhe kann es im Oberwasser zur Ausbildung großer strömungsberuhigter Zonen, von Feinsedimentauflagen und einer entsprechend veränderten Besiedlung kommen. Geschiebedefizite und Sekundärbelastungen sind im Unterwasser von Wehren belegt, im Unterwasser natürlicher Querstrukturen zumindest denkbar.

Natürliche Querstrukturen wie Biberteiche und Totholzverklausungen werden meist als wertvolle Strukturbereicherung von Fließgewässern angesehen, künstliche Wehre hingegen als gravierende Beeinträchtigung der ökologischen Funktionsfähigkeit. Die wesentlichen Unterschiede liegen in dem **Strukturreichtum natürlicher Querstrukturen und ihrer Staustrecken** sowie der **Strukturarmut künstlicher Stauhaltungen**. Biberdämme, Biberteiche und Totholzverklausungen bieten daher einer Vielzahl von Organismen Lebensraum, während die meist monotonen Stauräume künstlicher Wehre eine deutliche Strukturverarmung gegenüber dem ungestauten Zustand bedingen.

Methodik zur Bewertung der ökologischen Auswirkungen von Querstrukturen

Das Beispiel von Querstrukturen in kleinen und mittleren Fließgewässern des Mittelgebirges zeigt, wie anhand des qualitativen Vergleichs von natürlichen mit anthropogenen Verhältnissen durch die Weiterentwicklung des verfügbaren Wissens neue Gesichtspunkte auftreten können. Die dabei zu berücksichtigenden Kriterien orientieren sich am gewässerökologischen Idealzustand einer vom Menschen ungestörten zukünftigen Entwicklung, formuliert als heutiger potenziell-natürlicher Gewässerzustand (hpnG). Dabei wird nicht rein deskriptiv vorgegangen, indem nur die angetroffenen Zustände am Gewässer beschrieben werden, sondern es wird auf die Prozesse sowie die daraus abgeleiteten ökologischen Funktionen abgezielt. Dies bedeutet nach Sichtung des vorliegenden und dokumentierten Stand des Wissens zunächst eine unabhängige Analyse des Strömungs- und Sedimentgeschehens unter Berücksichtigung von praktischen Erfahrungen. Dabei kann die qualitative Beschreibung vom Ansatz her bei entsprechendem Aufwand durch quantifizierbare Kriterien konkretisiert und ergänzt werden. Am Beispiel der Querstrukturen bezieht sich die qualitative Beschreibung zunächst auf die Wirkung von Stauanlagen auf die Strömung, die Sedimentverhältnisse sowie deren Wechselwirkung. Aus allgemeiner Sicht ist dieser Schritt grundlegend, da eine Wechselwirkung zwischen Strömung und Morphologie immer zu erwarten ist. Auf zusätzliche Gesichtspunkte im gewässermittelbaren oder gewässerunmittelbaren Umfeld, beispielsweise die Grundwasserstände in der Aue, wird verwiesen. Die Sichtung des Standes des Wissens liefert am vorliegenden Beispiel eine Wirkungskette, die von der stauenden Querstruktur ausgeht und über die veränderten Strömungsverhältnisse zu den veränderten Sedimentbedingungen und dann zu den veränderten Lebensgemeinschaften führt. Diese Wirkungsanalyse ist relativ gut belegt. Beobachtungen, weitergehende praktische Erfahrungen und abschließende Plausibilitätskontrollen zeigen die Gültigkeit und die Grenzen dieser vereinfachten Wirkungskette auf, indem auf offensichtlich zu beobachtenden Geschiebetransport über Wehre hinweg zu verweisen ist. Diese einfache qualitative Aussage wäre nur durch aufwändige Messungen zum Geschiebehaushalt an Einzelfällen zu quantifizieren und ggf. zu übertragen, ist jedoch in ihrer Bedeutung für die Gewässer und deren ökologischen Funktionen offensichtlich. Solche Grenzen der Wirkungsanalyse können bei einer Übertragung des Wissens von großen auf kleine Gewässer leicht übersehen werden.

