Abteilung I

Binnenwasserstraßen und Binnenhäfen

(für gewerbliche und Freizeitschifffahrt)

zu Thema 4:

Thema des deutschen Berichts

Einfluß der Nutzung eines Gewässers als Wasserstraße auf die Qualität seines Wassers und der Sedimente

Berichtersteller:

Dipl.-Ing. Dieter Haendel, Bundesverkehrsministerium, Bonn

Dipl.-Phys. Dr. Friedrich Ackermann, Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz

Dipl.-Biol. Dr. Dieter Müller, Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz

Dipl.-Biol. Dr. Thomas Tittizer, Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz

1. Einleitung

Die Beschaffenheit eines Gewässers wird vor allem durch folgende natürliche Faktoren geprägt:

- Meteorologie
- Geologie des Einzugsgebietes
- Morphologie
- Abfluß
- Aquatische Lebensgemeinschaften.

Durch die technische Nutzung eines Gewässers, z.B. zur Wasserversorgung, Abwasservorflut, Energiegewinnung oder als Wasserstraße, kann die natürliche Gewässerbeschaffenheit durch Stoff- und Wärmeeinträge sowie Veränderungen der natürlichen Faktoren anthropogen beeinträchtigt werden. Dabei beeinträchtigt die Nutzung als Wasserstraße die Gewässerbeschaffenheit hauptsächlich dann, wenn zur Herstellung und Sicherung ausreichender Fahrwassertiefen wesentliche morphologische und hydrologische Veränderungen erforderlich sind, wie Fahrrinnenvertiefungen durch Ausbaggerung, Ausbau des Gewässerbettes oder Aufstau. Weitere Beeinträchtigungen können durch die mit dem Betrieb der Wasserstraßen verbundenen Stoffeinträge aus Schiffen und Anlagen, wie Umschlagstellen und Werften,

entstehen. Durch geeignete Vorsorge bei Bau, Unterhaltung und Betrieb von Wasserstraßen bleibt der Einfluß der Nutzung eines Gewässers auf die Qualität des Wassers und der Sedimente im Vergleich zu anderen Nutzungen gering. Die folgenden Abschnitte sollen die hierfür erforderlichen Voraussetzungen aufzeigen.

2. Ausbau von Gewässern zu Wasserstraßen

2.1 Einflußfaktoren

2.1.1 Regulieren freifließender Gewässer

Freifließende Gewässer werden für die Schifffahrt reguliert, um bei bestimmten – meist geringen – Abflüssen möglichst gleichartige Profile zu erhalten. Dabei brauchen vielfach die die Gewässerbeschaffenheit bestimmenden natürlichen Faktoren nicht wesentlich verändert zu werden. Einzelne Baumaßnahmen sind natürlichen Ereignissen wie Erosion und Sedimentation bis hin zu Schlingendurchbrüchen und Bettverlagerungen vergleichbar.

Als Regulierungsmaßnahmen kommen vor allem Fahrwasservertiefungen – in den Tideästuarien der Bundesrepublik Deutschland bis zu 13 m – und Gewässerbettfestlegungen durch Längs- und Querbauwerke (Leitwerke und Buhnen) infrage.

In der Regel hat das Regulieren von freifließenden Gewässern für die Schifffahrt von allen Baumaßnahmen die geringste Auswirkung auf die Gewässerbeschaffenheit. Dies gilt vor allem dann, wenn durch einmalige Eingriffe stabile Profilverhältnisse geschaffen werden können. Fahrwasservertiefungen, insbesondere im Tidebereich, beeinflussen jedoch zumindest in Zeiten niedriger Abflüsse den Sauerstoffhaushalt und die Gewässerbiozönose.

2.1.2 Stauregelung von Gewässern

Fließgewässer werden für die Schifffahrt stauregelt, wenn die Schiffbarkeit auch dann möglich sein soll, wenn der Abfluß hierfür nicht ausreicht. Durch Stauregelung wird die Charakteristik des natürlichen Gewässers für die Stauzeit erheblich und dauerhaft verändert. Das Ausmaß ist vor allem abhängig von der Höhe des Staus über dem Grundwasserstand in der Talau des Gewässers. Gravierend sind die Auswirkungen bei Stauhöhen über dem Niveau der Niederterrasse.

In der Bundesrepublik Deutschland spielt die Stauregelung von Flüssen eine besondere Rolle, bei der typischerweise Stauhaltungen mit einer Länge von 20 km, einer Tiefe von 3 – 7 m und einer Breite von 200 – 300 m errichtet werden.

Zur Auswirkung der Stauregelung liegen eine grundlegende Ausarbeitung, welche auch Hinweise für die Planung enthält, und ein Bericht über die Auswirkung der in

den letzten 20 Jahren durchgeführten Stauregulierungen auf den Sauerstoffhaushalt vor (DVWK 1981, Müller u. Kirchesch 1986, 1987). Beide Ausarbeitungen werden hier zusammengefaßt und um Angaben zur Problematik des Schadstoffgehalts der Sedimente und zu ökologischen Fragen erweitert.

2.13 Künstliche Wasserstraßen (Kanäle)

Künstliche Wasserstraßen werden als Seitenkanäle für nichtschiffbare Gewässerabschnitte oder als Verbindungskanäle zur Überwindung von Wasserscheiden angelegt. Sie sind in ökologischer Hinsicht mit staugeregelten Gewässern vergleichbar.

