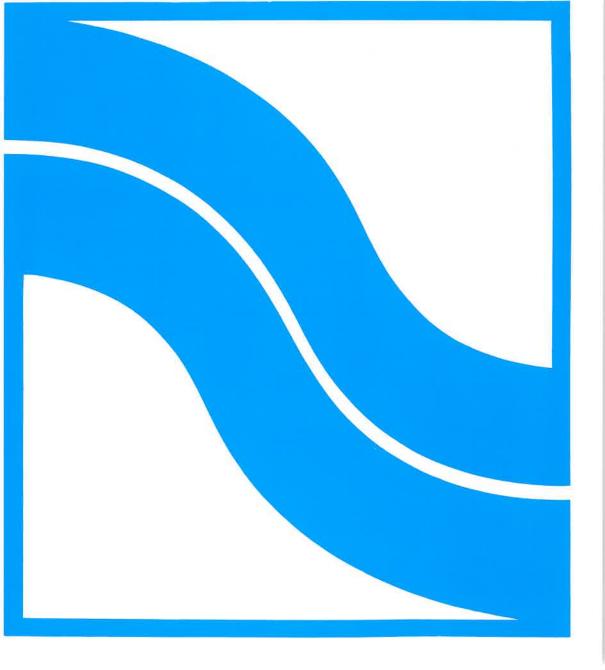
Deutscher Wasserstraßenund Schiffahrtsverein Rhein-Main-Donau e.V.

Mitteilungsblätter 100



Mitteilungsblätter Februar 2000 Nummer 100

Deutscher Wasserstraßenund Schiffahrtsverein Rhein-Main-Donau e.V. Nürnberg Geschäftsstelle: Rotterdamer Straße 2 90451 Nürnberg Telefon: 09 11/814 95 09



Inhaltsverzeichnis

Vorwort der Redaktion	5
Donauausbau Straubing – Vilshofen Vertiefte Untersuchungen Ausgangssituation – Ziele – Varianten – Organisationsstruktur Dipl-Ing. Volker Kirchdörfer	7
Naturversuch Sohldeckwerk – Baumaßnahmen DiplIng. Martin Hochschopf	15
Naturversuch Sohldeckwerk – Durchführung und Rohdatenerfassung DiplIng. Ing. R. Jurisch, DiplIng. A. Orlovius	19
Steinschlaguntersuchungen zur Ermittlung vertikaler Sicherheitsabstände in der Schiffahrt UnivProf. DrIng. Theodor Strobl DiplIng. Markus Schmautz	23
Fahrdynamische Modelluntersuchungen der Versuchsanstalt für Binnenschiffbau e.V. Duisburg DiplIng. Joachim Zöllner	27
Modellversuche zur Bestimmung der horizontalen Sicherheitsabstände für die Schiffahrt DiplIng. Hans Neuner	34
1D-Modellverfahren Modelltechnik, 3D-Untersuchungen, Buhnen, flußmorphologische Änderungen DiplIng. Jürgen Kellermann	36
Fahrdynamische Modelluntersuchungen im Kontext mit dem Donauausbau Straubing-Vilshofen DrIng. Bernhard Söhngen	40
Physikalischer Modellversuch Donau-Isarmündung DrIng. Bernd Roßbach Dipl.Ing. Klemens Kauppert	47



Zwischenbilanz

Nach der gemeinsamen Entscheidung von Bund und Freistaat Bayern vom Oktober 1996 werden vertiefte Untersuchungen für den Donauausbau Straubing - Vilshofen durchaeführt.

Das vorliegende Mitteilungsblatt will einen Eindruck von Art, Umfang und fachliche Qualität dieser Untersuchungen vermitteln. Dies geschieht anhand von neun wesentlichen Fachvorträgen und -berichten anläßlich eines am 14.10.1999 von der Bundesanstalt für Wasserbau (BAW) in Karlsruhe veranstalteten Kolloguiums. Dabei werden aus fachwissenschaftlicher Sicht nach einer allgemeinen Einführung die Methoden für die einzelnen Untersuchungen und die Vorgehensweisen in Form einer Zwischenbilanz dargestellt.

Abschließende Ergebnisse können jedoch noch nicht vorgestellt werden, da diese die Zusammenführung der Einzeluntersuchungen für die verschiedenen Ausbauvarianten voraussetzen und dann wiederum die Bewertung dieser Varianten unter ökologischen und wirtschaftlichen Gesichtspunkten.

Natürlich haben wir uns die Frage nach Notwendigkeit und Berechtigung dieses zwangsläufig recht fachwissenschaftlichen Mitteilungsblattes gestellt. Mehrere Gründe sprechen dafür.

Zunächst bietet dieses Mitteilungsblatt einen Gesamtüberblick über die verschiedenen Untersuchungen soweit sie hydraulische, wasserbauliche, aber auch fahrdynamische Fragenkomplexe betreffen. Ökologische und wirtschaftliche Untersuchungen können auf diesen Grundlagen erst in einem zweiten Schritt erfolgen.

Bei den einzelnen Kurzbeiträgen für dieses Mitteilungsblatt haben sich die Autoren dankenswerterweise um Darstellungen bemüht, die auch für den interessierten Laien lesbar 5 sind. Das ermöglicht ein eigenes Urteil. Obgleich das BAW-Kolloquium schon einige Monate zurückliegt, sind diese Berichte unverändert aktuell.

Gesamtüberblick und Einzeldarstellungen belegen die schon vor Jahren vom DWSV getroffene Feststellung, daß es wohl weltweit keinen einzelnen Flußabschnitt gibt, der in Theorie und Praxis so intensiv untersucht ist wie die Donaustrecke Straubing - Vilshofen. Der DWSV hat sich in der Vergangenheit über den Beschluß zu diesen "vertieften Untersuchungen" durchaus kritisch geäußert. Wir sehen hier die zeitliche Verzögerung, die Kosten der Untersuchung in gut zweistelliger Millionenhöhe und haben Zweifel, ob über die bisher schon vorliegenden Erfahrungen und das fachliche Wissen gerade zu dieser Donaustrecke hinaus quantitativ für die Schiffbarkeit Gewicht fallende neue Erkenntnisse gewonnen werden können. Wir befürchten auch aufgrund der bisherigen Erfahrungen, daß vertiefte Untersuchungen nicht zu dem von der Politik erhofften allgemeinen Konsens mit Verbands-Naturschutz und anderen Ausbaugegnern beitragen werden. Diese Skepsis hindert den DWSV jedoch nicht, über Methoden und Stand der vertieften Untersuchungen zu berichten und deren fachwissenschaftliche Qualität besonders zu

Haltlose Behauptungen

betonen.