Eine weitere Grenze der Analyse liegt in der Kenntnis natürlicher Verhältnisse. Hier wurde in der Vergangenheit die Existenz von natürlichen stauenden Querstrukturen und der damit verbundenen Staubereiche vernachläs-

sigt, natürliche Verhältnisse an Fließgewässern mithin oft als durchgehend frei fließende Gewässer angenommen. Diese Hypothese, die nach heutigem Wissen für große Gewässer selbstverständlich zutrifft, wurde ebenfalls auf mittlere und kleine natürliche Gewässer übertragen, ohne die zugrunde liegenden Randbedingungen vollständig erfasst zu haben. Bereits durch die ergänzende qualitative Berücksichtigung neuer Kriterien wie biogener Faktoren der Bett- und Strömungsbildung ist diese Hypothese kritisch zu hinterfragen. Ergebnis ist die Bewertung von Staubereichen als natürliche Elemente von Fließgewässern, sofern u.a. zumindest die Aspekte von Strukturreichtum und Gewässergröße berücksichtigt werden.

Zwei in diesem Bericht formulierte Gesichtspunkte zu Querstrukturen - die Geschiebedurchgängigkeit von Querstrukturen nach Erreichen eines morphologischen Reifezustandes des Stauraumes und die Existenz natürlicher stauender Querstrukturen als Folge von biogenen Prozessen - erschließen sich bei einer Übertragung von Ergebnissen zu großen Fließgewässern auf die Verhältnisse an kleinen Fließgewässern zunächst nicht. Nach sehr gründlicher Sichtung des bestehenden Wissens lassen sich dennoch entsprechende Arbeitshypothesen ableiten. Deren Bestätigung konnte erst durch praktische Beobachtungen als gesichert gelten und zeigt die Erfordernis, entsprechende Freilanderfahrungen zu berücksichtigen. Aus diesem Grund sollte die Akzeptanz sowohl für Grundlagenbeschreibungen als auch für konkretisierende Schlussfolgerungen durch Naturuntersuchungen untermauert sein. Hier liegen im Beispiel von Querstrukturen einige offene Fragen zur quantitativen Benennung von Kriterien, konkret z. B. zur Dauerhaftigkeit natürlicher Querstrukturen sowie zu Gewässergröße und Naturraum ihres Auftretens. Unstrittig ist die der Bewertung zugrunde liegende Methodik des Vergleichs des anthropogenen Zustandes mit heutigen potenziell-natürlichen Verhältnissen unter bedarfsweiser Berücksichtigung zusätzlicher Gesichtspunkte wie Arten- und Biotopschutz. Hieraus lassen sich dann unter

Tabelle 2: Erfassungsmethodik für die Wirkung von Bauwerken und Maßnahmen auf die Strömung, die Sedimentverhältnisse und die Biozönose an Fließgewässern

Allgemein formulierter Bearbeitungsschritt	Bearbeitungsschritt am Beispiel der exemplarischen Bearbeitung von Wehren an kleinen und mittleren Ge- wässern
Analyse des bisherigen Wissens, wie es in der Lite- ratur niedergelegt ist	Wirkung von Stauen auf die Strömung, den Sedimenttransport und die gewässerökologischen Wirkungen, überwiegend im Analogieschluss von großen auf mittlere und kleine Gewässer übertragen
Analyse der praktischen Er- fahrungen zu den Bauwer- ken	Erfahrungen der Unterhaltungspflichtigen mit den Sedimentauflandungen nach Hochwasserereignissen im <i>Unter</i> wasser von alten Wehren
Abgleichende Überprüfung und Wertung der Literatur unter besonderem Hinblick auf praktische Erfahrungen	Entgegen der weit verbreiteten Meinung können anthropogene Querbauwerke teilweise für den Sedimenttransport durchgängig sein
Analyse natürlicher Ent- sprechungen menschlicher Bauwerke	Natürliche Querstrukturen (v.a. Totholzstrukturen und Biberdämme) und ihre Wirkung auf Strömung, Sedimentbedingungen und ökologische Verhältnisse in Abhängigkeit von Naturraum, Gewässergröße und Abfluss
Abgrenzung natürlicher von anthropogenen Wirkungen und deren Ursachen	Material, Dauerhaftigkeit, Höhe, Gewässergröße und Naturraum

Bezug auf die ökologischen Funktionen gegebenenfalls einfache Verbesserungsmöglichkeiten des künstlichen Zustandes erreichen. Dabei soll nochmals explizit auf den Unterschied zwischen den Funktionen eines Zustandes und dessen Ursprung nach natürlicher oder künstlicher Herkunft hingewiesen werden.