2.2 Auswirkungen auf einzelne Gewässerparameter

2.21 Sauerstoffhaushalt

Fahrwasservertiefungen und Stauregulungen wirken sich insbesondere dann auf den Sauerstoffhaushalt aus, wenn die Fließgeschwindigkeit an mehreren aufeinanderfolgenden Wochen im Sommerhalbjahr auf weniger als 0,2 m/s abfällt.

Im vollständig durchmischten Wasserkörper steigt der auf die Zeit- und Volumeneinheit bezogene physikalische Sauerstoffeintrag in $g/m^3 \cdot d$ bei gleichem Sauerstoff-Sättigungsindex mit der Fließgeschwindigkeit und der Rauigkeit der Gewässersohle und fällt mit zunehmender Tiefe. Wird beispielsweise die mittlere Wassertiefe von 1 m auf 3 m erhöht, so verringert sich bei gleichbleibender Gewässerbreite die Fließgeschwindigkeit auf $1/3$, der auf Volumeneinheit bezogene Sauerstoffeintrag jedoch auf $1/15$ des ursprünglichen Wertes.

In langsam durchflossenen tiefen Gewässerabschnitten kann es außerdem zu Temperaturunterschieden im Querschnitt und damit zu einer Schichtenbildung kommen. Diese gleicht sich im Tag-Nachtwechsel meist wieder aus. In sehr tiefen Stauhaltungen (z. B. tiefer als 6 m) kann bei geringer Turbulenz eine über mehrere Tage stabile Schichtung auftreten. In solchen Fällen verhält sich dann die obere wärmere Schicht angenähert wie ein vollkommen durchmischter Wasserkörper, in welchem neben den biochemischen Zehrungsprozessen die physikalische Sauerstoffaufnahme über die Wasser Oberfläche und die biogene Sauerstoffproduktion wirksam sind. In den darunterliegenden kälteren Schichten ist dagegen neben der durch absinkende Algen und Schmutzstoffe vermehrten Sauerstoffzehrung im Wasserkörper auch noch die Zehrung der am Gewässerbett festsitzenden Organismen und der Sauerstoffverbrauch des Bodenschlammes wirksam.

Diese nachteilige Auswirkung des Aufstaus kann in stärker mit Abwässern belasteten Gewässern wesentlich sein. Sie wird jedoch durch eine Reihe von Faktoren gemildert:

- Meist wird mit dem Ausbau auch die Wasseroberfläche wesentlich vergrößert. Hier können sich bereits kleine Windgeschwindigkeiten positiv auf den Sauerstoffeintrag auswirken.
- Der Sauerstoffeintrag ist proportional zum Sauerstoffdefizit, so daß sich bei einer staubedingten Vergrößerung des Defizits auch der Sauerstoffeintrag erhöht. Dies wirkt dem Abfall des Sauerstoffgehalts entgegen, kann diesen jedoch nicht ganz verhindern.
Durch Wehrüberfälle und Turbinenbelüftung kann das verbleibende Sauerstoffdefizit vermindert werden.
- Bei ausreichender Strahlungsintensität kann die biogene Sauerstoffproduktion durch Algen den physikalischen Sauerstoffeintrag weit übertreffen. Dieser positiven Wirkung der Algen steht allerdings ein Sauerstoffverbrauch in strahlungsarmen Zeiten gegenüber.

Insgesamt reagiert der Sauerstoffhaushalt eines langsamfließenden Gewässers deutlich empfindlicher auf Vergrößerung der Wassertiefe, Vermehrung des Abflusses, Erhöhung der Nährstoffkonzentration, Verschmutzung und auf meteorologische Einflüsse als ein schnellfließendes Gewässer. Bei Ausbauplanungen für Gewässer sind daher die Auswirkungen auf den Sauerstoffhaushalt sorgfältig zu erfassen und zu bewerten. Nicht alle Gewässer sind ohne weiteres für einen Aufstau in beliebigem Ausmaß geeignet. In manchen Fällen müssen entweder erst die Voraussetzungen geschaffen (z.B. durch Abwasserreinigung) oder begleitende Maßnahmen (z.B. Sicherstellung eines Mindestabflusses durch Niedrigwasseraufbesserung, künstliche Belüftung) eingesetzt werden, um nachteilige Wirkungen zu vermeiden. Aufgrund spezieller Untersuchungen und Prognosen muß das hinsichtlich der Gesamtwirkung optimale Ausmaß des Aufstaus gesucht werden.

2.22 Geschiebehaushalt

Fahrwasservertiefungen und Stauregelungen wirken sich insbesondere dann auf die Gewässerbeschaffenheit aus, wenn sie zu zeitweiligen Unterschreitungen der für die Sedimentation kritischen Geschwindigkeiten führen. Geringe Fließgeschwindigkeiten fördern die Sedimentation, höhere Fließgeschwindigkeiten verhindern sie bzw. bewirken durch Aufwirbelung und Erosion eine Erhöhung des Schwebstoffgehaltes im Gewässer. Die Bedingungen, bei denen stärkere Sedimentation bzw. erhöhte Aufwirbelung und Erosion stattfinden, sind von Fluß zu Fluß verschieden, vor allem in Abhängigkeit vom Querprofil, dem Korndurchmesser und der Zusammensetzung der Sedimente sowie der Beschaffenheit der Schwebstoffe. Grob vereinfacht können jedoch Faustwerte für den Beginn der Sedimentation von Sand mit einer Fließgeschwindigkeit von 0,4 m/s und Feinsedimenten (Schluff) von 0,2 m/s angegeben werden. Die Werte für die Aufwirbelung von Schlamm und Sand hängen stark vom Grad der Konsolidierung ab, oft werden die 1,5- bis 2fachen Werte angenommen.

