

HENRY

Hydraulic Engineering Repository

Ein Service der Bundesanstalt für Wasserbau

Conference Paper, Author's Postprint

Stamm, Jürgen; Schmidt, Andreas

Geschiebemanagement an schiffbaren Flüssen

Mitteilungen des Lehrstuhls und Instituts für Wasserbau und Wasserwirtschaft der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen

Verfügbar unter/Available at: <https://hdl.handle.net/20.500.11970/104580>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

Stamm, Jürgen; Schmidt, Andreas (2006): Geschiebemanagement an schiffbaren Flüssen.

In: Internationales Wasserbau Symposium Aachen (IWASA), 5. u. 6. Januar 2006.

Mitteilungen des Lehrstuhls und Instituts für Wasserbau und Wasserwirtschaft der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen Bd. 146. Aachen: Shaker-Verlag. S.

F/1-F/27.

Standardnutzungsbedingungen/Terms of Use:

Die Dokumente in HENRY stehen unter der Creative Commons Lizenz CC BY 4.0, sofern keine abweichenden Nutzungsbedingungen getroffen wurden. Damit ist sowohl die kommerzielle Nutzung als auch das Teilen, die Weiterbearbeitung und Speicherung erlaubt. Das Verwenden und das Bearbeiten stehen unter der Bedingung der Namensnennung. Im Einzelfall kann eine restriktivere Lizenz gelten; dann gelten abweichend von den obigen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Documents in HENRY are made available under the Creative Commons License CC BY 4.0, if no other license is applicable. Under CC BY 4.0 commercial use and sharing, remixing, transforming, and building upon the material of the work is permitted. In some cases a different, more restrictive license may apply; if applicable the terms of the restrictive license will be binding.



Erstveröffentlichung in: Internationales Wasserbau Symposium Aachen 2006. Mitteilungen des Lehrstuhls und Instituts für Wasserbau und Wasserwirtschaft der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen, Band 146.

Aachen: Shaker-Verlag 2006, S. F/1-F/27.

Für eine korrekte Zitierbarkeit ist die Seitennummerierung der Originalveröffentlichung für jede Seite kenntlich gemacht.

S. F/1

Geschiebemanagement an schiffbaren Flüssen

J. Stamm (Referent), A. Schmidt

Vortrag gehalten am 05.01.2006

Stamm, Schmidt: Geschiebemanagement an schiffbaren Flüssen.

S. F/2

In: Internationales Wasserbau Symposium Aachen 2006.

Mitteilungen des Lehrstuhls und Instituts für Wasserbau und Wasserwirtschaft der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen, Band 146.

Aachen: Shaker-Verlag 2006, S. F/1-F/27

Inhaltsverzeichnis

1	Einführung	F / 3
1.1	Spannungsfeld Fließgewässer	F / 3
1.2	Nutzung und Unterhaltung des Flusses als Wasserstraße	F / 3
1.3	Morphodynamische Prozesse	F / 5
2	Geschiebemanagement als Unterhaltungsaufgabe	F / 6
2.1	Sohlgleichgewicht am Rhein	F / 7
2.2	Anthropogene Geschiebeumlagerung	F / 9
2.3	Geschiebezugabe	F / 9
2.4	Geschiebeentnahme	F / 11
3	Erfolgskontrolle des Geschiebemanagements	F / 12
3.1	Grundsätze	F / 12

3.2	Datengrundlage	F / 15
3.3	Methodische Auswertung der Daten	F / 20
3.4	Datenmanagement	F / 21
3.5	Begleitende Untersuchungen mittels Feststofftransportmodellen	F / 22
4	Schlussfolgerungen und Ausblick	F / 25
5	Literatur	F / 26

Stamm, Schmidt: Geschiebemanagement an schiffbaren Flüssen. S. F/3
In: Internationales Wasserbau Symposium Aachen 2006.
Mitteilungen des Lehrstuhls und Instituts für Wasserbau und Wasserwirtschaft
der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen, Band 146.
Aachen: Shaker-Verlag 2006, S. F/1-F/27

1 Einführung

1.1 Spannungsfeld Fließgewässer

Der Verkehrsträger Binnenschifffahrt weist im Vergleich zu den anderen Verkehrsträgern die Besonderheit auf, dass sein Transportmedium, die Flüsse und Kanäle, einer Vielzahl von Nutzungsarten unterliegt. Die Nutzung der natürlichen und künstlichen Fließgewässer für Transportzwecke, für Zwecke der Wasserversorgung von Haushalten, Industrie und Gewerbe, der Bewässerung für den landwirtschaftlichen Bedarf, der Abwasserentsorgung, der Energiegewinnung, der gefahrlosen Hochwasser- und Eisabfuhr, der Fischerei sowie für Freizeit und Erholung ist verbunden mit jeweils eigenen Ansprüchen, für deren hinreichende Befriedigung die verschiedenen Systemparameter meist unterschiedlich zu optimieren sind. In der Funktionsvielfalt insbesondere der natürlichen Wasserwege liegt naturgemäß ein Spannungsfeld begründet, welches nicht zuletzt als politische Gestaltungsaufgabe anzusehen ist.

Die Anforderungen der Schifffahrt sind im Wesentlichen beschrieben mit Bedingungen, die einen sicheren, leichten und gleichzeitig wirtschaftlichen Betrieb gewährleisten. Dies setzt neben einer geeigneten Trassierung der Fahrrinne vor allem deren ausreichende Tiefe und Breite voraus. Darüber hinaus erfordern Sicherheit und Leichtigkeit des Schiffsverkehrs eine weitgehend lagestabile Fahrrinne sowie moderate Fließgeschwindigkeiten. Letztlich ist die Binnenschifffahrt, wie die anderen Verkehrsträger auch, vor allem auf verlässliche Randbedingungen angewiesen.

1.2 Nutzung und Unterhaltung des Flusses als Wasserstraße

Die schiffbaren Flüsse in Deutschland werden zum Teil seit Jahrhunderten durch Flussregulierungsmaßnahmen im Rahmen der wasserwirtschaftlichen und kulturellen Landesentwicklung sowie zur verkehrlichen Nutzung ertüchtigt, wie ECKOLDT ET AL. (1998) in einem historischen Überblick zeigt. Der Niedrigwasserausbau, der zur Verbesserung der schiffahrtlichen Verhältnisse allein keinen nachhaltigen Erfolg aufweist, da hierfür die bettgestaltenden höheren Abflüsse verantwortlich sind, folgt daher meist dem Mittelwasserausbau (KUHN, 1985). Durch die Regelung kann vor allem das Gefälle örtlich verändert werden, wie dies zum Beispiel durch den Ausgleich des Sohlenverlaufes

Stamm, Schmidt: Geschiebemanagement an schiffbaren Flüssen. S. F/4
In: Internationales Wasserbau Symposium Aachen 2006.
Mitteilungen des Lehrstuhls und Instituts für Wasserbau und Wasserwirtschaft
der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen, Band 146.
Aachen: Shaker-Verlag 2006, S. F/1-F/27

zwischen einer kurzen steileren mit einer anschließenden flacheren Teilstrecke auftreten kann. Auf längerer Strecke hingegen sollten sich das mittlere Gefälle und die Rauheit durch die Regelungsmaßnahme nicht verändern. Die Veränderungen des Tiefen- und sowie des Fließgefälles ziehen Änderungen der Fließgeschwindigkeit und des Feststofftransportvermögens nach sich. Hierdurch bildet sich auf Grundlage des verfügbaren Geschiebedargebotes ein neues abflussabhängiges Transportregime aus, das, bedingt durch die „natürlichen“ Grenzen des Regelungssystems hinsichtlich der Anpassungsmöglichkeiten an das gesamte Abflussspektrum und unter Beachtung der ökonomischen Randbedingungen, lokal dennoch Sedimentationen und Erosionen bewirken kann¹. Diese aus schiffahrtlicher Sicht lokalen „Fehlstellen“ werden durch Baggern und Verklappen (Umlagerung) von Sohlmaterial ausgeglichen, die zu den am weitest verbreiteten Unterhaltungsmaßnahmen von Schiffahrtsstraßen gehören. Ferner finden Zugaben und Entnahmen von Geschiebe zum Ausgleich der großräumigen Geschiebemengenbilanz statt, mit dem Ziel der Herstellung eines dynamischen Sohlengleichgewichtes.

Die Durchführung dieser Unterhaltungsmaßnahmen obliegt dem Bund, der nach Artikel 89 des Grundgesetzes Eigentümer der früheren Reichswasserstraßen ist und sie durch eigene Behörden, die Wasser- und Schiffahrtsverwaltung des Bundes (WSV), verwaltet. Über den Umfang der Wasserstraßenunterhaltung heißt es in § 8 Bundeswasserstraßengesetz (WaStrG):

(1) Die Unterhaltung der Binnenwasserstraßen (§ 1 Abs.1 Nr.1) umfasst die Erhaltung eines ordnungsgemäßen Zustandes für den Wasserabfluss und die Erhaltung der Schiffbarkeit. Bei der Unterhaltung ist den Belangen des Naturhaushalts Rechnung zu tragen; Bild und Erholungswert der Gewässerlandschaft sind zu berücksichtigen. Die natürlichen Lebensgrundlagen sind zu bewahren.

Unterhaltungsmaßnahmen müssen die nach §§ 25a bis 25d des Wasserhaushaltsgesetzes maßgebenden Bewirtschaftungsziele berücksichtigen.

(2) Wenn es die Erhaltung des ordnungsgemäßen Zustands nach Absatz 1 erfordert, gehören zur Unterhaltung besonders die Räumung, die Freihaltung, der Schutz und die Pflege des Gewässerbettes mit seinen Ufern. Dabei ist auf die Belange der Fischerei Rücksicht zu nehmen.