Für Vorschläge zur Verbesserung der gewässerökologischen Situation sind sowohl deren Erfolgsaussichten als auch weitere Restriktionen, beispielsweise rechtliche Hintergründe oder weitergehende sozio-ökonomische Kriterien, zu berücksichtigen. Im Falle von stauenden Querstrukturen hat sich gezeigt, dass die überwiegende Fixierung der Bewertung auf die Strömungsverhältnisse und die daran anschließende Wirkungskette nicht ausreicht, da auch natürliche Staue existieren.

In anderen Fällen kann eine Fortschreibung des Stands des Wissens selbstverständlich auch zu einer kritischeren Bewertung des künstlichen Zustandes führen, unter diesen Umständen sind die Ansprüche des Gewässerschutzes möglicherweise zu verschärfen. Eine allgemein formulierte Bearbeitungsmethodik und ihre Konkretisierung am Beispiel der Querstrukturen ist in Tabelle 2 wiedergegeben. Der abschließende Schritt, die Ableitung von Verbesserungsmaßnahmen, kann aufgrund der neuen ergänzenden Bewertung von künstlichen Querstrukturen im Vergleich zu natürlichen Verhältnissen nur als einfache skizzenhafte Ideen geschehen. Die konkrete Formulierung und Umsetzung hängt von einer Reihe von Einzelparametern ab und wird im folgenden Kapitel dargestellt.

Ökologisch begründete Möglichkeiten für die Gestaltung und den Betrieb von Wehren

Bei einer ökologisch begründeten Gestaltung von Wehren kann nicht für alle Anlagen in der gleichen Weise vorgegangen werden, da unterschiedliche Randbedingungen die Umsetzungsmöglichkeiten stark beeinflussen. Hierzu zählt neben dem Zweck des Bauwerks auch dessen baulicher Zustand (Bauart, usw.) und die Betriebsweise sowie der rechtliche und finanzielle Rahmen einer Gestaltung. Es kann deshalb keine einheitliche und allgemein umfassende Empfehlung gegeben werden. Aus diesem Grund werden die Wehre kleiner Fließgewässer entsprechend ihrem hauptsächlichem Bauwerkszweck nach in nutzungs- und gewässerbezogene Anlagen unterteilt. Bestimmte ökologische Funktionen, die aus übergeordneter Sicht als zwingend erachtet werden, sind sowohl an nutzungs- als auch gewässerbezogenen Anlagen zu gewährleisten. Ein geeignetes Beispiel bei Querstrukturen ist die Sicherstellung der Durchgängigkeit im Sinne der Durchwanderbarkeit, die zumindest bei anthropogenen Bauwerken oft dauerhaft unterbrochen wird. Entsprechende Gestaltungsmöglichkeiten wie beispielsweise die Anlage von Fischaufstiegsanlagen sind in der Literatur ausführlich dokumentiert (z. B. DVWK-Merkblatt zu Fischaufstiegsanlagen, LfU-Leitfaden zur Wiederherstellung der Durchgängigkeit von Fließgewässern) und daher nicht Gegenstand dieses Arbeitsberichtes.

Gezielte Anlage von Querstrukturen: Anwendungsbereiche

Die Anlage oder Förderung solcher "gewässerbezogenen" Querstrukturen, die nicht mit Nutzungen des Gewässers in Zusammenhang stehen, ist in folgenden Fällen zu empfehlen:

- 1. In eingetieften Gewässern: Die Sohlenanhebung und die Sanierung eingetiefter Gewässer stellt ein erhebliches Problem bei Renaturierungsmaßnahmen und Gewässerunterhaltungsmaßnahmen aller Art dar. Die gezielte Anlage von Querstrukturen, die sich in ihrer Form und Funktion an natürlichen Vorbildern orientieren, kann hier eine Lösung darstellen.
- 2. In Gewässern, in denen Wehre rückgebaut werden oder verfallen: Der Rückbau von Wehren, die keine Funktion mehr erfüllen, ist eine sinnvolle Maßnahme zur Verbesserung der Durchwanderbarkeit von Fließgewässern. Er kann, gerade bei sehr alten Wehren, jedoch mit erheblichen negativen Auswirkungen auf die Gewässermorphologie verbunden sein. Im Stauraum akkumuliertes Material wird ausgeschwemmt, eine vorhandene Eintiefung im Oberwasser, die durch den Stau verdeckt wurde, wird wieder

offensichtlich und es kann zu rückschreitender Erosion kommen (s.o.). Alternativ zu einem Rückbau kann daher die Umwandlung des Wehres in eine Querstruktur, die sich an natürlichen Vorbildern orientiert, in Betracht gezogen werden.

- 3. In eintiefungsgefährdeten Gewässern: Zur Verhinderung weiterer Eintiefung werden häufig Sohlschwellen verwendet. Alternativ können auch die unten angeführten Bauweisen angewandt werden.
- 4. In strukturarmen Gewässern: Begleitend zu anderen Maßnahmen im Zuge der Renaturierung strukturarmer Gewässer können künstliche Querstrukturen angelegt werden, die neben einer Anhebung der Gewässersohle auch zur Förderung der Breitenerosion und zur Diversifizierung der Strömung beitragen können. Vor allem in kleinen Gewässern können sie auch zum Rückhalt von Sediment und von organischem Material beitragen.

Die im folgenden geschilderten Maßnahmen sollten nur in den oben angeführten Situationen und nur bei Berücksichtigung aller Restriktionen wie beispielsweise des lokalen Hochwasserschutzes verwendet werden. Zusätzlich müssen auch folgende negative Effekte beachtet werden, die in einzelnen Fällen auftreten können:

- In organisch belasteten Gewässern können bereits natürliche Querstrukturen zu massiver Sauerstoffzehrung und zur Ausbildung anoxischer Zonen im Oberwasser führen. Durch die verringerte Strömungsgeschwindigkeit und den verminderten Eintrag atmosphärischen Sauerstoffes kann es in gestauten Gewässern höherer Saprobiestufen zu Sauerstoffschwund kommen. In organisch belasteten Gewässern sollten die im folgenden geschilderten Maßnahmen daher nicht angewandt werden.
- In organisch belasteten Gewässern kann auch die Ausbildung von Verzweigungen oder Nebengerinnen, die durch einige der folgenden Maßnahmen induziert werden können, problematisch sein. Die geringere Wassermenge in kleineren Gerinnen führt fast immer zur Abnahme der Turbulenz und des atmosphärischen Sauerstoffeintrages; in Folge dessen macht sich die Sauerstoffzehrung besonders bemerkbar. Generell sollten daher für Gewässer hoher Saprobiestufen andere Maßnahmen zur Renaturierung und zur Morphologie angewandt werden der Erhalt bzw. die Förderung einer turbulenten Strömung ist hier wesentlich.
- Es ist zu vermuten, dass manche natürliche und halbnatürliche Querstrukturen für bestimmte Fischarten nicht durchwanderbar sind. Es sollte daher bei der Neuanlage in jedem Einzelfall geprüft werden, ob Wanderwege unterbrochen werden.

Ziele und erwartete Effekte

Die Ziele der geschilderten Maßnahmen können wie folgt zusammengefasst werden:

- Anhebung des Wasserspiegels. Analog zu den bereits geschilderten Verhältnissen an Biberdämmen und an großen Totholzverklausungen soll ein Anstieg des Wasserspiegels durch einen gewissen Staueffekt erreicht werden. Hierdurch kann es auch zu einem Anstieg des Grundwasserspiegels in der Auekommen.
- Sedimentation und Geschieberückhalt. In stark geschiebeführenden Bächen können die Bauwerke Geschiebe zurückhalten und somit in kurzer Zeit zu einer Sohlenanhöhung beitragen. In Gewässern ohne Geschiebetrieb kann die Sohlenanhöhung nur in langen Zeiträumen erreicht werden, aufgrund der verringerten Fließgeschwindigkeiten im Oberwasser des Bauwerkes, die ihrerseits zu einer verstärkten Sedimentation von Sand und organischem Material beiträgt.