Eine verstärkte Sedimentation wirkt sich auf stoffliche und biologische Vorgänge stark aus.

- Positive Effekte sind der Rückgang der Trübung, die Entfernung von Schwebstoffen und der an sie gebundenen Schadstoffe und die Verlagerung des Stofftransports in die Zeiten erhöhter Wasserführung, bei denen die Sauerstoffsituation meist unproblematisch ist.
- Negative Folgen für den Sauerstoffhaushalt sind die Verminderung der Intensität des biologischen Abbaus durch Sedimentation der an den Schwebstoffen haftenden Organismen und Überdeckung biologisch aktiver Oberflächen am Gewässerbett, Sauerstoffverbrauch durch Bodenschlamm sowie Bildung von Faulgas und Fischgiften in den unteren Sedimentschichten sowie die Ausbildung von verfestigten Sedimentablagerungen, die u.U. auch bei erhöhter Wasserführung nicht mehr erodiert werden können.
- Für die Beschaffenheit der Sedimente können negative Folgen dadurch entstehen, daß durch Ablagerung von Schadstoffen (Schwermetalle, organische Schadstoffe, Radionuklide) an die Schwebstoffe sich im schwebstoffbürtigen Sediment toxische Stoffe anreichern. Diese Stoffe werden zwar durch Sedimentation in hohem Maße der fließenden Welle entzogen, jedoch im Sediment potentiell umweltschädigend konzentriert.
- Verstärkte Sedimentation im Oberlauf eines Gewässers kann im Unterlauf durch ein dadurch erzeugtes Geschiebedefizit zu verstärkter Erosion mit entsprechenden ökologischen Folgen führen.

Bei Ausbauplanungen für Gewässer sind daher die Auswirkungen auf den Geschiebehaushalt sorgfältig zu erfassen und zu bewerten. Eine Kontinuität des Geschiebetriebes ist anzustreben.

2.23 Biochemische Vorgänge

Fahrwasservertiefungen und Stauregelungen können auch Auswirkungen auf biochemische Vorgänge haben. Der biochemische Abbau organischer Substanzen wird durch die Aufenthaltszeit in einem Gewässerabschnitt bestimmt, wobei der Gehalt an abbaubaren Inhaltsstoffen sinkt. Eine Verminderung der Abflußgeschwindigkeit bewirkt eine Konzentration des Abbaus auf einem kürzeren Fließweg und damit einen entsprechend höheren Sauerstoffverbrauch. Der Verminderung der organischen Belastung wirkt u.U. eine erhöhte Neubildung von organischen Substanzen durch die Primärproduktion (Sekundärbelastung) entgegen. Bei der Aufwirbelung von Sedimenten oder starker Faulgasbildung kann die organische und anorganische Belastung (organische Verbindungen, Schwermetallsulfide, Schwefelwasserstoff, Ammonium) im Wasserkörper kurzfristig stark erhöht werden. Hierdurch können bei ungünstigen hydrologischen Bedingungen Probleme durch Sauerstoffmangel oder durch die toxische Wirkung eines Teils dieser Substanzen eintreten.

Oxidierbarer Stickstoff gelangt als Ammonium durch Abwassereinleitungen in die Gewässer, zusätzlich wird durch den Abbau von organischer Substanz (einschließlich Algenbiomasse) ständig Ammonium freigesetzt. Die Stickstoffoxidation (Nitrifikation) ist in wesentlich stärkerem Maß von der Morphologie und der jeweiligen hydrologischen Situation abhängig als der Kohlenstoffabbau. Das langsame Wachstum der Bakterien, die Ammonium nitrifizieren, führt dazu, daß sich diese Organismen in Fließgewässern vorwiegend an der Gewässersohle entwickeln. Erst lange Fließzeiten oder stärkere Turbulenz führen dazu, daß die Nitrifikanten auch den Wasserkörper besiedeln. Die mit Fahrwasservertiefungen verbundene Erhöhung der Fließzeit kann die Nitrifikation fördern.

In Sedimentationsbereichen tritt ein erhöhter Sauerstoffverbrauch auf, wenn der organische Anteil der sedimentierten Stoffe aerob abgebaut oder wenn Zwischenprodukte oxidiert werden. Der Sauerstoffverbrauch durch Bodenschlamm kann die Größenordnung des physikalischen Sauerstoffeintrags annehmen und damit entscheidend für den Sauerstoffhaushalt werden.

Der durch Algen und höhere Wasserpflanzen erzeugte „biogene“ Sauerstoff ist proportional zu der durch Primärproduktion entstandenen Biomasse. Eine ausbaubedingte Erhöhung der Primärproduktion verbessert deshalb zumindest zeitweise und örtlich begrenzt das Sauerstoffangebot. Da die Primärproduktion von meteorologischen, biologischen, hydraulischen und anderen Faktoren sowie von den Nährstoffverhältnissen abhängig ist, unterliegt der Sauerstoffgehalt in Gewässern mit hoher Primärproduktion starken jahres- und tageszeitlichen Schwankungen und schwer vorhersehbaren Veränderungen. Bei übermäßiger Primärproduktion und gleichzeitiger Abwasserbelastung können hohe Tag- und Nachtschwankungen zu völligem Sauerstoffschwund während der Nachtstunden führen, wodurch Fischsterben ausgelöst werden können.