Stamm, Schmidt: Geschiebemanagement an schiffbaren Flüssen. S. F/5
In: Internationales Wasserbau Symposium Aachen 2006.
Mitteilungen des Lehrstuhls und Instituts für Wasserbau und Wasserwirtschaft
der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen, Band 146.
Aachen: Shaker-Verlag 2006, S. F/1-F/27

Bis auf wenige Ausnahmen bestehen flussbauliche Maßnahmen an den deutschen Binnenwasserstraßen heutzutage im Wesentlichen in der Optimierung bereits ausgebauter Strecken, wobei neben der Verbesserung der nautischen Bedingungen in den letzten Jahren zunehmend wasserwirtschaftliche und naturschutzfachliche Kriterien Berücksichtigung finden. In Übereinstimmung von schiffahrtlichen, landeskulturellen und ökologischen Zielen bilden Fragen des Geschiebemanagements zur Erreichung einer großräumigen und langfristigen Sohlstabilität zentrale Bestandteile flussbaulicher Tätigkeiten.

Ausgehend von der Analyse der Erosionsursachen können grundsätzlich folgende Maßnahmen zur Erosionseindämmung ergriffen werden:

- Erhöhung des Erosionswiderstandes der Sohle (Sohlsicherungen, z.B. Kolkverbau, Sohlabdeckung, Schwellen)
- Verringerung des Feststofftransportvermögens des Flusses durch Maßnahmen im Gewässer (Anpassung der Regelungsbauwerke, Gefälleausgleich) und Maßnahmen im Vorland (Vorlandabgrabungen, Flutmulden, strömungsgünstige Deichverläufe, Rückdeichungen)
- Erhöhung des Feststoffdargebots (Geschiebezugabe)

Da oftmals je nach Flussabschnitt unterschiedliche Abflusssituationen für die Sohleintiefung verantwortlich sein können, wird es in der Regel notwendig sein, die Gegenmaßnahmen streckendifferenziert bzw. in geeigneter Kombination und Gewichtung auszuwählen.

1.3 Morphodynamische Prozesse

In alluvialen Fließgewässern sind morphodynamische Umbildungsprozesse natürliche Erscheinungen. Diese Prozesse sind im Wesentlichen bedingt durch die durch Einzugsgebiet und klimatische Randbedingungen geprägte Hydrologie sowie durch die geologischen und topographischen Gegebenheiten des Flusstals. Fluviale Abtrags- und Anlandungsvorgänge sind daher seit jeher als flussbettgestaltende Prozesse Ausdrucksformen für das fortwährende „Bestreben“ des Flusses, ein

Transportgleichgewicht zu erreichen. Da die schiffbaren Flüsse heute jedoch in ihrem Hochwasser- und Mittelwasserbett

Stamm, Schmidt: Geschiebemanagement an schiffbaren Flüssen. S. F/6
In: Internationales Wasserbau Symposium Aachen 2006.
Mitteilungen des Lehrstuhls und Instituts für Wasserbau und Wasserwirtschaft
der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen, Band 146.
Aachen: Shaker-Verlag 2006, S. F/1-F/27

weitgehend festgelegt sind, zudem durch Ausbau der Nebenflüsse und Stauregelung von Oberläufen (z.B. Oberrhein, tschechische Elbe) ein oftmals erhebliches Geschiebedefizit entstanden ist, und die gegenwärtig an der unter deutlich anderen Bedingungen (niedrigere Gefälle, Wassertiefen und Fließgeschwindigkeiten) entstandenen Flusssohle vorliegenden Sedimente nicht dem derzeitigen Regimezustand entsprechen, ist Sohlerosion seit Jahrzehnten eines der Hauptprobleme an den freifließenden Strömen.

Durch die fortschreitende und im Vergleich zu geomorphologischen Prozessen beschleunigte Eintiefung werden die hydraulischen Verhältnisse im gesamten Stromabschnitt zunehmend unstabiler und die Standsicherheit von Strombauwerken wird gefährdet. Die heterogene Sohlstruktur führt zum „Herauswachsen“ von Felspartien, die Wassertiefen in Häfen und Schleusenzufahrten nehmen ab und die Sicherheit und Leichtigkeit des Schiffsverkehrs und letztlich die Wirtschaftlichkeit der Binnenschifffahrt insgesamt werden beeinträchtigt. Da der Wasserspiegel den Eintiefungen der Sohle folgt, verringern sich die Überflutungshäufigkeiten und der Grundwasserspiegel sinkt verbunden mit entsprechenden Auswirkungen auf Flora und Fauna sowie auf die landwirtschaftliche, forstwirtschaftliche und wasserwirtschaftliche Nutzung der Aue.

2 Geschiebemanagement als Unterhaltungsaufgabe

Unter der Bezeichnung „Geschiebemanagement“ (synonym: Geschiebemanagement) werden alle **Maßnahmen zur unmittelbaren Steuerung** des Geschiebehaushalts verstanden, d.h. anthropogene Geschiebeumlagerungen (Baggern, Verklappen) sowie gezielte Geschiebezugaben und Geschiebeentnahmen. Bei Geschiebeumlagerungen wird das entnommene Material i.d.R. in der Nähe der Entnahmestelle im Gewässerbett wieder eingebracht. Bei einer Geschiebezugabe hingegen wird hauptsächlich Material von außerhalb des Gewässerbetts (Aue oder Steinbrüche) dem Fluss zugeführt, während bei einer Geschiebeentnahme dem Fluss systematisch Geschiebe z.B. mittels eines Geschiebefangs entzogen wird. In Unterscheidung hierzu gelten die klassischen flussregelnden Maßnahmen, also bauliche Veränderungen des Abflussquerschnitts mittels der Regelungselemente Buhne, Parallelwerk, Sohlschwelle etc., als **Maßnahmen zur mittelbaren Steuerung** des Geschiebehaushalts.

Stamm, Schmidt: Geschiebemanagement an schiffbaren Flüssen.
In: Internationales Wasserbau Symposium Aachen 2006.
Mitteilungen des Lehrstuhls und Instituts für Wasserbau und Wasserwirtschaft
der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen, Band 146.
Aachen: Shaker-Verlag 2006, S. F/1-F/27

S. F/7

2.1 Sohlengleichgewicht am Rhein

Angesichts der herausragenden verkehrswirtschaftlichen Bedeutung des Rheins wurde 1994 vom Bundesministerium für Verkehr (BMV) beschlossen, ein Maßnahmenprogramm zur Erzielung eines Sohlengleichgewichtes der Bundeswasserstraße Rhein zwischen Iffezheim und den Niederlanden zu erarbeiten. Die Aufgabenstellung der hierzu eingerichteten Arbeitsgruppe „RHEINSOHLEN-EROSION“ umfasste die Erarbeitung eines technisch und wirtschaftlich realisierungsfähigen Gesamtkonzeptes einschließlich der Festlegung von Methoden zur Durchführung, Kontrolle und Steuerung möglicher Maßnahmen zur Erzielung eines Sohlengleichgewichtes. Dabei wurde auf die Option zur ständigen, durch Erfolgskontrolle gestützten Kurskorrektur im Sinne eines „lernenden Systems“ Wert gelegt. Ziel war letztlich auch eine Harmonisierung der verschiedenen, in der Vergangenheit regional unterschiedlich präferierten fachlichen Ansätze.

In dem von dieser Arbeitsgruppe vorgelegten Bericht „Sohlengleichgewicht am Rhein - Bestandsaufnahme und Maßnahmenprogramm“ (BMV, 1997) wird ausgeführt, dass der bettbildende Feststofftransport so zu steuern ist, dass es tendenziell und langfristig zu keinen großflächigen Anlandungen oder zu Erosionserscheinungen kommt, indem örtlich und großräumig das Transportvermögen und das Geschiebedargebot in Einklang gebracht werden. Das vorgelegte Gesamtkonzept stützt sich dabei auf die sich gegenseitig ergänzenden

- Maßnahmen der Flussregelung (Strombauwerke, Sohlenbefestigungen), mit denen ein baulicher Zustand zu gewährleisten bzw. herzustellen ist, der ein dynamisches Sohlengleichgewicht bewirkt, und
- Maßnahmen der Geschiebewirtschaftung (Geschiebezugabe, Geschiebeentzug), die in solchen Strecken anzuwenden sind, in denen der Geschiebehaushalt großräumig gestört ist.

Weiter wird ausgeführt, dass die zu ergreifenden Maßnahmen in Bezug auf die wesentlichen Belange der Schifffahrt, der Landeskultur/Wasserwirtschaft und der Ökologie, unter Beachtung gesamtwirtschaftlicher Gesichtspunkte, zu optimieren sind. Der Bericht macht allerdings auch deutlich, dass die miteinander konkurrierenden Ziele und die damit verbundenen Anforderungen zum Teil nur schwer in Einklang zu bringen sind.