Die Kritik, welche von Seiten des Verbands-Naturschutzes und anderer Ausbaugegner offensichtlich in Furcht vor den noch gar nicht vorliegenden Ergebnissen schon jetzt an der Durchführung der vertieften Untersuchungen anhebt, entbehrt jeder Substanz. So kann z.B. bei einer "vorbehaltlosen Untersuchung" nicht deshalb auf die Prüfung staugestützter Lösungen verzichtet werden, weil solche der Verbands-Naturschutz nicht wünscht. Auch die Zweckbehauptung, daß die FFH-Richtlinien (Fauna-Flora-Habitat) an der Donaustrecke Straubing – Vilshofen jede staugestützte Lösung verbieten, ist unzutreffend. Weiter sollte selbst dem einfachen Verstand einleuchten, daß die verschiedenen Ausbauvarianten zunächst in ihren hydraulichen und wasserbaulichen Dimensionen untersucht und beschrieben sein müssen, bevor man ihre ökologischen Auswirkungen untersuchen und bewerten kann. Ähnliches gilt

für die wirtschaftliche Betrachtung der einzelnen Varianten.

Für ihre Unterstützung des vorliegenden Mitteilungsblattes danken wir Dir.-Prof. Dr.-Ing. H.H. Witte als verantwortlichem Leiter der BAW und allen Autoren, die uns trotz ihrer hohen zeitlichen Belastungen Kurzfassungen ihrer Vorträge anläßlich des Kolloquiums zur Verfügung gestellt haben.

Die Redaktion

Donauausbau Straubing – Vilshofen Vertiefte Untersuchungen

Ausgangssituation, Ziele, Varianten, Organisationsstruktur

Dipl.-Ing. Volker Kirchdörfer¹

Ausbau der Donau zur Großschifffahrtsstraße

Als man nach dem 1. Weltkrieg damit begann, die Rhein-Main-Donau-Verbindung zu einer Großschifffahrtsstraße auszubauen, war klar, dass zunächst die Schifffahrtsverhältnisse auf dem Main und auf der Donau grundlegend verbessert werden mußten, ehe man die Überwindung der europäischen Wasserscheide zwischen Rhein und Donau durch einen neuen Kanal in Angriff nehmen konnte. Man wollte auf keinen Fall den Fehler wiederholen, den man beim Bau des Ludwig-Donau-Main-Kanals gemacht hatte. Die damals parallel zum Bau des Kanals durchgeführten Mittelwasserkorrektionen hatten zwar durch den Bau von Durchstichen und die Festlegung der Ufer ein einheitliches Flussbett geschaffen, aber bei niedrigen Abflüssen sank die Wassertiefe selbst an der Donau auf Werte von 1,40 m bis 1,30 m ab, so dass die Schifffahrt gegenüber der konkurrierenden Eisenbahn nicht mehr wirtschaftlich betrieben werden konnte. Der Ludwig-Donau-Main-Kanal rutschte daher schon nach kurzer Blütezeit ins wirtschaftliche Abseits.

Auf der neuen Großschifffahrtsstraße sollten möglichst ganzjährig mindestens 2 m tief abgeladene Schleppkähne mit einer Tragfähigkeit von 1.000 – 1.500 t fahren können. Dieses Ziel konnte am Main aufgrund der geringen Wasserführung nur durch eine Stauregelung erreicht werden. Zwischen 1922 und 1962 wurden daher von der RMD AG oberhalb von Aschaffenburg insgesamt 27 Staustufen errichtet. Der Main unterhalt von Aschaffenburg war schon vor dem 1. Weltkrieg von der damaligen preußischen Regie-

rung staugeregelt worden, um insbesondere die Frankfurter Häfen an den Rhein anzuschließen.

An der Donau ist die Wasserführung deutlich besser als am Main. Deshalb verzichtete man hier zunächst auf eine durchgeehende Stauregelung zu Gunsten der Schifffahrt und versuchte zwischen Regensburg und Vilshofen durch eine Niederwasserregulierung eine durchgehende Fahrrinnentiefe von 2,0 m bei RNW (Regulierungsniedrigwasser) zu erreichen. Die Mindestfahrrinnenbreite betrug etwa 70 m.

Das rd. 30 km lange bayerische Kachlet zwischen Hofkirchen und Passau wurde durch eine Staustufe weitgehend überstaut und so bis auf eine kurze Teilstrecke abflussunabhängig auch für große Schiffe passierbar gemacht.

Das angestrebte Ausbauziel konnte in der Regulierungsstrecke trotz größter Anstrengungen nicht überall erreicht werden. Insbesondere in der kurvenreichen Strecke oberhalb von Straubing ließ sich dauerhaft nur eine Wassertiefe von 1,70 m unter RNW herstellen und unterhalten.

Aufgrund dieses Mißerfolges, aufgrund morphologischer Probleme in den freifließenden Strecken, nicht zuletzt aber auch durch die Entwicklüng- in der Binnenschifffahrt nach 1945, die dazu führte, dass die ursprünglich festgelegten Ausbauziele nicht mehr den Anforderungen einer modernen Binnenwasserstraße von internationaler Bedeutung entsprachen, vereinbarte die Bundesrepublik Deutschland als Eigentümerin der Wasserstraße und der Freistaat Bayern bereits 1966, die Donau von Regensburg bis zu der Stauwurzel der Staustufe Kachlet (Passau) bei Vilshofen zu "kanalisieren", d.h. die Nie-

derwasserregulierung durch eine Stauregelung zu ersetzen. Durch diese Stauregelung sollte ganzjährig eine Abladetiefe von 2,50 m für 23 m breite Fahrzeuge und Verbände erreicht werden.

Von den ursprünglich geplanten 5 Staustufen sind zwischenzeitlich 2 Staustufen fertiggestellt. Es sind dies die Staustufe Geisling (1985) und die Staustufe Straubing (1995). Der geplante weitere Ausbau zwischen Straubing und Vilshofen mit nur noch 2 Staustufen und einem 9 km langen Seitenkanal anstelle der 3. Staustufe ist politisch heftig umstritten. Eine Entscheidung über den weiteren Ausbau ist 1996 – nicht zuletzt aus finanziellen Gründen – auf das Jahr 2000 verschoben worden.

Situation der Schifffahrt

Mit Eröffnung des Main-Donau-Kanals im September 1992 hat sich der Verkehr auf dem oberen Main, dem Main-Donau-Kanal und auf der deutschen Donau mehr als verdoppelt, von knapp 3 Mio. Gütertonnen auf über 7 Mio. Gütertonnen.