Bei den biochemischen Vorgängen handelt es sich um sehr komplexe Ereignisse, die bei der Planung von Ausbaumaßnahmen nur durch wissenschaftliche Untersuchungen aufgeklärt werden können. Dabei ist bei der Beurteilung der Auswirkungen von Ausbaumaßnahmen von Bedeutung, daß die Primärproduktion auf die obere durchlichtete Wasserschicht begrenzt ist. Eine Fahrwasservertiefung muß daher nicht grundsätzlich zu einer Erhöhung der Primärproduktion führen, vielmehr kann sie, wenn der nicht durchlichtete Teil des Wasserkörpers wesentlich vergrößert wird, auch die Primärproduktion vermindern.

2.24 Biozönose

Der Ausbau von Gewässern zu Wasserstraßen hat erhebliche Auswirkungen auf die Tierwelt der Gewässer. Art und Ausmaß der Beeinträchtigungen hängen im wesentlichen von der Veränderung der morphologischen und hydrologischen Verhältnisse im Gewässer ab. Bleiben diese weitgehend unverändert, so ist mit einer dauerhaften

Beeinträchtigung der Lebensgemeinschaft nicht zu rechnen. Durch die Baggerarbeiten wird zwar ein Teil der Lebensgemeinschaft der Gewässersohle vernichtet. Dauerschäden sind jedoch nicht zu erwarten, da nach Abschluß der Ausbauarbeiten das Substrat in den neu geschaffenen Lebensräumen wieder besiedelt wird. Untersuchungen am Main und an der Donau zeigen, daß sich in diesen Bereichen in etwa zwei bis drei Jahren die typische Besiedlungsstruktur wieder einstellt (Tittizer, 1984). Voraussetzung für eine rasche Neubesiedlung der Gewässersohle ist die Erhaltung von „Impfstellen“ im Gewässer (das sind Stellen, die durch den Ausbau nicht berührt werden), aus welchen die Besiedlung neu geschaffener Lebensräume erfolgen kann. Aus diesem Grund sollte, wenn immer auch möglich, der Ausbau eines Gewässers stets in mehreren kleinen Bauabschnitten erfolgen.

Auch die zur Sicherung der Gewässerufer gegen Erosion verwendeten Baustoffe wirken selektierend auf die Lebensgemeinschaft der schiffbaren Flüsse und Kanäle. Untersuchungen zum Besiedlungsverhalten dieser Baustoffe zeigen, daß glatte und wellenexponierte Besiedlungssubstrate (hierzu gehören Asphaltmatten, Betonplatten, Stahlbetonsohlen, Stahlspundwände und Natursteinpflaster) von den im Wasser lebenden Tieren weit weniger besiedelt werden als lose Bruchsteinschüttungen, die wegen ihres Hohlraumsystems und ihrer großen inneren Substratfläche besonders günstige Lebensbedingungen (Schutz und Nahrung) für Mikro- und Makroorganismen bieten (Knöpp u. Kothe, 1965). Eine am Dortmund-Ems-Kanal durchgeführte Bestandsaufnahme ergab, daß in verspundeten Uferbereichen nur die Hälfte der Artenzahl und nur 1/10 der Besiedlungsdichte der Lebensgemeinschaft einer Bruchsteinschüttung vorkommt (Tittizer u. Schleuter, 1989). Die Unterschiede zwischen der Besiedlung der Bruchsteine und der Stahlspundwände sind jedoch nicht überall und nicht zu allen Jahreszeiten so stark ausgeprägt. Wie Erhebungen am Mittellandkanal zeigen, unterscheiden sich diese Substrate hinsichtlich der Artenvielfalt ihrer Besiedlung in den Sommermonaten nur unwesentlich voneinander. Die auf den Spundwänden vorgefundene relativ hohe Artenzahl wird auf das Vorkommen von Fadengrünalgen zurückgeführt. Im dichten Geflecht dieser Algen finden eine Reihe von Tieren gute Entwicklungsmöglichkeiten. Hieraus resultiert, daß Gewässerufer, die durch lose Bruchsteine gesichert sind, vom ökologischen Standpunkt her weit höher einzustufen sind als z.B. verspundete oder gepflasterte Ufer (Tittizer u. Kothe, 1983). In den Flachlandflüssen, die in der Regel feinkörnige (Schluff, Sand, Kies) und zugleich mobile Substrate aufweisen, sind die zum Schutz der Ufer gegen Erosion eingebrachten Bruchsteine sogar die einzigen „harten“ und lagerungsstabilen Substrate, die die Ansiedlung vieler Tierarten in diesen Bereichen erst ermöglichen. Sie tragen in diesen Gewässern sogar zur Bereicherung der Biotopstruktur bei.