Stamm, Schmidt: Geschiebemanagement an schiffbaren Flüssen. S. F/8
In: Internationales Wasserbau Symposium Aachen 2006.
Mitteilungen des Lehrstuhls und Instituts für Wasserbau und Wasserwirtschaft
der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen, Band 146.
Aachen: Shaker-Verlag 2006, S. F/1-F/27

Folgende allgemeine Grundsätze zur Verbesserung des Sohlengleichgewichtes werden im genannten Bericht angeführt:

- Großräumige Feststoffdefizite bzw. Überangebote sind durch unmittelbare Maßnahmen der Geschiebemanagement, d.h. Geschiebezugabe bzw. -entnahme auszugleichen.
- Regionalen Feststoffdefiziten ist möglichst durch flussregelnde (mittelbare) Maßnahmen zu begegnen (z.B. durch Rückbau von Regelungselementen, Ersatz von Buhnen durch Längswerke, Vorlandtieferlegung, Nachregelung etc.).
- In regionalen Erosionsbereichen, in denen traditionelle Maßnahmen wie der Rückbau von Regelungselementen zur Verhinderung der Erosionstendenz dazu führen würde, dass die erforderlichen Fahrrinnenabmessungen nicht aufrechterhalten werden können, kann die Sohle durch Grobkornanreicherung bzw. durch Deckwerke gegen Erosion gesichert werden.
- Alle Maßnahmen sollen möglichst auf wenige Eingriffsbereiche beschränkt werden. Dennoch sollen durch diese örtlichen Maßnahmen möglichst großräumige Wirkungen erzielt werden. Diese Grundregel gilt auch für Maßnahmen der Feststoffbewirtschaftung, d.h. Zugabe und Entnahme sollten an möglichst wenigen Stellen erfolgen.
- Alle Maßnahmen der Geschiebemanagement sind darauf auszurichten, die zu beschaffenden, zu entnehmenden und zu transportierenden Mengen zu minimieren.
- Alle Maßnahmen sind darauf zu überprüfen, ob sie den größtmöglichen Nutzen im Vergleich zum erforderlichen Aufwand gewährleisten, wobei die wirksamste Maßnahme zuerst zu ergreifen ist. Daraufhin sollte der erzielte Erfolg überprüft werden.
- Die Maßnahmen sind mit den Unterliegern abzustimmen.

Grundsätzlich gilt, nach dem Prinzip des „lernenden Systems“, zunächst den großräumigen Feststoffhaushalt zu unterstützen und vorsichtig begleitend bauliche Eingriffe vorzunehmen. Zusammenfassend wird festgehalten, dass der angestrebte Stromzustand in Verbindung mit Maßnahmen der Geschiebemanagement und der Flussregelung nur sehr langfristig erreicht werden kann und daher noch über längere Zeit ergänzende örtliche Eingriffe, wie das Baggern von Fehlstellen mit anschließender Verklappung, erforderlich sein werden.

Stamm, Schmidt: Geschiebemanagement an schiffbaren Flüssen. S. F/9
In: Internationales Wasserbau Symposium Aachen 2006.
Mitteilungen des Lehrstuhls und Instituts für Wasserbau und Wasserwirtschaft
der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen, Band 146.
Aachen: Shaker-Verlag 2006, S. F/1-F/27

2.2 Anthropogene Geschiebeumlagerung

Anthropogene Geschiebeumlagerung umfasst vor allem die auf lokale Anlandungsstellen ausgerichteten Entnahmen und Zugaben, bei welchen Material an Stellen, an denen die Geschiebetransportkapazität (zeitweilig) nicht ausreichend ist, aufgenommen wird, und dieses an Stellen, an denen ausreichend Geschiebetransportkapazität und Wassertiefe vorhanden ist, wieder zugegeben wird. In der Bilanz wird dem Fluss im Rahmen von Umlagerungen daher weder Material entnommen noch zugegeben. Somit stellt die Geschiebeumlagerung eine Maßnahme zur Verstetigung des Geschiebetriebs dar und verbessert damit auch die Schifffahrtsbedingungen. Sie kommt in Abschnitten zur Anwendung, in denen die Anpassung der Transportkapazität an das Geschiebedargebot durch strombauliche Maßnahmen nicht möglich oder unwirtschaftlich ist.

Unangepasste Regelungsparameter (z.B. zu großer Streichlinienabstand) oder schadhafte Regelungsbauwerke in Strecken mit stark veränderlicher Sohle führen dazu, dass der Durchtransport des Geschiebes mit Hilfe anthropogener Geschiebeumlagerung wesentlich unterstützt werden muss.

2.3 Geschiebezugabe

Geschiebezugabe dient im Gegensatz zu lokalen Sohlsicherungsmaßnahmen (z.B. Sohlschwellen, Kolkverbau) der großräumigen Erosionsreduktion. Sie gleicht ein vorhandenes Geschiebedefizit aus und dient sowohl schifffahrtlichen als auch wasserwirtschaftlichen und ökologischen Belangen. Auf der Grundlage einer an die Hydrologie und die hydraulisch-morphologische Streckencharakteristik angepassten Dosierung ist sie eine geeignete Maßnahme zur dynamischen Sohlstabilisierung, bei der die natürlichen Bedingungen an der Flusssohle weitestgehend erhalten bleiben.

Im Idealfall wird durch die Geschiebezugabe genau die Masse mit den Materialeigenschaften und der Kornzusammensetzung eingebracht, wie sie sich der Strom sonst aus der Sohle entnehmen würde. Dazu müsste die Zugabe jedoch kontinuierlich entlang der gesamten Erosionsstrecke exakt auf das jeweilige Transportvermögen abgestimmt werden. Da dies in der Praxis schon aus ökonomischen Gründen nicht möglich ist, wird das Material i.d.R. unmittelbar oberhalb des zu stützenden Flussabschnitts eingebracht. Dabei muss vor allem die Kornzusammensetzung des Zugabematerials auf die hydraulischen

schen und sedimentologischen Verhältnisse der gesamten zu stützenden Strecke abgestimmt sein. Bei ausgedehnten und insbesondere bei heterogenen Erosionsstrecken kann es sinnvoll sein, das Material in mehreren Zugabebereichen (ggf. auch abwechselnd) einzubringen. Durch auf die Zugabebereiche und den Durchfluss abgestimmte Dosierungen des Zugabematerials, flächenhaftes Einbringen sowie einen ausreichenden Wechsel der Zugabebereiche ist zu gewährleisten, dass es zu keinen über die natürliche Sohlenumlagerung hinausgehenden Aufhöhungen der Sohle kommt. Da i.d.R. weder bei extremen Niedrigwasser- noch bei Hochwassersituationen Material verklappt werden kann, muss während der Zeiten, in denen eine Zugabe möglich ist, eine gewisse Überdosierung erfolgen, d.h. in Zugabebereichen ist ggf. eine leichte temporäre Sohlenaufhöhung zu tolerieren. Die Zugabe ist durch Kontrollpeilungen zu begleiten, um eine hinreichende Fahrrinntiefe sicherzustellen.

Neben dem Ziel, die Materialaufnahme aus der Gewässerberandung dauerhaft zu verringern, ist darüber hinaus oftmals eine durch die Geschiebezugabe bewirkte Erhöhung des Erosionswiderstandes der Sohle erwünscht, indem durch Zugabe von Material, welches grobkörniger ist als das oberflächlich anstehende Sohlmaterial, sukzessive eine ‚Grobkornanreicherung‘ und damit Stabilisierung der Sohle stattfindet. Hierzu bedarf es einer sensiblen Abstimmung der Grobkornanteile von Zugabematerial und vorhande-nem Sohlmaterial und einer genauen Beobachtung des Transportverhaltens.

Die Optimierung einer Geschiebezugabe hinsichtlich Zugabestellen, Zugabemengen, abflussabhängiger Dosierung und Kornzusammensetzung sollte durch numerische Feststofftransportmodelle unterstützt werden, insbesondere, wenn es längere Stromabschnitte mit wechselnden hydraulischen Verhältnissen zu stützen gilt. Da der Feststofftransport jedoch wegen der Komplexität der Wirkmechanismen sowohl in mathematischen als auch in gegenständlichen Modellen stets nur hinsichtlich bestimmter Teilaspekte modelliert werden kann, und die Güte der Modelle von der detaillierten Kenntnis und Wiedergabe der Naturverhältnisse abhängt, muss das Erosions- und Transportverhalten vor allem in seiner natürlichen Umgebung untersucht werden. Nur durch ein behutsames ‚Herantasten‘ im Rahmen von Naturversuchen können die für eine dynamische Sohlstabilisierung maßgeblichen Parameter schrittweise optimiert werden.

Stamm, Schmidt: Geschiebemanagement an schiffbaren Flüssen. S. F/11
In: Internationales Wasserbau Symposium Aachen 2006.
Mitteilungen des Lehrstuhls und Instituts für Wasserbau und Wasserwirtschaft
der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen, Band 146.
Aachen: Shaker-Verlag 2006, S. F/1-F/27

Wie aus Tracerversuchen an Rhein und Elbe (BFG, 1994; PG EROSIONSTRECKE DER ELBE, 2001) bekannt ist, bewegt sich die Mittel- bis Grobkiesfraktion mit Geschwindigkeiten von wenigen Kilometern pro Jahr zu Tal. Dies bedeutet, dass eine Stützung weit von der Zugabestelle entfernter erosiver Flussabschnitte mit grobem Material erst Jahre oder Jahrzehnte nach Beginn der Zugabe

eutreten kann. Die Kenntnis der Transportgeschwindigkeiten einzelner Fraktionen ist daher sowohl für die Optimierung der Geschiebezugabe, für das im Rahmen der Erfolgskontrolle durchzuführende Monitoring als auch für die Optimierung und das Monitoring unterstützenden numerischen Simulationen von grundlegender Bedeutung (SCHMIDT & FAULHABER, 2001).

2.4 Geschiebeentnahme

Während Geschiebedefizite zur Eintiefung der Flusssohle führen, landet sich das Material in Streckenabschnitten mit Geschiebeüberschuss großflächig an. Dabei kann es - wie z.B. im Rheingau - zu verstärkter Transportkörperbildung mit der Folge einer Abladebeschränkung für die Schifffahrt kommen. Die Transportkörper lassen sich durch Baggerungen nicht wirksam beseitigen, da sie sich auf Grund der vorhandenen hydromorphologischen Verhältnisse wieder sehr schnell neu formieren. Hier kann nur eine Baggerstrategie helfen, bei der am Beginn der kritischen Strecke an geeigneter Stelle ein Geschiebeentzug für das überschüssige Material vorgenommen wird.