Das Verkehrsaufkommen könnte sicherlich wesentlich größer sein, wenn die Schiffe auch bei Niedrigwasser tiefer abgeladen und damit wirtschaftlicher fahren könnten. An der Donau liegt die Auslastung der beladenen Güterschiffe bei etwa 50%. Auch an anderen Wasserstraßen können die Schiffe nicht immer voll abgeladen werden, aber ein Vergleich zeigt, dass die Auslastung an der Donau durchschnittlich um 20 – 30% niedriger liegt als am Mittelrhein oder am Oberrhein. Das erhöht zwangsläufig die Transportkosten und gefährdet die Wettbewerbsfähigkeit. Ein Vergleich der Wasserstandsdauerlinien von Rhein und Donau zeigt, dass die

Fahrrinnentiefe von z.B. 3,00 m am Rhein an durchschnittlich 150 Tagen, an der Donau aber an 220 Tagen im Jahr unterschritten wird. Tatsächlich bietet der Rhein bei eingeschränkter Fahrrinnentiefe aber noch deutlich bessere Fahrwasserverhältnisse.

An der deutschen Donau wurde 1997 eine Fahrrinnentiefe von 2,80 m, die in etwa eine volle Auslastung der Fahrzeuge bei 2,50 m Abladetiefe ermöglicht, an 240 Tagen (!) unterschritten. Der RNW, bei dem die Fahrrinnentiefe 2,0 m und die mögliche Abladetiefe etwa 1,7 m beträgt, wurde 1997 am Pegel Pfelling an 94 Tagen zum Teil erheblich unterschritten. Auch 1998 waren die Abflußverhältnisse nicht wesentlich besser.

Neben den mittleren Wassertiefen sich auch die Wasserstandsschwankungen und deren Vorhersehbarkeit von großem Einfluß auf das Abladeverhalten. Die kurzzeitigen Wasserspiegelschwankungen sind derzeit an der Donau noch gut doppelt so groß wie am Rhein. Eine gesonderte Untersuchung befaßt sich daher mit der Frage, ob und ggf. in welchem Umfang die kurzzeitigen Abflußschwankungen reduziert werden können.

Ein weiteres Problem in der noch nicht ausgebauten Strecke zwischen Straubing und Vilshofen ist die Zahl der Havarien. Sie hat sich nach Eröffnung des Main-Donau-Kanals erheblich erhöht, insbesondere in der Strecke unterhalb der Isarmündung. Die Unfallrate² liegt hier etwa 5 mal höher als in der Gebirgsstrecke am Rhein zwischen Bingen und Str. Goar.

Maßnahmen zur Optimierung des derzeitigen Ausbauzustandes

Es ist offenkundig und auch unstrittig, dass die Schifffahrtsverhältnisse auf der deut-

schen Donau dringend einer Verbesserung bedürfen, wenn der neue Main-Donau-Kanal nicht ein ähnliches Schicksal erleiden soll wie sein Vorgänger. Deshalb haben am 17.Oktober 1996 der damalige Bundesminister für Verkehr, Matthias Wissmann, und der Ministerpräsident des Freistaates Bayern, Dr. Edmund Stoiber, vereinbart, den weiteren Ausbau der Donau zwischen Straubing und Vilshofen in zwei Schritten durchzuführen.

In einem **ersten** Schritt sollen als Sofortmaßnahmen die

- Herstellung einer Fahrrinnentiefe von 2.0 m unter RNW und die
- Nachregulierung im Bereich des Bürgerfeldes

durchgeführt werden.

Die Fahrrinnentiefe von 2,0 m ist zwischenzeitlich weitgehend vorhanden, die Baumaßnahmen für die Nachregulierung haben 1998 begonnen und sollen noch 1999 beendet werden.

Diese Nachregulierung soll sicherstellen, dass im Stauwurzelbereich der Staustufe Kachlet, in dem bei steigenden Abflüssen die Wasserstände nicht in gleichem Maße ansteigen wie in den freifließenden Flussabschnitten, bei Mittelwasserabfluss die gleichen Wassertiefen vorhanden sind wie oberhalb der Stauwurzel. Zur Zeit sind im Bereich des Bürgerfeldes die Wassertiefen bei Mittelwasser noch um bis zu 50 cm geringer.

Vertiefte Untersuchungen

In einem zweiten Schritt sollen die Schifffahrtsverhältnisse weiter verbessert werden, wobei die verkehrswirtschaftlichen und ökologischen Ziele unter Berücksichtigung der finanzpolitischen Rahmenbedingungen soweit wie möglich in Einklang gebracht werden sollen. Zur Vorbereitung einer Entschei-

dung werden zur Zeit umfangreiche Untersuchungen durchgeführt, um bisher noch offene Fragen zu klären. Dabei gilt ein besonderes Augenmerk den besonders schützenswerten Gebieten unterhalb der Isarmündung. Hier sollen die Eingriffe so gering wie möglich gehalten werden.

Flussregelungen

Im Vordergrund der Untersuchungen steht zwangsläufig die Frage, in welchem Umfang eine Verbesserung der Schifffahrtsverhältnisse mit flussbaulichen Mitteln erreicht werden kann. Konkret stellen sich dabei vor allem zwei Fragen. Die erste Frage lautet:

Wie weit kann man den vorhandenen Abflussquerschnitt der Donau durch den Einbau von Regelungsbauwerken (Buhnen, Leitwerke) einengen, sowie durch den Verbau von Krümmungskolken und den Einbau von sohldeckwerken so umformen, dass er unter Berücksichtigung der erforderlichen Fahrrinnenbreite eine möglichst große nutzbare Wassertiefe aufweist?

Die zweite Frage lautet:

Mit welchen Mitteln kann die erosionsgefährdete Flusssohle stabilisiert werden und welche Auswirkungen haben Sohlsicherungsmaßnahmen auf die Schiffahrt?