Auch die Stauregulierung der Fließgewässer ist mit Beeinträchtigungen der Flußbettlebensgemeinschaft verbunden. Bedingt durch die Herabsetzung der Fließgeschwindigkeit und die dadurch hervorgerufene intensive Sedimentation (Ablagerung feinkörnigen Sediments am Gewässergrund) sowie weitgehende Beruhigung der Gewässersohle (kein oder nur geringer Geschiebebetrieb) findet eine Umstrukturierung der Lebensgemeinschaft statt (Tittizer, 1985). Dabei werden strömungs-

liebende Arten (typische Bewohner der Fließgewässer) durch Organismen des Stillwassers verdrängt. An der Donau durchgeführte Untersuchungen zeigen, daß bei Beibehaltung einer Mindestströmungsgeschwindigkeit von mehr als 0,4 m/s keine bedeutsame Umstrukturierung der Tierlebensgemeinschaft stattfindet. Sinkt die Strömungsgeschwindigkeit jedoch unter 0,4 m/s, so bewirkt dies eine Verdrängung der Fließwasserarten. In Bereichen mit erheblicher Sedimentation werden die für das Fließgewässer charakteristischen Hohlräume im Gewässerboden mit feinkörnigem Sediment zugesetzt. Die für die Fließgewässer typische Steinfauuna verschwindet somit und an ihre Stelle treten die sogenannten Sand- und Schlammbewohner.

Durch die Stauerrichtung werden Wasserpflanzen in ihrer Entwicklung gefördert. Als günstige Lebensräume für Wasserpflanzen sind die Flachwasserzonen im Uferbereich anzusehen, vorausgesetzt, daß diese Bereiche nur geringen Wasserstandsschwankungen unterworfen sind und durch den Wellenschlag nicht stark beeinträchtigt werden.

Auch die Fischfauna erfährt infolge verminderter Fließgeschwindigkeit, anders strukturierter Nahrungsgrundlage, erhöhter Wassertemperatur und oft insgesamt schlechterer Sauerstoffversorgung der Gewässer einen beträchtlichen Strukturwandel. Schnell fließende, kalte und sauerstoffreiche Gewässer bevorzugende Kieslaicher wie Forelle, Äsche, Nase und Barbe werden von krautlaichenden Fischen wie Karpfen, Brachsen, Rotaugen, Rotfeder, Schleie, Hecht und Zander verdrängt. Letztere bevorzugen stehende bis langsam fließende, sommerwarme Gewässer mit gut entwickeltem Wasserpflanzenbestand.

Für überwinternde Wasservögel werden dagegen durch eine Stauerrichtung günstige Lebensbedingungen geschaffen. Die Errichtung von Leitwerken und Bühnen läßt großflächige Brut- und Nahrungsbiotope für Wasservögel entstehen.

3. Unterhaltung von Wasserstraßen

3.1 Einflußfaktoren

Für die Beschaffenheit des Wassers und der Sedimente sind im hier zu behandelnden Problembereich vor allem Baggermaßnahmen einschließlich Umlagerungen von Baggergut im Gewässer von Bedeutung, die zur Aufrechterhaltung der Solltiefen in fast allen Wasserstraßen, verstärkt aber in Häfen, erforderlich sind.

3.2 Auswirkungen auf einzelne Gewässerparameter

3.2.1 Sauerstoffhaushalt

Bei der Umlagerung von Baggergut kann dessen Sauerstoffzehrung von Bedeutung sein. Vor allem die spontane chemische Zehrung durch die Oxidation von Eisen- und

Mangansulfiden spielt dabei eine Rolle. Sie läuft verglichen mit den biologisch katalysierten Reaktionen, biochemischer Abbau und Nitrifikation, sehr schnell ab – meist innerhalb von 10 bis 20 Minuten. Untersuchungen beim Baggern und Umlagern in verschiedenen Wasserstraßen haben ergeben, daß sich in der Regel keine Probleme für den Sauerstoffhaushalt ergeben. In schnellfließenden Gewässern wird aufgewirbeltes Sediment wirkungsvoll verdünnt und in langsamfließenden Gewässern wird durch die geringe Strömungsgeschwindigkeit nur sehr wenig sauerstoffzehrungsfähiges Material suspendiert.

Sofern für besonders ungünstige seltene Einzelfälle Probleme für den Sauerstoffhaushalt zu erwarten sind, können durch geeignete Auswahl der Geräte, bzw. durch die Drosselung der Leistung von Verspülern, negative Auswirkungen vermieden werden.

3.22 Schadstoffe

Viele Stoffe, welche bereits in Spurenkonzentrationen toxische Wirkungen auf Menschen, Tiere und Pflanzen zeigen können (z.B. Schwermetalle, Organochlorverbindungen), reichern sich in hohem Maße aus der Wasserphase an den Schwebstoffen und damit an den (schwebstoffbürtigen) Sedimenten eines Gewässers an. Diese Schadstoffe stammen ganz überwiegend aus direkten oder indirekten (d.h. über kommunale Kläranlagen) industriellen Einleitungen. Jedoch spielen auch andere Quellen, wie z.B. der Straßenverkehr und Korrosionsprodukte aus dem Bereich privater Haushalte, sowie Auswaschungen aus der Landwirtschaft oder Abraumhalden sowie Grubenwässer aufgelassener Bergwerke eine nicht unbedeutende Rolle. Zunehmend muß auch der Beitrag aus der Luft in Betracht gezogen werden. Bau, Unterhaltung und Betrieb von Schiffen und Wasserstraßen tragen nur in untergeordnetem Maße zur Belastung von Sedimenten mit Schadstoffen bei. In diesem Zusammenhang sind Werftbetriebe und Schiffs Liegeplätze zu nennen, aus denen durch Instandsetzungsarbeiten, insbesondere der Korrosionsschutzanstrich an Schiffskörpern, Tonnen, Seezeichen, in der Vergangenheit toxische Stoffe, insbesondere Schwermetalle ins Sediment gelangen konnten. Durch eine geordnete Entsorgung der Abfälle kann diese Gewässerbelastung vermieden werden.