Hierzu wird am Beginn einer Anlandungstrecke ein Geschiebefang eingerichtet, um einen Teil des von oberstrom herantransportierten Geschiebes abzufangen, ehe es in die Anlandungstrecke wandern kann. Das aus dem Geschiebefang in regelmäßigen Abständen gebaggerte Material sollte in der Regel am oberen Ende der nächsten unterstrom liegenden Erosionsstrecke dem Fluss wieder zugeführt werden.

Da in der Strecke unterhalb eines Geschiebefanges ein Geschiebedefizit entsteht, nimmt der Strom hier das an der Sohle abgelagerte Geschiebe auf. Sofern eine widerstandsfähige Grobkornschicht die Erosion begrenzt, ist ein solches Geschiebedefizit unbedenklich. Ist dies nicht der Fall, ist auf den ersten Kilometern unterhalb des Geschiebefangs mit einer Sohleintiefung zu rechnen, der durch eine Sohlstabilisierung begegnet werden kann. Unter Umständen ist die Wirksamkeit des Geschiebefangs zu reduzieren.

Stamm, Schmidt: Geschiebemanagement an schiffbaren Flüssen. S. F/12
In: Internationales Wasserbau Symposium Aachen 2006.
Mitteilungen des Lehrstuhls und Instituts für Wasserbau und Wasserwirtschaft
der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen, Band 146.
Aachen: Shaker-Verlag 2006, S. F/1-F/27

Erstmals angewandt wurde die Baggerstrategie des Geschiebeentzugs im Streckenabschnitt des Rheingaus zwischen Mainz und Bingen. Aufgrund des geringen Gefälles und des daraus resultierenden geringen Geschiebetransports ist der Rheingau eine typische Anlandungstrecke und ein problematischer Abschnitt für die Schifffahrt. Im Jahr 1989 wurde ein Geschiebefang im Bereich Mainz-Weisenau (Rhein-km 494,3) eingerichtet. Er liegt mitten im Strom und hat eine Breite von 250 m, eine Länge von 160 m und wird jeweils bis auf 4,20 m unter GIW, entsprechend einer Tiefe von 1,50 m unter der Umgebungssohle, ausgebagert. Der Geschiebefang wurde bis Ende 2005 einundzwan-

zigmal geleert, dabei wurden insgesamt 1,6 Mio. m³ Kies-Sand-Gemisch entnommen, wovon ca. 0,35 Mio. m³ Geschiebe dem Strom wieder zurückgeführt wurden.

Insgesamt erweist sich der Naturversuch mit dem Geschiebefang Mainz-Weisenau bis-her als wirksame Alternative zur konventionellen Baggerstrategie, bei der nur dort gebaggert wird, wo die Fahrrinne eingeschränkt ist.

3 Erfolgskontrolle des Geschiebemanagements

Die nachfolgenden Ausführungen stützen sich auf die Studie „Grundlagen zur Durchführung einer Erfolgskontrolle des Geschiebemanagements am Rheinstrom“ vom September 2005, die von der gleichnamigen Projektgruppe der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes unter Beteiligung der beiden Bundesanstalten für Wasserbau und Gewässerkunde erstellt wurde (PG ERFOLGSKONTROLLE GESCHIEBEMANAGEMENT AM RHEINSTROM, 2005).

3.1 Grundsätze

Nach § 7 Bundeshaushaltsordnung unterliegt alles staatliche Handeln dem Gebot der Wirtschaftlichkeit und Sparsamkeit. Dieser Grundsatz verpflichtet die Handelnden, dafür Sorge zu tragen, dass die eingeleiteten Maßnahmen die beabsichtigten Wirkungen entfalten und die geplanten Ziele erreichen, d.h. erfolgreich sind. Dies sicherzustellen und nachzuweisen ist Aufgabe der Erfolgskontrolle, die ihrerseits ebenfalls dem Grundsatz der Wirtschaftlichkeit und Sparsamkeit unterliegt.

Stamm, Schmidt: Geschiebemanagement an schiffbaren Flüssen. S. F/13
In: Internationales Wasserbau Symposium Aachen 2006.
Mitteilungen des Lehrstuhls und Instituts für Wasserbau und Wasserwirtschaft
der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen, Band 146.
Aachen: Shaker-Verlag 2006, S. F/1-F/27

Unter Erfolgskontrolle ist die systematische Untersuchung der tatsächlichen Wirkungen einer Maßnahme im Vergleich zu den erwarteten Wirkungen zu verstehen, wobei alle erreichten positiven und negativen Wirkungen eines Vorhabens zu berücksichtigen sind (WOHLERS, 1998). Erfolgskontrollen sollen Planungsergebnisse bestätigen oder Abweichungen von den Planungen aufzeigen und erklären. Die Ergebnisse einer Erfolgskontrolle stellen Grundlagen bereit zur Entscheidung über den Einsatz weiterer Haushaltsmittel und ermöglichen- im Fall von Maßnahmenbündel die rational begründete Priorisierung der Einzelmaßnahmen. Die Durchführung der Erfolgskontrolle ist Aufgabe der für das zu beurteilende Vorhaben zuständigen Fachinstanz. Diese Pflicht resultiert aus ihrer Verantwortung für die von ihr durchzuführende Aufgabe und für den Nachweis der mit dieser Aufgabe erzielten Wirkungen.

Zentrale Voraussetzungen zur erfolgreichen Durchführung einer Erfolgskontrolle sind:

- eine klare Definition der Ziele sowie
- die Festlegung der für den Nachweis der Zielerreichung maßgebenden Parameter und Methode.

Die Erfolgskontrolle selbst besteht in einem wertenden Vergleich auf der Basis der ursprünglichen Planung, mit dem nachgewiesen werden soll,

- dass die erwarteten Ziele erreicht worden sind (Zielerreichungskontrolle),
- dass die erhofften Wirkungen eingetreten sind (Wirkungskontrolle),
- dass die durchgeführten Maßnahmen für die Wirkungen und für die Zielerreichung ursächlich waren und nicht auch unabhängig von den durchgeführten Maßnahmen eingetreten wären (Kausalitätsprüfung),
- welche Kosten im Vergleich zu den vorherigen Annahmen durch die Maßnahmen tatsächlich verursacht worden sind (Wirtschaftlichkeitskontrolle).

Mit der Zielerreichungskontrolle, der innerhalb der Erfolgskontrolle die größte Bedeutung zukommt, wird festgestellt, in welchem Umfang die vorgegebenen Ziele zu einem festgelegten Zeitpunkt oder nach Abschluss der Maßnahmen erreicht worden sind. Dies geschieht durch Vergleich der angestrebten Ziele mit den tatsächlich erreichten. Vor

Stamm, Schmidt: Geschiebemanagement an schiffbaren Flüssen. S. F/14
In: Internationales Wasserbau Symposium Aachen 2006.
Mitteilungen des Lehrstuhls und Instituts für Wasserbau und Wasserwirtschaft
der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen, Band 146.
Aachen: Shaker-Verlag 2006, S. F/1-F/27

Durchführung einer Erfolgskontrolle ist daher festzulegen, wie der Erfolg zu messen ist. Hierzu lassen sich folgende Methoden heranziehen (WOHLERS 1998):

- der Soll-Ist-Vergleich: Vergleich des erreichten Ergebnisses nach Durchführung der Maßnahmen mit dem vor Beginn für diesen Zeitpunkt angestrebten Ergebnis,
- der Ist-Ist-Vergleich: Vergleich des erreichten Ergebnisses nach Durchführung der Maßnahmen mit dem Ist vor Beginn der Maßnahmen,
- der Ist-Status-quo-Vergleich: Vergleich des erreichten Ergebnisses nach Durchführung der Maßnahmen mit dem Ergebnis, das sich ohne Durchführung der Maßnahmen ergeben hätte.

Maßgebend für die Wahl ist, ob ein zu erreichender Sollzustand hinreichend konkret beschrieben werden kann oder ob lediglich ein Vergleich "vorher/nachher" auf Grund von Indikatoren, die vorher eindeutig festgelegt worden sind, möglich ist.

Wie jede Erfolgskontrolle so beruht auch die Erfolgskontrolle des Geschiebemanagements auf dem messtechnischen Nachweis der durch die jeweiligen Maßnahmen beabsichtigten Wirkungen. Daher bilden Naturdatenerhebungen sowie die Analyse und Bewertung der Messergebnisse die zentralen Bestandteile der Erfolgskontrolle. Entsprechend ihres langfristigen Maßnahmencharakters handelt es sich bei einer Erfolgskontrolle des Geschiebemanagements jedoch nicht um eine abschließende, sondern eine begleitende Erfolgskontrolle, bei der auf Grund regelmäßig erzielter Ergebnisse die Wirkungen der Maßnahmen beurteilt und Entscheidungen zur Fortführung und Optimierung der Maßnahmen - auch vor dem Hintergrund ggf. veränderter Rahmenbedingungen - getroffen werden können.