Zur Beantwortung der ersten Frage nach der minimal erforderlichen Fahrrinnenbreite sind bereits 1996 auf der deutschen Donau umfangreiche Versuchsfahrten mit verschiedenen Schubverbänden durchgeführt worden. In Verbindung mit den Ergebnissen früherer Versuchsfahrten auf der österreichischen Donau, auf dem Rhein und auf holländischen Wasserstraßen kann man so die erforderlichen Fahrrinnenbreiten für die einzelnen Schiffsgrößen und –Verbände in Abhängigkeit vom Krümmungsradius sowie der Fließgeschwindigkeit und der Schiffsgeschwin-

digkeit ziemlich gut abschätzen. Noch nicht hinreichend geklärt ist der Einfluß der Uferform und der Abstand zwischen Schiff und Ufer auf die Kursstabilität eines vorbeifahrenden Schiffes. In einem Modellversuch in der Versuchsanstalt Obernach der Technischen Universität München werden daher zur Zeit die komplexen Strömungsvorgänge bei unterschiedlichen Uferformen, insbesondere bei unterschiedlichen Buhnenabständen erforscht. Zu diesem Thema berichtet Herr Dipl.-Ing. Neuner von der TU München.

Die Beantwortung der zweiten Frage ist nicht minder schwierig. Eine extreme Umgestaltung des Abflussquerschnittes im Sinne einer "Kanalisierung" des Flusses mit weitgehend eingeebneter Sohle und gleichmäßig geböschten Ufern ist von Natur aus instabil und kann dauerhaft nur erhalten werden, wenn Böschungen und Sohle mit massigen Steinpanzerungen, d.h. Deckwerken, gegen Strömungsangriffe gesichert werden. Steindeckwerke auf Böschungen oder Leitwerken stellen für Schiffe im allgemeinen kein besonderes Problem dar, da der Abstand zwischen Schiff und Deckwerk meist immer groß genug ist.

Anders verhält es sich jedoch bei Sohldeckwerken. Sohldeckwerke sind bisher großflächig nur in Kanälen zur Sicherung erosionsgefährdeter Dichtungen eingebaut worden. In der Regel beträgt die Wassertiefe in diesen Kanälen mindestens 4 m, so dass selbst bei 2,8 m tief abgeladenen Schiffen immer noch ein ausreichend großer Abstand zwischen dem Boden des fahrenden Schiffes und dem Deckwerk vorhanden ist. In freifließenden Flüssen mit in Abhängigkeit vom Abfluss wechselnden Wassertiefen wird der notwendige Abstand zwischen Schiffsboden und Flusssohle, das sogenannten Flottwasser, zur entscheidenden Bestimmungsgröße für die Abladetiefe. Genügt bei einer

natürlichen Flusssohle aus Sand, Kies oder Fels in der Regel die berühmte Handbreit unter dem Kiel, so muß bei einem Sohldeckwerk das Flottwasser so groß sein, dass keine Steine angesaugt werden, da diese in kürzester Zeit zu einer Zerstörung der Schraube führen können.

Da bisher über die Größe des notwendigen Flottwassers sehr unterschiedliche Angaben gemacht worden sind, soll diese Frage in aufwendigen Modell- und Naturversuchen geklärt werden. Die Modellversuche wurden 1997 und 1998 in der Versuchsanstalt für Binnenschiffbau (VBD) in Duisburg durchgeführt und dienten vor allem der Festlegung einzelner Parameter für einen Naturversuch sowie zur besseren Interpretation und Verallgemeinerung der Ergebnisse des Naturversuches.

Weiterhin wurden in den Modellversuchen Fragen zum Fahrverhalten, z.B.

- zum fahrdynamischen Einsinken der Schiffe in Fahrt,
- zum Leistungsbedarf und
- zur Mindestgeschwindigkeit untersucht.

Über diese fahrdynamischen Modellversuche in der VBD berichtet Herr Dipl.-Ing. Zöllner. Über den eigentlichen Naturversuch, d.h. über die Baumaßnahmen, die Versuchsdurchführung und die Rohdatenauswertung sowie über Steinschlaguntersuchungen berichten Herr Dipl.-Ing. Hochschopf, RMD, Herr Dipl.-Ing. Jurisch, BAW und Herr Prof. Dr.-Ing. Strobl, TU München.

Planungsvarianten

Die den vertieften Untersuchungen zugrunde liegenden Planungsvarianten zeigt die nachfolgende Übersicht:

Planungsvarianten

Vergleichsfall:

Ist-Zustand 2000 (optimierter Ist-Zustand)
Ausbaustandard: Wasserstraßenklasse Vb/VI a 3)4)

Planungsfälle:

Flussregelungen

Variante A: Weiter optimierter Ist-Zustand

Ausbaustandard: WaStrKI Vb/VIa 3)4)

Variante B: Verschärfte Flussregelung

Ausbaustandard: WaStrKl VI b 3)4)

Kombination von Fluss- und Stauregelung

Variante C: Eine Staustufe und Fließstrecken

nach Variante A

Ausbaustandard: WaStrKl Vb/VI a 3)4)

Stauregelungen

Variante D1: Zwei Staustufen mit einem Seiten-

kanal

Ausbaustandard: WaStrKl VI b 3)4)

Variante D2: Drei Staustufen

Ausbaustandard: WaStrKI VI b 3)4)

Der Einbau kanalartiger Querschnitte in den Fluss ist eine extreme Flussregelung. Zwar wird durch sie die Dynamik der Wasserstände erhalten, aber die Eingriffe in das Flussbett sind erheblich und ein großer Teil der zusätzlich gewonnenen Wassertiefe geht durch das notwendige größere Flottwasser wieder verloren, so dass auch der verkehrswirtschaftliche Vorteil einer extrem ausgereizten Flussregelung relativ gering ist. Die Grenzen einer Flussregelung sind daher vernünftigerweise dort erreicht, wo das Erosionsverhalten der natürlichen Sohle noch mit wirtschaftlich vertretbarem Aufwand stabilisiert und so das dynamische Sohlgleichgewicht langfristig erhalten werden kann. Dennoch sind beide Varianten, der weiter optimierte Ist-Zustand (Variante A) und die sogenannte verschärfte Flussregelung (Variante B), Gegenstand der Untersuchungen. Während bei Variante A die vorhandenen Fahrrinnenbreiten beibehalten werden, wird die Fahrrinne bei Variante B so bemessen, dass auch in engen Kurven die Einzelfahrt eines 22,8 m breiten und 190 m langen Verbandes möglich ist.

Für die Entwicklung geeigneter Sohlsicherungskonzepte sind eine genaue Kenntnis der Flussmorphologie sowie des derzeitigen und künftigen Geschiebeeintrages wesentliche Voraussetzung. Hierzu wurden in Ergänzung früherer Untersuchungen umfangreiche Strömungs- und Geschiebemessungen durchgeführt. Aufbauend auf den langjährigen Erfahrungen mit der Geschiebezugabe am Rhein beruhen die Sohlsicherungskonzepte für die flussbaulichen Ausbauvarianten - soweit nicht Deckwerke erforderlich sind auf einer Geschiebebewirtschaftung, d.h. einer Zugabe von Geschiebe in Erosionsstrecken und der Entnahme derselben in Auflandungsbereichen.