Der Einfluß der Wasserstraßen bzw. des Schiffverkehrs auf die evtl. Mobilisierung sedimentgebundener Schadstoffe ist gering. Durch Baggerung kann der Transport sedimentgebundener Schadstoffe Richtung See jedoch zeitlich beeinflußt werden. Die Gesamtfracht an sedimentgebundenen Schadstoffen, welche im Jahresmittel die Wattgebiete im Küstenbereich erreichen, ist aber dann am größten, wenn überhaupt nicht mehr gebaggert werden würde; die großen Sedimentationsbecken für schadstoffbelastetes feinkörniges Sediment in den Tideflüssen (Häfen Hamburg, Bremen, Rotterdam etc.) würden nach kurzer Zeit ohne Unterhaltungsbaggerei zugeschlickt sein, mit dem Resultat, daß weitere schadstoffbelastete Sedimente/Schwebstoffe aus dem Binnenland unmittelbar und ohne Zwischenaufenthalt ins Meer transpor-

tiert würden. Durch die derzeit an vielen Wasserstraßen im Binnenland, schwerpunktmäßig jedoch im Tidebereich, erfolgte Landlagerung schadstoffhaltigen Baggergutes werden den Gewässern erhebliche Mengen toxischer Stoffe endgültig entzogen (führen jedoch andererseits an Land zu beträchtlichen Problemen, wie z.B. Schadstoffbelastung von Feldfrüchten oder des Grundwassers).

Befürchtungen, daß beim Baggern und Verklappen von Sedimenten die daran gebundenen Schadstoffe in die Wasserphase remobilisiert werden könnten, sind weitestgehend unbegründet. Allenfalls ist eine kurzfristige Freisetzung von schadstoffangereichertem Porenwasser zu befürchten. Da aber sedimentgebundene Schadstoffe ebenfalls von der Gewässerfauna und -flora aufgenommen werden können (z.B. Quecksilber in Elbaalen), sind sedimentgebundene Schadstoffe ökotoxikologisch langfristig nicht weniger bedenklich einzustufen als etwa gelöst vorliegende.

Ziel der Gewässerschutzpolitik der Bundesrepublik Deutschland ist es, durch drastische Reduzierung der Schadstoffeinträge an den Quellen – nach dem Stand der Technik – die Sedimentbelastung soweit zu verringern, daß Baggergut wieder als Material für Baumaßnahmen und zur Bodenverbesserung ökologisch unbedenklich verwendet werden kann.

3.23 Biozönose

Die Tierwelt des Gewässerbodens wird durch Baggerungen erheblich beeinträchtigt. Untersuchungen am Main und Neckar haben ergeben, daß sich im Bereich der Dauerbaggerstellen nur eine artenarme Lebensgemeinschaft einstellen kann (Tittizer und Schleuter, 1985). Arten mit längerer Entwicklungsdauer werden in ihrer Entwicklung durch die Baggerarbeiten dauerhaft gestört. Um der Tierwelt Etablierungschancen zu geben, sollten zwischen zwei Baggerungen möglichst lange Ruhepausen eingelegt werden.

Auch die Verklappung von Baggergut in den Wasserstraßen kann negative Folgen für die Tierwelt haben. Durch Untersuchungen konnte festgestellt werden, daß eine Verklappung von Schluff und Sand in vorwiegend grobkörnigen Sohlenbereichen in der Regel zu erheblichen und dauerhaften Veränderungen der Tierwelt führt. Werden dagegen feinkörnige Sedimente in vorwiegend schluffig-sandige Flußsohlenbereiche verklappt, so sind lediglich unerhebliche und zeitlich begrenzte Beeinträchtigungen der Lebensgemeinschaft zu erwarten (Tittizer und Schleuter, 1989).

Die Planung von Baggerungen und Baggergutumlagerungen sollte daher auch Untersuchungen über Auswirkungen auf die Tierwelt des Gewässerbodens und deren Minimierung einschließen.

4. Betrieb von Wasserstraßen

4.1 Einflußfaktoren

Einflüsse auf die Gewässerbeschaffenheit können durch den Betrieb von Wasserstraßen von Schiffen und Wasserstraßenanlagen, vor allem Häfen und Werften ausgehen.

4.2 Auswirkungen auf einzelne Gewässerparameter

4.21 Sauerstoffhaushalt

Der Schiffsverkehr führt über eine Erhöhung der Turbulenz zu höheren Sauerstoffeinträgen in das Gewässer. Er mildert daher die durch Fahrrinnenvertiefung und den Aufstau erzeugten negativen Auswirkungen auf die Wasserqualität. Spezielle Untersuchungen zu diesem Effekt sind jedoch nicht bekannt.

4.22 Schadstoffhaushalt

Beim Bau von Schiffen ist bei der Auswahl der Bau- und Anstrichstoffe darauf zu achten, daß über die Außenhaut als Kontaktfläche keine Schadstoffe ins Gewässer gelangen.