- Änderung der Choriotopstruktur. Durch die verminderten Strömungsgeschwindigkeiten im Oberwasser sedimentiert verstärkt Feinmaterial und organische Substanz, was zu einer entsprechenden Veränderung der Mikrohabitatstruktur führen kann.
- Auskolkung im Unterwasser. Durch die Querstruktur kann es im Unterwasser zur Ausbildung von Kolken kommen. Mittelfristig können einzelne Querstrukturen daher auch zu einer Eintiefung im Unterwasser führen. Generell sollten daher längere Strecken durch Einbau mehrerer Querstrukturen saniert werden.
- Verstärkte Seitenerosion im Oberwasser. Je nach Lage und Ausrichtung der Querstruktur kann der Stromstrich gezielt an ein Ufer gelenkt werden und dort zu Auskolkung und Seitenerosion beitragen. Im Extremfall entsteht ein neuer Gewässerlauf oder eine Verzweigung. Dies dürfte jedoch bei stark eingetieften Gewässern nicht oder nur in langen Zeiträumen der Fall sein.

Stauraum

Sowohl bei vorhandenen Querbauwerken als auch bei der Neuanlage gewässerbezogener Querstrukturen lassen sich durch einfache Maßnahmen im Oberwasser erhebliche Effekte erzielen. Ziel dieser Maßnahmen soll generell sein, zusätzliche Habitate und Strukturen im Stauraum zu schaffen.

Folgende Maßnahmen sind geeignet:

- Schaffung von Wechselwasserbereichen. Viele Stauräume sind besiedlungsfeindlich, da sie sehr steile Ufer aufweisen. Wechselwasserzonen können sich nicht und nur sehr kleinflächig ausbilden. Gerade diese amphibischen Bereiche sind jedoch an den meisten Fließgewässern im Minimum, die meisten vorkommenden Arten sind bedroht. Wechselwasserzonen lassen sich zudem in Stauräumen mit einfachen Mitteln schaffen. Voraussetzung ist eine möglichst starke Abflachung der Ufer, damit möglichst große Bereiche, die nur zeitweilig überflutet sind, entstehen. In vielen Fällen wird hierzu die Bereitstellung erheblicher Flächen notwendig sein. Diese Maßnahme ist nur für Gewässer, die nicht organisch belastet sind, sinnvoll.
- Schaffung von Geschiebebänken im Stauwurzelbereich. In Zonen stärkerer Strömung im Bereich der Stauwurzel können durch einfache Maßnahmen instabile Geschiebebänke geschaffen werden. Als Maßnahme bietet sich z. B. das Eingraben von Holzstämmen im Uferbereich an, die in stärker strömenden Bächen transportiertes Geschiebe anstauen.
- Diversifizierung der Strömung. Die Anlage von Holzbuhnen (z. B. in das Ufersubstrat eingegrabene Baumstämme, s.o.) trägt nicht nur zur Geschiebeanlandung, sondern auch durch Diversifizierung der Strömung bei. Auch auf diese Art kann die Habitatvielfalt erhöht werden.
- Schaffung zusätzlicher Strukturen. Erhebliche Aufwertungen lassen sich auch durch zusätzliche aquatische Habitate erreichen. In vielen Stauräumen fehlen Unterstände für Fische, z. B. in Form von gestürzten Bäumen. Ein einfaches Mittel zur Strukturanreicherung kann daher sein, gestürzte Bäume im Stauraum zu belassen und sie gegen Verdriftung zu sichern.
- Schaffung ungenutzter Uferstreifen. Die Verzahnung zwischen aquatischen und terrestrischen Zonen kann durch die Anlage eines breiten ungenutzten Uferstreifens gefördert werden. Sukzession und aufkommender Gehölzbewuchs tragen zudem direkt zur Strukturanreicherung durch Eintrag von Totholz, Wurzelunterspülungen und ins Wasser hängende Vegetation bei.