Die Größenordnung der erforderlichen Zugabemengen kann in Feststofftransportmodell-rechnungen abgeschätzt werden, wobei die Möglichkeit, diese Mengen durch eine entsprechende Kornverteilung zu optimieren, ebenfalls geprüft wird.

Ausbauvarianten mit Staustufen

Nach Untersuchungen, die im Auftrag des Bundesverkehrsministers durchgeführt worden sind, ist die Verlagerung von Transporten auf die Wasserstraße vor allem von zwei Faktoren abhängig: von den Transport-

³ Der für diese Klasse geforderte Tiefgang und die Brückendurchfahrtshöhe werden nicht erreicht bzw. sind wasserstandsabhängig

⁴ Begegnungseinschränkungen bzw. Richtungsverkehr

kosten und von der Zuverlässigkeit. Beide Faktoren werden ganz maßgebend von der Art der Ausbaumaßnahmen beeinflußt.

Ausbaumaßnahmen, die sich darauf beschränken, den Abflussquerschnitt im Interesse einer schiffahrtlichen Nutzung zu optimieren, können zwar zu einer Verbesserung der Abladetiefe und damit zu einer Verringerung der Transportkosten beitragen, da sie aber die Niedrigwasserabflüsse nicht verändern oder ausgleichen, erhöhen sie nur wenig die Zuverlässigkeit des Transportweges. Flussregelungen, auch extreme Flussregelungen, können daher zwangsläufig nur einen Teil des vorhandenen Verlagerungspotentials aktivieren. Eine höhere oder gar die volle Ausschöpfung des verkehrswirtschaftlichen Nutzens der Wasserstraße Donau kann nur erreicht werden, wenn ganzjährig eine ausreichend große Wassertiefe garantiert werden kann. Dies ist nur durch eine Stauregelung der jetzt noch freifließenden Strecke zwischen Straubing und Vilshofen möglich.

Da im Rahmen der vertieften Untersuchungen zur Vorbereitung einer Entscheidung über den weiteren Donauausbau alle sinnvollen Ausbaulösungen vorurteilsfrei geprüft werden sollen, sind auch Stauregelungen bzw. die Kombination von flussgeregelten und staugeregelten Strecken Gegenstand einer vergleichbaren Bewertung in wirtschaftlicher und ökologischer Hinsicht. Hierzu gehören Ausbauvarianten mit

- einer Staustufe unterhalb der Isarmündung (bei Aicha) sowie geregelten Fließstrecken oberhalb der Isarmündung und unterhalb der Mühlhamer Schleife bis Vilshofen, wobei die Schleuse in einem Durchstich der Mühlhamer Schleife liegt
- zwei Staustufen, und zwar je eine oberhalb (bei Waltendorf) und unterhalb (bei Osterhofen) der Isarmündung, sowei ei-

- nem Seitenkanal unterhalb der Stufe Osterhofen
- drei Staustufen, und zwar eine oberhalb (bei Waltendorf) und zwei unterhalb (bei Aicha und beim Hilgartsberger Kachlet) der Isarmündung.

Die Ausbauvarianten mit zwei und mit drei Staustufen gewährleisten durch die staugestützten Fließstrecken ganzjährig in Abhängigkeit von den Schiffsgrößen eine Abladetiefe von 2,5 m – 2,7 m. Die sogenannten **1-Stufen-Lösung** kann diese Abladetiefe zwangsläufig nicht erreichen. Da jedoch bei dieser Lösung der nautisch und fahrdynamisch schwierigste Streckenabschnitt überstaut bzw. durch einen Durchstich ersetzt wird, liegen die erreichbaren Abladetiefen auf der Gesamtstrecke voraussichtlich über denjenigen der rein flußbaulichen Ausbaulösungen.

Das Stauziel der unterhalb der Isarmündung liegenden Staustufen Aicha (1-bzw. 3-Stufen-Lösung) und Osterhofen (2-Stufen-Lösung) ist etwa gleich hoch und liegt nur geringfügig über dem derzeitigen Niedrigwasserstand (RNW) an der Isarmündung. Somit wird bei beiden Lösungen auch bei künftig zu erwartender geringerer Geschiebezufuhr aus der Isar und der Donau und sogar bei einem völligen Ausbleiben derselben ein Absinken des Wasserstandes und der Grundwasserstände im Bereich der Isarmündung wirksam verhindert.

Bei der Staustufe Osterhofen wird die gesamt Mühlhamer Schleife eingestaut, so dass auch ein gewisser Einstau des Naturschutzgebietes Staatshaufen unvermeidbar ist. Im Gegensatz hierzu ermöglicht eine Staustufe Aicha die Anlage eines Seitenfließgewässers mit freier Vorflut ins Unterwasser der Staustufe und damit die Erhaltung der bisherigen Wasserspiegeldynamik im Bereich der Isarauen und des Naturschutzgebietes Staatshaufen.

Da der Bereich der Isarmündung und das Naturschutzgebiet Staatshaufen in ökologischer Hinsicht besonders sensibel sind, werden die bei den verschiedenen Ausbauvarianten geplanten Maßnahmen in diesem Bereich nicht nur in mathematischen Modellen überprüft, sondern in einem großen physikalischen Modell in der Bundesanstalt für Wasserbau (BAW) in Karlsruhe untersucht. Herr Dr.-Ing. Roßbach und Herr Dipl.-Ing. Kauppert berichten hierzu.

Alle Ausbauvarianten, sowohl die Flussregelungen als auch die Kombination von Flussund Stauregelungen mit und ohne Seitenkanal werden nach einheitlichen Kriterien hinsichtlich

- des wirtschaftlichen Nutzens
- der Investitions- und Unterhaltungskosten und
- der ökologischen Auswirkungen bewertet. Auf dieser Grundlage sollte es möglich sein, zu einer fachlich fundierten Entscheidung zu gelangen, die von möglichst vielen mitgetragen werden kann.

Organisation und Durchführung

Zum Schluß noch einige Bemerkungen zur Durchführung der Untersuchungen und zur Organisation (Bild 1).

Die wesentlichen hydraulischen, fahrdynamischen und morphologischen Untersuchungen werden bei der Bundesanstalt für Wasserbau in Karlsruhe durchgeführt. Diese sind Gegenstand der Vorträge von Herrn Dr.-Ing. Söhngen und Herrn Dipl.-Ing. Kellermann. Daneben werden spezielle fahrdynamische Modellversuche in der Versuchsanstalt für

Binnenschiffbau in Duisburg sowie bei der Versuchsanstalt der TU München in Obernach durchgeführt.