Bewuchshemmende Unterwasseranstriche können zu Beeinträchtigungen der Biozönose führen. Daher werden zunehmend Verbote für die Verwendung von Giftfarben mit metallorganischen Verbindungen ausgesprochen, während z. B. kupferhaltige Farben als tolerierbar angesehen werden.

Der Betrieb von Schiffen ist stets mit einem gewissen Schadstoffeintrag in die Gewässer verbunden, weil ein Schiff nie vollständig gegen das umgebende Gewässer abgedichtet werden kann. Besondere Bedeutung hat der Mineralöleintrag erlangt. Die beim Schiffsbetrieb ständig anfallenden ölhaltigen Abwässer werden in der Bundesrepublik Deutschland durch spezielle Bilgenentölungsschiffe systematisch entsorgt. Die systematische Entsorgung der übrigen Abfälle und Abwässer aus dem Schiffsbetrieb, insbesondere Ladungsreste, Waschwässer aus der Reinigung von Laderäumen, Ballastwasser aus nicht gereinigten Räumen, Fäkalien und sonstige Haushaltsabwässer, Hausmüll und Kleinmengen an Sonderabfall, wird für das Rheingebiet vorbereitet. Dabei ist Ziel, den Schadstoffeintrag in die Gewässer dem Stand der Technik entsprechend zu reduzieren.

Den unfallbedingten Schadstoffeinträgen in Gewässer wird in der Bundesrepublik Deutschland vor allem durch Sicherheitssysteme für den Bau, die Unterhaltung und den Betrieb von Schiffen und Wasserstraßen vorgebeugt. Für dennoch eintretende Unfälle werden Bekämpfungsmittel zur Eindämmung der Folgen bei verschiedenen Stellen dezentral vorgehalten.

Im Verhältnis zur Gesamtmenge der von der Binnenschifffahrt beförderten Ladung sind die unfallbedingten Verlustmengen sehr gering. Im Jahre 1987 sind in der Bundesrepublik Deutschland bei einer Gesamtmenge von rd. 221 Mio. t bei 22 Unfällen mit Ladungsverlusten rd. 185 m³ Ladung, davon rd. 105 m³ wassergefährdend, ins Gewässer gelangt.

4.23 Beeinflussung der Tierwelt durch die Schifffahrt

Der durch die vorbeifahrenden Schiffe erzeugte Sog und Schwall im Uferbereich der Bundeswasserstraßen übt eine selektierende Wirkung auf die Lebensgemeinschaft der Gewässerufer aus. Dieser Selektion ist sowohl die Vegetation als auch die Fauna des Gewässers unterworfen. Nur einige wenige speziell adaptierte Arten können dieser ständigen mechanischen Beanspruchung standhalten. Dazu gehören aus der Reihe der Pflanzen Seggen und Schilf und unter den Tieren einige Strudelwürmer, Schnecken, Muscheln, Egel, Köcherfliegen und Zweiflügler.

In den staugeregelten Bundeswasserstraßen kommen in der Regel hauptsächlich Stillwasserarten vor. Die durch die Motorgüterschiffe, Personenschiffe und Motorboote erzeugten Wellen schaffen im Uferbereich der Bundeswasserstraßen brandungsähnliche Verhältnisse, die eine Ansiedlung strömungsempfindlicher Arten erschweren, ja sogar unmöglich machen. Für die strömungsliebenden Organismen dagegen werden erst dadurch günstige Lebensbedingungen geschaffen. In einem staugeregelten Fließgewässer sind die vom Sog und Schwall beeinflussten Ufer sogar die einzigen Bereiche, wo Fließwasserarten noch Existenzmöglichkeiten finden. Einige davon (insbesondere Zuckmücklarven) kommen hier sogar in beträchtlichen Populationsdichten vor. Diese scheinen die Auswirkungen des Wellenschlags nicht nur gut ertragen zu können, sondern finden dort offensichtlich besonders günstige Lebensbedingungen vor. Für die übrigen Organismengruppen ist die mechanische Beanspruchung durch den Wellenschlag jedoch so groß, daß sie hier gar nicht oder nur in geringen Individuendichten vorkommen. Untersuchungen an mehreren Bundeswasserstraßen zeigen, daß in den Abschnitten mit intensivem Schiffsverkehr die Artenzahl und Besiedlungsdichte der Lebensgemeinschaft bis auf 46% bzw. 65% sinkt (Tittizer und Schleuter, 1989). Durch eine Uferrücknahme, die eine Erweiterung des Abflußquerschnitts mit sich bringt, kann dem entgegengewirkt werden. Für eine Vielzahl strömungsempfindlicher Arten werden dadurch günstige Lebensbedingungen geschaffen. Nach Abschluß der Wiederbesiedlungsphase weisen diese Bereiche in der Regel eine höhere Artenzahl und Besiedlungsdichte auf als vor der Uferrücknahme.

5. Zusammenfassung.

Aufgrund der an Wasserstraßen in der Bundesrepublik Deutschland gesammelten Erfahrungen wird ein Überblick über die möglichen Auswirkungen der Nutzung von Gewässern als Wasserstraße auf die Beschaffenheit des Wassers, der Sedimente und der Tierwelt gegeben.