Der Erfolg sollte dabei mittels regelmäßiger Ist-Status-Quo-Vergleiche nachgewiesen werden. In einem Flusssystem, in das mittels Geschiebemanagement eingegriffen wird, ist die Intensität der morphodynamischen Prozesse ohne Geschiebemanagement ("Status Quo") keine zeitunabhängige Größe. Vielmehr wird sich durch die stetigen, ein Transportgleichgewicht anstrebenden Bettbildungsprozesse der für das Geschiebemanagement und dessen Erfolgskontrolle zentrale Parameter Erosions- und Akkumulationsrate langfristig signifikant ändern - je nach Strecke und örtlichen Besonderheiten somit zu- oder abnehmen. Ein Vergleich der durch das Geschiebemanagement erreichten

Stamm, Schmidt: Geschiebemanagement an schiffbaren Flüssen. S. F/15
In: Internationales Wasserbau Symposium Aachen 2006.
Mitteilungen des Lehrstuhls und Instituts für Wasserbau und Wasserwirtschaft
der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen, Band 146.
Aachen: Shaker-Verlag 2006, S. F/1-F/27

Ergebnisse mit dem Ist vor Beginn des Managements (Ist-Ist-Vergleich) erscheint daher angesichts des Langfristcharakters der Maßnahme unangemessen. Die Anwendung dieser Vergleichsmethode wäre gerechtfertigt, wenn keinerlei Möglichkeiten bestünden, die zukünftige Entwicklung des Status Quo zu prognostizieren. Diese Möglichkeiten sind jedoch durch den Einsatz numerischer Feststofftransportmodelle gegeben.

Ein Vergleich des erreichten mit dem für einen festgelegten Zeitpunkt angestrebten Ergebnisses (Soll-Ist-Vergleich) erscheint jedoch auch wenig zweckmäßig, da die Gesamtmaßnahme vor allem als Folge der oftmals fehlenden langjährigen Erfahrungen mit Geschiebemanagement und insbesondere angesichts der komplexen Wechselwirkungen den Charakter eines iterativen Lern- und Optimierungsprozesses aufweist, bei dem erst die Ergebnisse der ersten Jahre regional differenzierte Einschätzungen bezüglich der Wirkungsintensitäten zulassen und belastbare Quantifizierungen des Erfolgspotentials ermöglichen werden.

3.2 Datengrundlage

Zur Durchführung einer Erfolgskontrolle werden Zustandsgrößen mehrerer Fachgebiete benötigt, die in einer gesamtheitlichen Betrachtung die Bewertung der Geschiebetransportverhältnisse er-

Autorenfassung

Stamm, Schmidt: Geschiebemanagement an schiffbaren Flüssen, 2006

möglichen. Dies sind Zustandsgrößen aus der Hydrografie, der Hydrologie, der Morphologie und der Sedimentologie, ebenso wie Informationen zu den ausgeführten Baumaßnahmen und des Schiffsverkehrs. Alle Daten sind möglichst kurzfristig nach ihrer Erhebung zu plausibilisieren, um erforderlichenfalls Nachmessungen durchführen zu können.

Hydrografie

Gesicherte Daten über die Geometrie der Flusssohle stellen die wichtigste Grundlage für die Ausführung von Bau- und Unterhaltungsmaßnahmen am Fluss dar. Dies erfolgt am geeignetsten in Form periodischer Aufnahmen der Flusssohle durch Querprofil- und Flächenpeilungen. Zum Einsatz kommen Einzel- und Mehrfachschwingersysteme sowie Fächerecholotsysteme, jeweils mit satellitengestützter, hochpräziser Lage- und Höhenortung. Zur vollständigen Abbildung der hydrografischen Verhältnisse gehört die Aufnahme der Landanschlüsse (Bereich der Wasserwechselzone) sowie der Vorlandprofile mittels terrestrischer Verfahren oder Laser-Scan Befliegung in vegetationsarmen Zeiten,

Stamm, Schmidt: Geschiebemanagement an schiffbaren Flüssen. S. F/16
In: Internationales Wasserbau Symposium Aachen 2006.
Mitteilungen des Lehrstuhls und Instituts für Wasserbau und Wasserwirtschaft
der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen, Band 146.
Aachen: Shaker-Verlag 2006, S. F/1-F/27

da auch hier eine Dynamik vorliegt, die wiederum einen wesentlichen Einfluss auf das hydraulische System ausübt. In Bereichen hoher Dynamik mit Fehlstellencharakter wird die Erfassung der Sohlgeometrie neben der periodischen Aufnahme der Gesamtstrecke meist häufiger und in höherer Auflösung durchgeführt.

Für die Erfolgskontrolle der Geschiebemanagement ergeben sich aus der hydrografischen Datenerhebung Informationen über die Gesamt- und Abflussfläche, die mittlere Sohlenlage, die Schwerpunktlage, Fehltiefen, -breiten und -flächen, den Talweg, die Sohlenhöhe unter der Fahrinne und in der Stromachse sowie Basisdaten für Massenbilanzen.

Hydrologie/Hydraulik

Die Erfassung, die Plausibilisierung und das Analysieren von hydrologischen Kenngrößen im Kontext verkehrsbezogener Aufgaben obliegt der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung und ist im Sollkonzept für die Gewässerkunde (1992) sowie in der jeweiligen Pegelvorschrift dargelegt. Zur hydrologischen Beschreibung gehören im Wesentlichen die Erfassung von Wasserstand, Abfluss und Strömung sowie des Wasserspiegels.

Autorenfassung

Stamm, Schmidt: Geschiebemanagement an schiffbaren Flüssen, 2006

Der Wasserstand wird immer an den gleichen Stellen entlang des Flusses, den sogenannten Pegeln, gemessen. Das Pegelmessnetz, bestehend aus Schwimmerpegeln, Pneumatikpegeln, Drucksonden oder auch Radarpegeln nimmt kontinuierlich den Wasserstand auf, der dann über Mittelungsverfahren Tages-, Monats- oder Jahresmittelwerte sowie Dauerlinien und Dauerzahlen liefert.

Die Abflussmessung erfolgt in der Regel ebenfalls in Pegelnähe auf Basis querprofilorientierter Messung der vertikalen Fließgeschwindigkeitsverteilung mittels ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler). Vereinzelt finden darüber hinaus auch Messungen mit Flügelsonden statt. Im Ergebnis stehen Informationen über die abflussabhängigen Fließgeschwindigkeiten (Isotachenpläne) und über die Veränderung der Abflusskurve sowie Abflusszeitreihen zur Verfügung.

Neben der o.a. punktuellen Wasserstandsmessung an Pegeln liefert die in Längsrichtung des Flusses durchgehende Wasserspiegelfixierung eine wesentliche Information über die großräumigen Fließ- und Streckenverhältnisse, wie Wasserspiegeldifferenzen und

Stamm, Schmidt: Geschiebemanagement an schiffbaren Flüssen. S. F/17
In: Internationales Wasserbau Symposium Aachen 2006.
Mitteilungen des Lehrstuhls und Instituts für Wasserbau und Wasserwirtschaft
der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen, Band 146.
Aachen: Shaker-Verlag 2006, S. F/1-F/27

Wasserspiegelgefalle. Standen früher die Pflöckchenmethode und die schwimmende Latte mit aufgespanntem Horizont zur Wasserspiegelfixierung zur Verfügung, so erfolgt sie heute überwiegend mittels GPS-Einmessung eines sich treiben lassenden Bootes oder über Laser-Scan Befliegung. Insbesondere die GPS-Einmessung mit begleitenden Abflussmessungen ermöglicht die Erfassung instationärer Effekte auf den Wasserspiegel und erhöht damit wesentlich die Aussagequalität der Messdaten.

Morphologie

Direkte Messungen und Beobachtungen von Geschiebe und suspendiertem Sand im Vollprofil liefern in Form von Feststofftransport-Abflussbeziehungen unersätzbare Informationen über die Feststofffrachten sowie geschiebeführende Breiten und damit über die langfristigen Feststofftransportverhältnisse. Die Messung erfolgt mit einem geeichten Fangkorb (Geschiebefänger), der an der Messstelle das während der Messung an der Sohle laufende Geschiebe aufnimmt. Die korrekte Lage des Geschiebefängers wird während der Messung mit Hilfe einer am Korb montierten Videoanlage überprüft. Die Geschiebemessungen dienen der Bilanzierung von Frachten, dem Abgrenzen von Erosions- und Akkumulationsstrecken und der Ermittlung von Gesetzmäßigkeiten im Geschieberegime.

Das gesammelte Geschiebe wird einer Kornanalyse unterzogen und liefert z.B. Informationen über den mittleren Korndurchmesser, die Ungleichförmigkeit, den Schwebanteil, die Lage des Geschiebebandes im Querprofil, die Geschiebe-Transportraten, Transport-Abfluss-Funktionen und Geschiebefrachten.

Autorenfassung

Stamm, Schmidt: Geschiebemanagement an schiffbaren Flüssen, 2006

Neben der Erfassung des auf der Sohle laufenden Geschiebes ist auch die Kenntnis über Menge und Verteilung des suspendierten Materials erforderlich, insbesondere des Anteils, der bettbildenden Charakter aufweist. Dieser kann mit abnehmender Korngröße und zunehmendem Abfluss einen beträchtlichen oder gar dominierenden Anteil an der Gesamtfracht darstellen. Daher werden die Geschiebemessungen durch Schwebstoffvollprofilmessungen begleitet, die in analoger Weise zu den Geschiebemessungen ausgewertet werden (SAUER & SCHMIDT, 1998).