Die Ingenieurleistungen im Zusammenhang mit der Erarbeitung der Planungsgrundlagen werden von der RMD AG erbracht.

Die Zusammenstellung aller ökologischen Grundlagendaten erfolgte durch das Planungsbüro Schaller.

Die ökologische Bewertung der einzelnen Planungsvarianten erfolgt durch externe Gutachter, die auf der Grundlage einer EUweiten Ausschreibung beauftragt werden.

Auch die ökonomische Bewertung der Planungsvarianten erfolgt durch externe Gutachter.

Die unmittelbare Steuerung aller Untersuchungen und die Bewertung der Arbeitsergebnisse erfolgt durch vier verschiedene Arbeitsteams für

- Ökologie
- Fahrdynamik
- Planungskonzepte
- Sohlsicherungskonzepte

In diese Arbeitsteams sind neben Vertretern der Wasser- und Schiffahrtsverwaltung, der Bundesanstalten und der RMD auch verschiedene externe Gutachter integriert.

Koordiniert werden die Arbeitsteams durch eine Arbeitsgruppe, der Vertreter der fachlich zuständigen Landes- und Bundesbehörden sowie der RMD AG angehören. Die Arbeitsgruppe ist wiederum einer Lenkungsgruppe verantwortlich, der je ein Vertreter des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Wohnungswesen, des Staatsministeriums für Wirtschaft, Verkehr und Technologie, des Staatsministeriums für Landesentwicklung und Umwelt sowie der Leiter der Wasserund Schiffahrtsdirektion Süd angehört.

Stand:



Donauausbau Straubing - Vilshofen Vertiefte Untersuchungen

01.07.1999

Organisationsstruktur

Lenkungsgruppe: Mitglieder: Arbeitsgruppe: Mitglieder:	BMVBW (Lei BStMWVT BStMLU WSD Süd WSD Süd WSD Süd (Le BAW BfG Landeshafenve LfW LfU RMD WSA Regensb	itung) erwaltung	Begleitung der Untersuchungen Fachliche Koordinierung der Untersuchungen
Technische und fach- wissenschaftliche • Planung • Durchführung • Analyse der Untersuchungen	Arbeitsteam: Mitglieder: Arbeitsteam: Mitglieder:	Ökologie BfG (Leitung) BStMLU Reg. von Nieder LfU LfW TU-München Fahrdynamik BAW (Leitung) Prof. Müller Prof. Strobl RMD	bayern
	Arbeitsteam: Mitglieder: Arbeitsteam: Mitglieder:	Planungskonzepte WSD Süd (Leitur BAW WWA Deggende WSA Regensbur RMD Sohlsicherungskor BAW (Leitung) Prof. Nestmann Prof. Scheuerlein BfG WSA Regensbur WWA Deggende	nng) orf rg nzepte

Naturversuch Sohldeckwerk Baumaßnahmen

Dipl.-Ing. Martin Hochschopf¹

Vorbemerkung

Grundlagen für die Planung der baulichen Maßnahmen waren die im Auftrag der Bundesrepublik Deutschland von der Bundesanstalt für Wasserbau, dem Lehrstuhl für Wasserbau und Wasserwirtschaft der Technischen Universität München und der Versuchsanstalt für Binnenschiffbau in umfangreichen theoretischen Berechnungen, mathematischen und physikalischen Modellen ermittelten Randbedingungen und Bemessungsgrößen. Planung, Ausschreibung und Bauüberwachung erfolgte durch die Rhein-Main-Donau AG.

Ziel des Naturversuchs war es

- Erkenntnisse über die technischen Möalichkeiten und die Probleme der Herstellung eines Sohldeckwerks im strömenden Fluß und unter Schiffahrtsbetrieb zu erhal-
- Erfahrungen über die Beanspruchung und Veränderung der Sohle durch die Schiffahrt zu gewinnen,
- die mit der Herstellung eines Sohldeckwerks verbundenen Eingriffe in Natur und Landschaft zu erkunden,
- die Bemessungsgrößen für Schichtdicke und Kornaufbau des Sohldeckwerks unter Beanspruchung durch Schiffahrt und Strömung zu überprüfen,
- Erkenntnisse über den zu erwartenden Unterhaltungsaufwand einer Sohldeckwerksstrecke im praktischen Betrieb zu gewinnen.

Lage der Versuchsstrecke

Der Naturversuch wurde in einer repräsentativen Teilstrecke der Donau bei Aicha - Dokm 2272 - durchgeführt, wobei

- Eingriff und Kosten minimiert wurden, da hier unnötig große Erdbewegungen durch Abtrag von Untiefen und Auffüllung von Übertiefen nicht erforderlich waren,
- Linksufrig ein Parallelwerk und rechtsufrig Buhnen bereits bestanden und
- die Schiffahrt während der Bau- und Versuchsphase nicht eingestellt werden muß-

Baumaßnahmen

Am Beginn der Versuchsstrecke wurde ein Geschiebeeintrag angeordnet, um während der Bauzeit Geschiebeeintrag in die Versuchsstrecke zu verhindern und die Herstellung eines homogenen Sohldeckwerkes zu gewährleisten. Zudem war für die nach der Bauausführung vorgesehenen Schiffahrtsversuche zur Erkundung der Wechselwirkung Schiff - Deckwerk eine kiesfreie Sohle erforderlich. Der Geschiebefang war nur während der Bau- und Versuchszeit zu unterhalten. In der gesamten Versuchsstrecke stellt sich nach Beendigung des Versuches durch Geschiebeeintrag wieder die ursprüngliche Sohltopographie ein.