Querstruktur

Die angestrebten Effekte lassen sich durch verschiedene Maßnahmen erreichen, wobei für die Wahl der Maßnahme die Gewässergröße und der Grad der Eintiefung entscheidend sind. Hierzu kommen u.a. folgende Bauweisen in Frage:

- Querbauwerke aus Weidenflechtwerk (Faschienen), die durch Holzpfähle gesichert sind, im Sinne des naturnahen Wasserbaus.
- Eingegrabene Stämme mit "Sohlenschwellenfunktion". Eignen sich besonders zur Verhinderung weiterer Eintiefung.
- Totholzbarrieren. Das ungeordnete Einbringen von Stämmen ist vor allem in geschiebereichen Gewässern erfolgsversprechend. Die Stämme sollten so groß sein, dass sie auch bei Hochwasser nicht verdriftet werden oder mit Drahtseilen oder Ketten gesichert werden. Hinter den Stämmen staut sich driftendes organisches Material, so dass zumindest zeitweilig kompakte Barrieren entstehen können, die einen Wasserspiegelsprung verursachen.
- Einbringen von Wurzelballen. Bei Rodungsmaßnahmen anfallende Wurzelballen können vor allem in kleinen Gewässern mit Regelprofil zur Abdämmung des Gewässers und zu Staueffekten führen. Auch in anderen Gewässern können sie zur Anlage von Totholzbarrieren verwendet werden.
- **Einbringen von Störsteinen**. Große Wasserbausteine, wie sie auch zur Umwandlung von Wehren in Raue Rampen verwendet werden, können u.U. als Initialen zur Ausbildung von Querstrukturen dienen. Gegebenenfalls ist eine Sicherung sinnvoll.

Begleitende Maßnahmen

Um den Erfolg der geschilderten Maßnahmen sicherzustellen, sind begleitende Maßnahmen sinnvoll:

- Schaffung von Uferstreifen. Die Anhebung der Sohle wird fast immer mit einer Aufweitung des Gewässerprofils begleitet. Es ist daher notwendig, breite Uferstreifen bereitzustellen, um eine Aufweitung zu ermöglichen.
- Die geschilderten Bauwerkstypen besitzen nur eine begrenzte Standzeit, über die zur Zeit noch keine Aussage gemacht werden kann. In jedem Fall wird es notwendig sein, die vorhandenen Querstrukturen von Zeit zu Zeit zu verstärken, da Holz im Wasser innerhalb einiger Jahrzehnte verrottet. Auch die angestrebte Anhebung der Gewässersohle macht bei stark eingetieften Gewässern die Anlage zusätzlicher Querstrukturen auf dem höheren Sohlenniveau notwendig.
- Öffnung zusätzlicher Geschiebequellen. Der Erfolg der Maßnahmen hängt in erster Linie vom Ausmaß des Geschiebetriebes in dem Gewässer ab. Es ist daher sinnvoll, die Maßnahmen in ein einzugsgebietsbezogenes Gesamtkonzept zu integrieren, in dessen Rahmen der Reaktivierung von Geschiebequellen im Uferbereich durch Seitenschurf eine besondere Bedeutung zukommt. Dabei sollten vorhandene Querbauwerke so umgestaltet werden, dass sie für Geschiebe durchgängig werden.
- Geschiebezugabe. In Einzelfällen kann sowohl im Oberwasser (zur Beschleunigung der Sohlenanhöhung) als auch im Unterwasser (zur Verhinderung der Eintiefung) eine gezielte Zugabe von Geschiebe zielführend sein.

Autor der Kurzfassung

Dipl.-Geogr. Georg Schrenk
Leiter der Abteilung Wasserwirtschaft, Abfall und Boden
ATV-DVWK Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V.
Theodor-Heuss-Allee 17, 53773 Hennef
Tel. 022 42 / 872-210, Fax 022 42 / 872-135

ATV-DVWK-Arbeitsbericht WW-1.5 "Wehre und Staue an kleinen und mittelgroßen Fließgewässern – Grundlagen zu Strömung, Sedimenttransport und ökologischen Funktionen -, 68 Seiten, 12 Bilder, 3 Tabellen, DIN A 4, Januar 2003, Einzelpreis 32,00 EUR, ISBN 3-942063-31-1

Zu beziehen bei : ATV-DVWK-Vertrieb, Theodor-Heuss-Allee 17, 53773 Hennef, Tel. 02242/872-120, Fax 022 42/872-100, e-mail: vertrieb@atv.de, Internett: www.atv-dvwk.de