Stamm, Schmidt: Geschiebemanagement an schiffbaren Flüssen. S. F/18
In: Internationales Wasserbau Symposium Aachen 2006.
Mitteilungen des Lehrstuhls und Instituts für Wasserbau und Wasserwirtschaft
der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen, Band 146.
Aachen: Shaker-Verlag 2006, S. F/1-F/27

Tracerversuche liefern Kenntnisse über die Ausbreitung und das Transportverhalten des Zugabematerials selbst und sind damit wesentliche Voraussetzung für die Abschätzung der Wirkung von Geschiebezugaben. Man erhält insbesondere Informationen über den Abtransport des Materials aus dem Zugabebereich, über mittlere und maximale Transportgeschwindigkeiten, die Verteilung über die Strecke sowie Aussagen über die Möglichkeit, auch weiter unterstrom gelegene Strecken zu stützen. Außerdem ermöglichen Tracerversuche die Optimierung der Kornzusammensetzung, indem z.B. Sortierungseffekte quantitativ erfasst werden (SCHMIDT & FAULHABER, 2001).

Sedimentologie

Im Rahmen der sedimentologischen Aufnahme erfolgt die Erfassung der Beschaffenheit von Sohle und Untergrund unterhalb der geschiebeführenden Deckschicht und ermöglicht so eine Beurteilung bereits eingetretener oder zu erwartender Änderungen der Sohlhöhen, des Sohlmaterials und damit der Sohl- und Transporteigenschaften. Sedimentologische Aufnahmen werden im mehrjährigen (ca. zehnjährigen) Abstand durchgeführt und umfassen die visuelle Sohlenansprache, Sondierungen und Probenahmen mittels Taucherschacht oder Greifer sowie Bohrungen und Gefrierkernentnahmen. Im Ergebnis stehen Informationen über den Aufbau von Sohle und Untergrund, Korngrößen von Deckschicht und Unterschicht, das Auftreten und das Ausmaß von Transportkörpern, den Tiefgang der Sohlenumlagerung, den Abpflasterungsgrad und die petrografischen Eigenschaften des Materials zur Verfügung.

Baumaßnahmen

Wie in Kapitel 2 beschrieben, haben die klassischen flussregelnden Maßnahmen, die eine bauliche Veränderung des Abflussquerschnitts und damit der Abflussverhältnisse darstellen, einen mittelbaren Einfluss auf die Geschiebetransportverhältnisse. Sie stellen quasi statische Maßnahmen dar, die durch diskontinuierliche und variabel gestaltbare Geschiebeumlagerungen, -zugaben oder -entnahmen ergänzt werden. Die überregional gleichartige Erfassung und Beschreibung von Art und Umfang sämtlicher Bau- und Geschiebemanagementsmaßnahmen, d.h. der mittelbaren und

unmittelbaren Maßnahmen zur Geschiebesteuerung, ist für die Streckenanalyse der Sohllagenänderungen und der Geschiebetransportverhältnisse unerlässlich. Die von der Bundesanstalt für

Stamm, Schmidt: Geschiebemanagement an schiffbaren Flüssen. S. F/19
In: Internationales Wasserbau Symposium Aachen 2006.
Mitteilungen des Lehrstuhls und Instituts für Wasserbau und Wasserwirtschaft
der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen, Band 146.
Aachen: Shaker-Verlag 2006, S. F/1-F/27

Wasserbau (BAW) der WSV zur Verfügung gestellte Erfassungssoftware BauMaGs ermöglicht die dezentrale Erfassung aller Bau- und Geschiebemanagementmaßnahmen sowie die zeit-, orts- und streckenorientierte, kontextsensitive Maßnahmenauswertung mit Visualisierung im Lageplan. Darüber hinaus erleichtert das Tool die automatische Erstellung standardisierter Berichtsteile und Diagramme.

Schiffsverkehr

Die Wasser- und Schifffahrtsverwaltung führt die Geschiebemanagement im Rahmen ihrer verkehrsbezogenen Zuständigkeit für die Bundeswasserstraßen durch. Aus diesem Grund ist die Wirkung der Geschiebemanagement auf die schifffahrtliche Nutzung des Gewässers, in Form der Verbesserung des Abladeverhaltens und der Erhöhung der Leichtigkeit und Sicherheit des Schiffsverkehrs, mit einhergehender Reduktion der Unfallgefahr, von besonderem Interesse. Dazu bieten sich querschnittsbezogen als zu messende Parameter an: die Anzahl und zeitliche Verteilung der Schiffspassagen, die Gütermenge und -art, Typ und Geometrie der Schiffe sowie die Abladetiefe. Dies ermöglicht Aussagen über Änderungen der Flotten- und Güterstruktur sowie des Abladeverhaltens auf einzelnen Relationen und damit zum wasserstandsabhängigen Auslastungsgrad der Wasserstraße.

Im Rahmen der Geschiebemanagement interessieren allerdings auch die Wirkungen des Schiffsverkehrs auf die Geschiebemanagementverhältnisse. In den vergangenen Jahren ist ein aus wirtschaftlichen Gründen veranlasster Trend zu größeren und stärker motorisierten Großmotorschiffen, insbesondere auf dem Rhein, zu beobachten. Hierbei stellt sich für die Wasser- und Schifffahrtsverwaltung die Frage, inwieweit aus Gründen der Sicherheit des Schiffsverkehrs und zur Begrenzung der Maßnahmen der Fahrrinnenunterhaltung diesem Trend entsprochen werden kann. Dabei ist der vergleichsweise geringe Flottenanteil dieser Schiffe zu beachten. Derzeit haben sie eine befristete Sonderzulassung. Jedoch wird von den Reedern eine generelle Zulassung, insbesondere 135 m langer und 11,4 m breiter Großmotorschiffe, wie z.B. das MS "Neuburg", für solche, die deutlich stärker motorisiert sind, wie das MS "Myriam" (1800 kW) oder für breitere Schiffe, wie das MS "Jowi" (17,1 m) sowie für Verbände, bestehend aus modernen Leichtern mit 14,5 m Breite (max. Verbandsabmessungen: 270m x 29m), angestrebt.

Stamm, Schmidt: Geschiebemanagement an schiffbaren Flüssen. S. F/20
In: Internationales Wasserbau Symposium Aachen 2006.
Mitteilungen des Lehrstuhls und Instituts für Wasserbau und Wasserwirtschaft
der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen, Band 146.
Aachen: Shaker-Verlag 2006, S. F/1-F/27

Ein wesentliches Entscheidungskriterium für die dauerhafte Zulassung dieser modernen Fahrzeuge ist die Frage nach der Einwirkung dieser Schiffe auf das Gewässerbett. Dies betrifft vornehmlich den Niederrhein, auf dem diese Schiffe überwiegend verkehren und dem es zu einer Zunahme der Erosionstendenz kommen kann. In diesem Zusammenhang analysierte die Bundesanstalt für Wasserbau für eine als repräsentativ angesehene Engstelle bei Westhoven (in der Nähe von Köln) das gesamte Spektrum relevanter Abflusssituationen, Abladebedingungen sowie die heterogene Struktur der Flotte im Hinblick auf die Zunahme des Feststofftransportvermögens, das durch die größeren und modernen Schiffe heute und künftig verursacht wird (SÖHNGEN & HERR, 2000).

3.3 Methodische Auswertung der Daten

Im vorstehenden Kapitel wurde bereits auf Möglichkeiten der jeweils fachgebietsinternen Auswertung der Daten hingewiesen. Darüber hinaus bringt die fachgebietsübergreifende Analyse der die Geschiebetransportverhältnisse beeinflussenden Parameter einen "Informationsmehrwert" durch die Ermittlung der systemischen Wirkungszusammenhänge. Grundsätzlich sind vielzählige "Kreuzrelationen" zwischen den Fachgebietsinformationen festzustellen und auswertbar, von denen nachstehend einige exemplarisch erwähnt werden.

Im Rahmen der morphologischen und sedimentologischen Messungen werden Informationen über abflussabhängige Transportraten und die Lage des Geschiebebandes erhoben, während sich aus den hydrografischen Analysen die nautischen Fehlstellen ergeben. In der Überlagerung dieser Daten ergibt sich die Lageveränderung des Talweges sowie Kenntnisse über Sohlenbeanspruchung und die Variabilität und Dynamik der Sohlhöhenänderungen und des Abflussflächenschwerpunktes innerhalb des Fahrrinnenkastens. Ergänzend aus hydrologischen und hydraulischen Grunddaten wird die mittlere Sohl Schubspannung aus dem Wasserspiegelgefälle sowie dem hydraulischen Radius bzw. der mittleren Wassertiefe ermittelt, oder aus der Messung des vertikalen Geschwindigkeitsprofils abgeleitet. Dem gegenübergestellt werden die kornanalytisch ermittelten Größen des Sohlwiderstandes, so dass sich eine abflussabhängige Beurteilung von Sohlenbeanspruchung und -widerstand ergibt.

Stamm, Schmidt: Geschiebemanagement an schiffbaren Flüssen. S. F/21
In: Internationales Wasserbau Symposium Aachen 2006.
Mitteilungen des Lehrstuhls und Instituts für Wasserbau und Wasserwirtschaft
der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen, Band 146.
Aachen: Shaker-Verlag 2006, S. F/1-F/27

Fahrerinnenbezogene Sohlenlagen werden bezogen auf einen definiert niedrigen Bezugswasserspiegel (GIW) dargestellt. Dieser wird in mehrjährigem Abstand (alle 5 bis 10 Jahre) auf Grundlage der Fortschreibung hydrologischer Messreihen aktualisiert. Hieraus ergeben sich Änderungen der nautisch verfügbaren Tiefen; aber auch Aussagen zur Änderung des Abflusses beim Höchsten Schiffahrtswasserstand (HSW) werden durch die hydrologischen Messdaten (Abflusskurve) unterstützt.