Zur Aufrechterhaltung der Schiffahrt im Richtungsverkehr während der Bauzeit war neben dem geplanten Sohldeckwerk eine 40 m breite provisorische Nebenfahrrinne herzustellen. Die Fahrrinnentiefe von 2,0 m unter dem Regulierungsniedrig-wasserstand zuzüglich 0,3 m Tiefenreserve entsprach der Tiefe in der Strecke Straubing - Vilshofen. Das Sohldeckwerk wurde auf der linken Flußseite im Bereich der bestehenden Schif-

fahrtsrinne angelegt, da hier entlang des bestehenden Parallelwerks zumindest auf einer Seite der Zustand einer Regelungsstrecke

nachgebildet werden konnte und wegen der tiefer liegenden Flußsohle der Bodenaushub minimiert wurde. Das Sohldeckwerk wurde auf einer Breite von 40 m und einer Länge von 600 m eingebaut. Die Dicke des Sohldeckwerks wurde unter Berücksichtigung des schwierigen Einbaus im strömenden Wasser und wegen der zu erwartenden schiffahrtsbedingten Sohlumlagerungen mit 0,6 m gewählt. Die Sollhöhe des Sohldeckwerks wurde auf RNW -2,8 m gelegt, um bei den Schiffahrtsversuchen mit verschiedenen Sicherheitsbabständen und unterschiedlichen Antriebsleistungen über das Sohldeckwerk fahren zu können. Die Sohlsicherung wurde aus Wasserbausteinen mit 5 bis 20 cm Kantenlänge gemäß Körnungsband nach Angabe der Bundesanstalt für Wasserbau hergestellt. Damit war zu erwarten, daß das Deckwerk sowohl das Filterkriterium zur Unterschicht erfüllt als auch stabil ist gegen Angriff durch Schiffahrt und Strömung bei Hochwasser.

Das im Zuge der Maßnahme entnommene Kiesmaterial wurde dem Fluß – soweit es nicht durch Wasserbausteine für das Sohldeckwerkmaterial ersetzt wurde – wieder zugegeben. Das Kiesmaterial wurde mit Schiffen in bestehende Kolke bzw. Übertiefen transportiert und verklappt.

Der Auftrag wurde nach Ausschreibung im offenen Verfahren gemäß EG-Baukoordinierungsrichtlinie auf das Angebot der Firma Reinhold Meister, Tiefbau und Wasserbau GmbH, Deggendorf, erteilt.

Ausführungszeitraum

Die Arbeiten im Fluß sollten möglichst bei niedrigen bis mittleren Wasserständen durchgeführt werden. Wegen der an der bayerischen Donau normalerweise in der zweiten Jahreshälfte vorherrschenden Niedrigwasserperiode wurde der Baubeginn auf Anfang Juli, die Fertigstellung auf Mitte Oktober 1998 festgelegt.

Bauablauf

Zuerst wurden der Geschiebefang rechte Seite und gleichzeitig die Nebenfahrrinne hergestellt. Nach Umlegung der Großschiffahrt in die Nebenfahrrinne erfolgte der Abtrag für den Geschiebefang linke Seite und für das Sohldeckwerk. Im Nachlauf dazu wurde das Sohldeckwerk aus Wasserbausteinen eingebaut.

Baudurchführung

Der Abtrag zur Herstellung der Nebenfahrrinne und im wesentlichen zur Herstellung der Aufstandsfläche für das Deckwerk erfolgte durch einen Eimerkettenbagger. Der Geschiebefang und zeitweise die Aufstandssohle für das Deckwerk wurden mittels Tieflöffelbagger auf einem Ponton mit hydraulischen Stelzen hergestellt. Der Transport des abgetragenen Kieses erfolgt mit Klappschuten. Ein weiterer Betrieb stellte ab Anfang September 1998 das Sohldeckwerk her. Die Wasserbausteine aus Granit wurden aus 2 Brüchen im Bayerischen Wald angeliefert. Das Steinmaterial wurde bereits im Bruch nach dem vorgegebenen Körnungsband zusammengesetzt. Der Transport erfolgt mit LKW und anschließend auf Klappschuten. Nach Positionieren der Schuten an der Einbaustelle wurde das Steinmaterial verklappt. Die verklappten Steine wurden vom Stelzenponton aus mit einem Tieflöffelbagger mit eigens angefertigtem "Rechenlöffel" verteilt und anschließend mit einer 5 m langen Stahlschiene plangemäß abgezogen. Die Einhaltung der Toleranzen wurde durch ein elektronisch gesteuertes "Unterwassersichtgerät"

gewährleistet, das aus der Geometrie des Abtragsgerätes die Stellung des Tieflöffels im Vergleich zur planmäßigen Sohle errechnet und dies auf einem Bildschirm im Führerstand anzeigt. Der Einbau des Sohldeckwerks erfolgte von ober- nach unterstrom, um eine Vermischung bzw. Abdeckung des Sohldeckwerks mit bei der Baggerung aufgewirbeltem Boden zu vermeiden. Insgesamt waren 90.000 m² Kies zu baggern und 24.000 m² Sohldeckwerk einzubauen.

Wasserstände während der Bauzelt

Von Anfang Juli bis Anfang September bewegten sich die Wasserstände nahe durchwegs unterhalb der Tagesmittelwerte der Jahre 1988 bis 1997. Die Unterschreitung betrug bis zu 1 m. Während 2 Wochen im Juli und 2 wochen im August lag der Wasserstand sogar bis zu 3 dm unter den Minimalwerten der letzten 10 Jahre, wobei auch der Regulierungsniedrigwasserstand bis zu 4 dm unterschritten wurde.

Dagegen lagen die Wasserstände von Anfang September bis Bauende fast durchwegs über den Tagesmittelwerten der letzten 10 Jahre. Vom 17.09. bis 21.09.1998 war der Wasserstand auf 0,5 m bis maximal 1,0 m über Mittelwasser angestiegen.

Der vertraglich vereinbarte Fertigstellungstermin konnte trotz der ungünstigen Wasserstände eingehalten werden. Dies war allerdings nur durch enorme Anstrengungen wie Verstärkung der Transportkapazitäten, Arbeit an Samstagen und tägliche Arbeitszeit bis zu 14 Stunden zu erreichen.

Erkenntnisse aus der Baudurchführung

Wasserstandsabhängigkeit der Baumaßnahme

Die erwartete starke Abhängigkeit der Baumaßnahme von der jeweiligen Wasserführung hat sich während der Bauzeit bestätigt. Bei Wasserständen über Mittelwasser +0.5 m mußten die Arbeiten insbesondere wegen der hohen Fließgeschwindigkeiten eingestellt werden. Daneben waren Grenzen gesetzt durch die mit steigendem Wasserstand zunehmende Arbeitstiefe unter Wasser, Aber auch in der Periode der niedrigen Wasserstände waren die Bauarbeiten stark behindert. Die Klappschuten konnten teilweise nur noch zu 30% beladen werden. Wegen der bei Niederwasser besonders ungünstigen nautischen Verhältnisse an der Engstelle bei der Isarmündung mußten für den Kiestransport zusätzliche stark motorisierte Schubboote eingesetzt werden. Der mögliche Ausführungszeitraum kann in Jahren mit ungünstiger Wasserführung auf wenige Monate oder Wochen begrenzt sein.