Beim Bau von Wasserstraßen spielen die Fahrwasservertiefung durch Ausbaggern im Ästuarbereich und die Stauregelung von Flüssen im Binnenbereich eine besondere Rolle. Durch diese Maßnahmen können zumindest in Zeiten niedriger Abflüsse der Sauerstoff-, Stickstoff- und Kohlenstoffhaushalt, die Gewässerbiozönose und die Verschlammung des Gewässerbettes beeinflußt werden. Bei abwasserbelasteten Gewässern ist insbesondere der Rückgang des physikalischen Sauerstoffeintrags und die Zunahme des Sauerstoffverbrauchs durch Bodenschlamm von Bedeutung.

Auf die Biozönosen des Gewässerbettes können sich zusätzlich zu den Veränderungen des Stoffhaushaltes die Verringerung der Strömungsgeschwindigkeit auswirken, wodurch es zu einer meist als negativ zu bewertenden Umstrukturierung des Artenbestands kommen kann.

Der Schiffsverkehr kann zu Schadstoffeintragungen z. B. durch häusliche Abwässer, ölhaltige Bilgenwässer, toxische Unterwasseranstriche und bei Unfällen durch die Schiffsladung führen. Diese Belastungen sind in Relation zu der Belastung mit kommunalem und industriellem Abwasser meist gering. Die Eindämmung der von den Schiffen ausgehenden Schadstoffeinträgen durch besondere Vorkehrungen ist grundsätzlich möglich.

Die von den Schiffen verursachte Wasserbewegung wirkt der mit der Fahrwasservertiefung verbundenen Strömungsberuhigung entgegen und mindert so deren Nachteile für den Stoffhaushalt und die Biozönose.

Für die Instandhaltung der Fahrrinnen und Häfen sind Baggermaßnahmen erforderlich, bei denen große Mengen an Baggergut anfallen. Durch die Schwierigkeiten, die bei der Unterbringung von schadstoffhaltigem Baggergut bestehen, kann der Schadstoffgehalt von Sedimenten zu einem Problem der Unterhaltung von Wasserstraßen werden. Die Schadstoffe stammen überwiegend aus direkten und indirekten Einleitungen industrieller Abwässer und anderen Quellen. Hier wird eine Schadstoffreduzierung an der Quelle angestrebt.

Insgesamt gesehen können die Auswirkungen der Nutzung von Gewässern als Wasserstraßen durch entsprechende Vorsorge bei Bau, Unterhaltung und Betrieb von Schiffen und Wasserstraße auf ein ökologisch vertretbares Maß reduziert werden. Unter dieser Voraussetzung können Schifffahrt und Wasserstraßen als umweltfreundliches Verkehrssystem bewertet werden.

Literatur

ACKERMANN, F. et. al.: Wird Baggern an öffentlichen Gewässern zum Umweltproblem? – Jahresbericht 1981 der Bundesanstalt für Gewässerkunde, S. 1/1 – 1/38

- DVWK: Auswirkungen von Flußstauhaltungen auf die Gewässerbeschaffenheit. — DVWK-Fachausschuß „Einfluß wasserwirtschaftlicher Maßnahmen auf die Gewässerbeschaffenheit (Obmann P. Wolf)“ in DVWK-Schriften 45 (1981), S. 139 — 186
- FÖRSTNER, U. und G. T. W. WITTMANN: Metal Pollution in the Aquatic Environment. Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, New York, 1979
- KNÖPP, H. & KOTHE, P. (1965): Die Bedeutung des biologischen Wasserbaus für Gewässerbiologie und Fischerei. In: Der biologische Wasserbau an den Bundeswasserstraßen, Verlag E. Ulmer, Stuttgart, S. 268 — 285
- KOTHE, P. (1982): Ufergestaltung bei Ausbau und Unterhaltung der Bundeswasserstraßen, 1. Limnologisch-ökologische Aspekte. — Jahresbericht 1982 der Bundesanstalt für Gewässerkunde, S. I/1 — I/18
- MÜLLER, D. und V. KIRCHESCH: Zur Auswirkung der Stauregulierung auf den Stoffhaushalt von Mosel, Fulda, Saar und Donau — mikrobiologische Untersuchungen und Gütemodellrechnungen. — Teil I: Deutsche Gewässerkundliche Mitteilungen 30 (1986), S. 152 — 162; Teil II: dto. 31 (1987), S. 12 — 15
- TITTIZER, T. (1984): Die Auswirkung wasserbaulicher Maßnahmen auf den biologischen Zustand von Fließgewässern, erläutert am Beispiel der Donau. — Kurzreferat. Internationale Arbeitsgemeinschaft Donauforschung (IAD), 24. Arbeitstagung Szentendre/Ungarn
- TITTIZER, T. (1985): Über die Auswirkung des Aufstaus auf die saprobiologischen Verhältnisse in den Fließgewässern. — Übersichtsreferat. Internationale Arbeitsgemeinschaft Donauforschung (IAD), 25. Arbeitstagung, Bratislava/Tschechoslowakei
- TITTIZER, T. & KOTHE, P. (1983): Zum Besiedlungsverhalten von im Wasserbau verwendeten Verklammerungssubstanzen. — Deutsche Gewässerkundliche Mitteilungen (DGM) 27, H. 3, S. 110 — 113
- TITTIZER, T. & SCHLEUTER, A. (1989): Über die Auswirkung wasserbaulicher Maßnahmen auf die biologischen Verhältnisse in den Bundeswasserstraßen. — Deutsche Gewässerkundliche Mitteilungen (DGM) 33, H. 2 (im Druck)