Um die Erkenntnisse aus den morphologischen Untersuchungen mit den Ergebnissen der hydrographischen und hydrologischen Analyse vergleichen zu können, ist eine Bilanzierung der bettbildenden Sedimentfracht, die sich aus der Geschiebefracht und dem Anteil des suspendierten Sandes, der mit der Sohle im Austausch steht, zusammensetzt, erforderlich. Dieser Frachtlängsschnitt, basierend auf mehrlährigen Sedimenttransportmessungen, überlagert mit kornanalytischen Werten (wie z.B. D_{50}), charakterisiert das überregionale Systemverhalten über einen größeren Zeitraum. Überlagert mit Informationen zu Baumaßnahmen und Maßnahmen zur Geschiebesteuerung liefert er Aussagen über natürliche und anthropogen dominierte Änderungen des Geschiebehaushalts. Es lassen sich Aussagen zu Massen(Fracht-)differenzen und über mittlere Sohlhöhenänderungen ableiten.

Die korrespondierende Wirkung von Geschiebemanagementsmaßnahmen auf Sohle und Wasserspiegel lässt sich am geeignetsten an einer synoptischen Zusammenstellung der nachgewiesenen Sohlhöhen- und Wasserspiegellagenänderungen aufzeigen. Diese Darstellung ist von besonderem Wert für die Kalibrierung und Validierung von prognosefähigen Feststofftransportmodellen.

3.4 Datenmanagement

Um den Erfolg eines Geschiebemanagements zu quantifizieren, müssen Daten unterschiedlicher Fachgebiete wie oben erwähnt analysiert und bewertet werden. Die Fachgebiete sind i.d.R. durch unterschiedliche Fachanwendungen, Datenstrukturen und Datenhaltungen gekennzeichnet, so dass sich die Daten meist nur mit erheblichem Transformationsaufwand in einer notwendigen Zusammenschau betrachten lassen. Gerade die Überlagerung von Daten unterschiedlicher Fachgebiete kann jedoch bislang unerkannte Zusammenhänge deutlich machen. Um dies zu gewährleisten, ist der Aufbau eines Sys-

Stamm, Schmidt: Geschiebemanagement an schiffbaren Flüssen. S. F/22
In: Internationales Wasserbau Symposium Aachen 2006.
Mitteilungen des Lehrstuhls und Instituts für Wasserbau und Wasserwirtschaft
der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen, Band 146.
Aachen: Shaker-Verlag 2006, S. F/1-F/27

tems erforderlich, das einerseits Recherchefunktionalitäten bietet, die auf unterschiedliche Quellverfahren anwendbar sind, und andererseits eine den spezifischen Fragestellungen entsprechende, fachgebietsübergreifende Analyse und Dokumentation der unterschiedlichen Fachinformationen - sei es in Form von Diagrammen, Tabellen oder auf der Grundlage von Karten - ermöglicht. Unten-

stehende Schemaskizze verdeutlicht die Struktur des vorgesehenen komplexen Systemaufbaus zur Umsetzung eines GIS-orientierten Auskunft- und Analysesystems.

Das System befindet sich derzeit in der prototypischen Anwendung. Nach erfolgreichem Pilotbetrieb wird eine Umsetzung des Verfahrens in eine WSV-Standardsoftwareanwendung angestrebt.

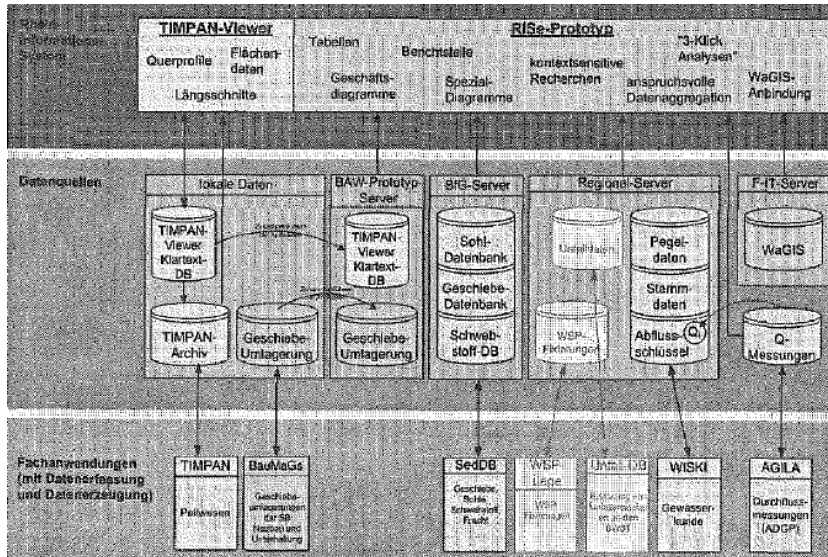


Abb. 1: Rheininformationssystem (RISe) zur Unterstützung der Erfolgskontrolle des Geschiebemanagements am Rhein

3.5 Begleitende Untersuchungen mittels Feststofftransportmodellen

Geschiebemanagement stellt immer einen zielgerichteten menschlichen Eingriff in den Sedimenthaushalt des Gewässers dar. Zur Erreichung der angestrebten Ziele bedarf es dabei der Optimierung der unterschiedlichsten Parameter unter besonderer Beachtung

Stamm, Schmidt: Geschiebemanagement an schiffbaren Flüssen. S. F/23

In: Internationales Wasserbau Symposium Aachen 2006.
Mitteilungen des Lehrstuhls und Instituts für Wasserbau und Wasserwirtschaft
der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen, Band 146.
Aachen: Shaker-Verlag 2006, S. F/1-F/27

der regional- und streckenspezifischen Charakteristik. Hierbei stellen die Kenntnis der morphodynamischen Entwicklungsprozesse sowie eine verlässliche Prognose insbesondere der langfristigen und großräumigen Auswirkungen der geplanten Eingriffe grundlegende Voraussetzungen dar, die über Erfolg oder Misserfolg der Maßnahmen entscheiden.

Für den Nachweis erfolgreichen Eingreifens und als Grundlage der Optimierung sind Erfolgskontrollen unabdingbar. Wie jede Erfolgskontrolle, so beruht auch die Erfolgskontrolle des Geschiebe-

managements am Rhein im Wesentlichen auf dem messtechnischen Nachweis der mit den jeweiligen Maßnahmen beabsichtigten Wirkungen. Naturdatenerhebungen sowie die Analyse und Bewertung der Messergebnisse bilden daher die zentralen Bestandteile der Erfolgskontrolle.

Da es sich beim Geschiebemanagement um eine langfristig angelegte Maßnahme handelt, ist es sinnvoll, den Erfolg des Geschiebemanagements durch regelmäßige Vergleiche mit der Situation nachzuweisen, die eingetreten wäre ohne diese Maßnahme (Ist-Status-Qua-Vergleiche). Hierzu bedarf es aber der Möglichkeit, die potentielle Sohlenentwicklung ohne Geschiebemanagement ("Nullvariante") hinreichend genau abzuschätzen. Tendenzen der potentiellen Sohlenentwicklung lassen sich in gewissen Grenzen empirisch aus vorhandenen Datenreihen ableiten für den Fall, dass das Systemverhalten und dessen Randbedingungen (Unterhaltungs- und Ausbaustrategie, hydrologische Verhältnisse, Feststoffdargebot) unverändert bleiben. Verlässliche Aussagen zur Sohlenentwicklung für den Status Quo unter Berücksichtigung der tatsächlichen Randbedingungen (z.B. Abflussentwicklung) und zwischenzeitlich eingetretenen Systemänderungen (z.B. Baumaßnahmen) lassen sich jedoch nur durch den Einsatz numerischer Feststofftransportmodelle erzielen (ALEXY, 2004).

Feststofftransportmodelle sind numerische Hilfsmittel, um die künftige Entwicklung der Feststofffrachten, der Kornzusammensetzung des Sohlenmaterials sowie des transportierten Materials sowie der Sohlenlage und des Wasserspiegels auf der Grundlage prognostizierter Randbedingungen (Abflussganglinie, eingetragene Feststoffmengen und deren Kornzusammensetzung) abzuschätzen. Unter Ansatz einer geeigneten Transportgleichung werden dabei die Feststofffrachten entsprechend der Transportkapazität unter Berücksichtigung der Materialverfügbarkeit ermittelt. Geplante Eingriffe in das System

Stamm, Schmidt: Geschiebemanagement an schiffbaren Flüssen. S. F/24
In: Internationales Wasserbau Symposium Aachen 2006.
Mitteilungen des Lehrstuhls und Instituts für Wasserbau und Wasserwirtschaft
der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen, Band 146.
Aachen: Shaker-Verlag 2006, S. F/1-F/27

lassen sich durch Einsatz dieser Modelle in ihren Auswirkungen auf die unterschiedlichen Parameter beurteilen (Szenarienrechnungen) und entsprechend dieser Ergebnisse optimieren. Darüber hinaus sind Feststofftransportmodelle zur Abschätzung der zeitlichen Entwicklung vorgenannter Parameter in der Vergangenheit geeignet. Die Güte der mathematischen Abbildung der natürlichen Prozesse, deren genaue Kenntnis somit, ist dabei entscheidend für die Qualität der Modellergebnisse.

Die prinzipielle Schwierigkeit, Erfolge des Geschiebemanagements nachzuweisen, besteht darin, dass Veränderungen der Sohlenlage sich in der Regel nur über längere Zeiträume messtechnisch zweifelsfrei nachweisen lassen. Dies liegt daran, dass die Messergebnisse (Sohlengeometrie, Was-

serspiegellage, Feststofftransport) Unschärfen aufweisen, die methodenbedingt zwar unterschiedlich ausfallen, jedoch in allen Fällen in einer Größenordnung liegen, die für den nachzuweisenden Effekt oftmals erst nach mehreren Jahren zu erwarten ist. Hinzu kommt, dass die i.W. hydrologisch geprägten natürlichen Schwankungsbreiten der nachzuweisenden Parameter -je nach betrachteter Strecke- innerhalb eines Jahres auch in langfristig stabilen Systemen Größenordnungen aufweisen, die eine messtechnische Identifizierung des beabsichtigten Effektes gleichfalls erst nach mehreren Jahren erlaubt. Der messtechnische Nachweis der durch das Geschiebemanagement erzielten Erfolge findet daher dort seine Grenzen, wo kurzfristige Nachweise erwartet werden. Die Anwendung numerischer Feststofftransportmodelle erlaubt es jedoch, die auf die hydrologischen und sonstigen Randbedingungen zurückzuführenden Veränderungen zu ermitteln und damit sowohl die rein maßnahmebedingten Wirkungen zu quantifizieren als auch die zur Erfolgskontrolle erhobenen Naturdaten entsprechend zu interpretieren.

Generell wirken Maßnahmen des Geschiebemanagements in unterschiedlichen Skalen auf den Feststoffhaushalt ein: mit unmittelbar bis kurzfristig eintretenden Wirkungen im Nahbereich der Zuga- be- und Entnahmestellen und -mittel bis langfristig eintretenden Wirkungen bei entsprechend großräumiger Betrachtung. Sind die Wirkungen im Nahbereich infolge ihrer Unmittelbarkeit noch weitgehend "unverfälscht" und gleichsam mit ihrer ursprünglichen Amplitude beobachtbar, so dass sich Kausalzusammenhänge direkt nachweisen lassen, so sind die Wirkungen weiter unterstrom schwächer und zudem durch vielfältige Einflüsse, die nicht dem Geschiebemanagement zuzurechnen sind,

Stamm, Schmidt: Geschiebemanagement an schiffbaren Flüssen. S. F/25
In: Internationales Wasserbau Symposium Aachen 2006.
Mitteilungen des Lehrstuhls und Instituts für Wasserbau und Wasserwirtschaft
der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen, Band 146.
Aachen: Shaker-Verlag 2006, S. F/1-F/27

überprägt-je weiter unterstrom, desto stärker. Ein differenzierter Nachweis kausaler Zusammenhänge bei der Beobachtung räumlich oder zeitlich begrenzter Phänomene (z.B. an einzelnen Querprofilen oder einem bestimmten Tag) lässt sich in letzterem Fall daher nur schwer führen. Eine streckenbezogene Nachweisführung muss daher vor allem darauf ausgerichtet sein, von lokalen und kurzfristigen Besonderheiten abstrahierend Tendenzen zu erkennen und den Anteil des Geschiebemanagements an dem großräumigen und langfristigen Systemverhalten zu quantifizieren.

Für den Nachweis großräumiger und langfristiger Wirkungen kommen derzeit vornehmlich eindimensionale Feststofftransportmodelle zum Einsatz. Mit ihnen lässt sich für Strecken von mehreren hundert Kilometern die Entwicklung z.B. der mittleren Sohlenlage über mehrere Jahrzehnte abschätzen. Die dabei erzielten Ergebnisse sind als Prognose zeitlich und räumlich gemittelter Entwicklungen aufzufassen, orts- und zeitscharfe Bewertungen können damit nicht vorgenommen

werden. Gleichwohl können eindimensionale Feststofftransportmodelle einen wesentlichen Beitrag zur Optimierung des Geschiebemanagements leisten (BAW, 2003).

4 Schlussfolgerungen und Ausblick

Ein optimiertes Geschiebemanagement verbessert die verkehrliche Nutzbarkeit des Fließgewässers und ist daher eine zentrale Unterhaltungsaufgabe der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes. Die Steuerung des Geschiebetriebes erfolgt einerseits durch unmittelbare Eingriffe in den Geschiebehaushalt, d.h. durch Baggern und Verklappen sowie Geschiebezugaben und -entnahmen. Die Geschiebetransportverhältnisse werden darüber hinaus beeinflusst durch alle mittelbaren Maßnahmen, die auf das hydromorphologische Systemverhalten des Flusses einwirken. Die zentrale verkehrsbezogene Zielgröße des Geschiebemanagements ist die Herstellung und Erhaltung möglichst großer gleichwertiger Wassertiefen für die Schifffahrt bei gleichzeitiger Minimierung des Unterhaltungsaufwandes für etwaige Fehlstellen. Dies wird im Zustand des dynamischen Sohlengleichgewichtes erreicht, bei welchem ein im Mittel ausgeglichenes Verhältnis von Feststofftransportkapazität und -angebot vorliegt.

Stamm, Schmidt: Geschiebemanagement an schiffbaren Flüssen. S. F/26
In: Internationales Wasserbau Symposium Aachen 2006.
Mitteilungen des Lehrstuhls und Instituts für Wasserbau und Wasserwirtschaft
der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen, Band 146.
Aachen: Shaker-Verlag 2006, S. F/1-F/27

Ein Geschiebemanagement wird nur erfolgreich sein, wenn die Maßnahmen entsprechend der hydraulisch-morphologischen Streckencharakteristik differenziert und im Rahmen einer gesamtheitlichen Flussregelung ausgeführt werden. Hierzu bedarf es einer skalenübergreifenden Betrachtung, wobei räumlich (klein- und großräumig) und zeitlich (kurz- bis langfristig) vielseitige anthropogene und natürliche Aspekte zu erfassen und zu berücksichtigen sind. Daher ist eine umfassende und langfristig begleitende Erfolgskontrolle erforderlich, die im operativen Betrieb über entsprechende IT-gestützte Recherche- und Analysetools unterstützt werden muss.

Die Steuerung des Geschiebetriebes in einem durch zahlreiche variable Einflussfaktoren geprägten natürlichen Fließgewässer stellt einen iterativen Lern- und Optimierungsprozess dar, bei welchem zunehmende Betriebserfahrungen, begleitende Naturuntersuchungen sowie Untersuchungen im Rahmen von Forschungs- und Entwicklungsvorhaben zukünftig ein verbessertes Prozessverständnis erwarten lassen. Die Analyse der komplexen Wirkungszusammenhänge und der Einsatz eines professionellen Datenmanagementsystems werden zusätzlichen Nutzen und Erkenntnisgewinn bringen, der wiederum in Feststofftransportmodelle zur Optimierung des Geschiebemanagements einfließen wird.

5 Literatur

ALEXY, M. (2004): *Feststofftransportmodell zur Simulation von Geschiebezugabeszenarien zur großräumigen und langfristigen Stabilisierung der Elbesohle in der Erosionsstrecke*. Dresdner Wasserbauliche Mitteilungen, Heft 27, S. 459-471, Dresden.

BAW (2003): *Feststofftransportmodell Elbe-km 120- 250, Simulation von Geschiebezugabeszenarien*. Bundesanstalt für Wasserbau, Karlsruhe (unveröffentlicht).

BFG (1994): *Tracertechniken und stochastische Modelle zur Optimierung des Sedimentmanagements in schiffbaren Flüssen*. BfG-0844, Koblenz (unveröffentlicht).

BUNDESMINISTERIUM FÜR VERKEHR (1997): *Sohlgleichgewicht am Rhein*. Münster I Mainz, Dezember 1997.

ECKOLDT, M., HRSG. (1998): *Flüsse und Kanäle- Die Geschichte der Deutschen Wasserstraßen*. DSV-Verlag, Hamburg.

KUHN, R. (1985): *Binnenverkehrswasserbau*. Ernst, Verlag für Architektur u. techn. Wiss., Berlin.

Stamm, Schmidt: Geschiebemanagement an schiffbaren Flüssen. S. F/27
In: Internationales Wasserbau Symposium Aachen 2006.
Mitteilungen des Lehrstuhls und Instituts für Wasserbau und Wasserwirtschaft
der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen, Band 146.
Aachen: Shaker-Verlag 2006, S. F/1-F/27

PROJEKTGRUPPE EROSIONSTRECKE (2001): *Erosionsstrecke der Elbe. Ergebnisse der Naturversuche zur Geschiebezugabe 1996-1999*. WSD Ost, WSA Dresden, BAW, BfG (unveröffentlicht).

PROJEKTGRUPPE ERFOLGSKONTROLLE GESCHIEBEMANAGEMENT AM RHEINSTROM (2005): *Grundlagen zur Durchführung einer Erfolgskontrolle des Geschiebemanagements am Rheinstrom*. (unveröffentlicht).

SAUER, W.; SCHMIDT, A. (2001): *Die Bedeutung des suspensierten Sandes für die Sohlhöhenentwicklung der Elbe*. Wasserwirtschaft 91, Heft 9, S. 443-449.

SCHMIDT, A.; FAULHABER, P. (1998): *Geschiebezugabe in der Erosionsstrecke der Elbe*. Binnenschifffahrt, Nr.23, I,Dezember-Ausgabe, S. 41-45.

Autorenfassung

Stamm, Schmidt: Geschiebemanagement an schiffbaren Flüssen, 2006

SCHMIDT, A.; FAULHABER, P. (2001): *Five years of artificial bed load feeding in the river Elbe*. In: Falconer, R.A., Blain, W.R. (Ed.): *River Basin Management. Progress in Water Resources Vol 4*, WIT Press 2001, S. 383-392.

SÖHNGEN, B.; HEER, M. (2000): *Einfluss des mittleren Rückstromfeldes auf den Geschiebetransport am Beispiel des Rheines bei Westhoven*. Mitteilungsblatt der Bundesanstalt für Wasserbau (BAW) Nr. 82, Dezember 2000.

WOHLERS, G. (1998): *Erfolgskontrolle in der öffentlichen Verwaltung* (Hrg.: Finanzministerium Mecklenburg-Vorpommern, Februar 1998).