Aufrechterhaltung der Großschiffahrt

Aufgrund der beengten und nautisch ungünstigen Verhältnisse war es nicht möglich, die jeweilige Fahrrinne der durchgehenden Schiffahrt strikt vom jeweiligen Baubereich zu trennen. Es bestand ständig ein Interessenkonflikt zwischen dem Baubetrieb und der Schiffahrt. Es ist davon auszugehen, daß in noch engeren Bereichen und insbesondere wenn die Fahrrinne vom einen zum anderen Ufer wechselt, die Großschiffahrt während der Bauzeit zeitweise unterbrochen werden muß.

Geräteeinsatz/Baubetrieb

Beim flächenhaften Abtrag für die Nebenfahrrinne und für das Sohldeckwerk mußten die vertraglich zulässigen Toleranzwerte von +-20 cm nicht voll ausgenutzt werden. Der kritische Weg bei der Leistung der Abtragsbetriebe lag nicht in der Förderleistung der Abtragsgeräte, sondern in der durch Niedrig-

wasser verminderten Transportkapazität der Schiffsgefäße.

Beim Einbau des Sohldeckwerks hat sich der Hydraulikbagger mit "Unterwassersichtgerät" auf Stelzenponton bewährt. Die Toleranz für die Oberfläche des Sohldeckwerks von + 0,3 m/-0,2 m konnte eingehalten werden. Ein Einbau von Klapprosten auf Pontons wäre wegen der starken Strömung und der großen Wassertiefe nicht möglich gewesen. Bewährt hat sich auch der Einbau des Deckwers von ober- nach unterstrom. Damit und durch den vorgeschalteten Kiesfang konnte eine Vermischung oder Abdeckung des Deckwerks mit Kies, Sand und Schwebstoffen vermieden werden.

Bodenverhältnisse und Topographie

Mit größeren Schwierigkeiten bei der Baudurchführung ist zu rechnen, wenn vor Einbau des Deckwerks Kolke oder Übertiefen aufgefüllt werden müssen bzw. wenn der Untergrund statt wie hier aus Kies aus feinsandidem oder schluffigem Boden besteht.

Resümee

Zusammenfassend ist festzustellen, daß die Baumaßnahmen zum Naturversuch Sohldeckwerk trotz schwieriger Verhältnisse im strömenden Fluß und unter Schiffahrtsbetrieb sowie teilweise widriger Wasserstände plan- und termingerecht hergestellt werden konnten.

Naturversuch Sohldeckwerk Durchführung und Rohdatenauswertung

Dipl.-Ing. R. Jurisch, Dipl.-Ing. A. Orlovius¹

Aufgabenstellung

nes fahrenden Schiffes und einem Sohlendeckwerk, bei dem keine oder nur eine sehr geringe Anzahl von Sohlpartikeln durch die Antriebsorgane der Schiffe angesaugt werden, sollte durch Naturversuche bestimmt werden. Theoretische Angaben sind hierzu nur in sehr unzulänglichem Maße möglich. Die physikalischen Zusammenhänge der Wechselwirkung zwischen den Propulsionsorganen und dem Sohlendeckwerk werden von einer Reihe von Faktoren, die das Schiff und den Fluß betreffen, beeinflußt. Diese Einflußfaktoren müssen während der Fahrversuche variiert und ihre Größe durch geeignete Meßgeräte und -verfahren ermittelt werden. Bezogen auf das Schiff sind dies vor allem die Form und die Abmessungen, der Tiefgang, die Drehzahl und Leistung, die Schiffsgeschwindigkeit und die Propellerbeschaffenheit. Als Einflußfaktoren des Flusses sind der Abfluß und die Fließgeschwindigkeiten, der Wasserspiegelverlauf, der Querschnitt, die Sohlenhöhen und der Sohlenver-

Der Mindestabstand zwischen dem Kiel ei-

Im folgenden wird auf die Durchführung und die Randbedingungen der Versuche sowie auf die Meßgeräte und die Auswertung der Meßdaten eingegangen. Eine Interpretation der Ergebnisse bleibt anderen Beiträgen vorbehalten.

lauf sowie das Sohlenkorn zu nennen.

Durchführung der Fahrversuche

Die für die Fahrversuche erforderlichen Wasserstände waren auf Grund langjähriger Beobachtungen mit einer hohen statistischen Eintrittswahrscheinlichkeit zwischen Oktober und Dezember 1998 gegeben. Der Wasserstand stieg jedoch Ende Oktober weit über

die obere Grenze für die Durchführbarkeit der Versuche hinaus, weshalb die Fahrversuche bis Mitte November eingestellt werden mußten.

Trotz dieser Unterbrechung konnten alle vorgesehenen Versuchsfahrten in einem gestrafften Programm durchgeführt werden. Insgesamt wurden 82 Fahrversuche durchgeführt, davon 67 über das Deckwerk und 15 über die Kiessohle. Die mittleren Sohlabstände betrugen bei unterschiedlichem Leistungseinsatz zwischen 0,40 m und 1,20 m, wobei als Versuchsarten Warte-, Anfahr-, und Überfahrversuche, Versuche zur Muldenbildung in der Berg- und Talfahrspur sowie Stopp- und Ankerversuche durchgeführt wurden.

Für die Untersuchungen wurde der Einschrauber MS Main (L/B/T_{max}=105,00/11,00/2,80 m) sowie der Zweischrauber MS Mon Desir (L/B/T_{max}=108,50/11,38/3,48 m) angemietet. Die Schiffe wurden durch Koppeln mit dem Schubleichter Alice (L/B=76,5/11,4 m) zu eingliedrig zweispurigen sowie zweigliedrig einspurigen Schubverbänden zusammengestellt.

Meßtechnik und Meßverfahren

Für alle Meßgeräte wurden redundante Systeme eingesetzt, um bei Ausfall eines Meßgerätes den entsprechenden Versuch nicht wiederholen zu müssen.

Einflußfaktoren - Schiff

Die **Ortung** der Versuchsschiffe wurde durch drei geodätische Verfahren gewährleistet. Hierbei kamen 2 unabhängige GPS-Systeme (BAW/TU München) sowie ein elektronisches Tachymetersystem (TU München) zum Einsatz.

Durch die beiden DGPS-Verfahren war eine kontinuierliche Ortung mit hoher Genauigkeit gegeben.

Die Bestimmung des Flottwassers der fahrenden Schiffe konnte sehr genau mit Einzelschwinger-Echoloten, die in der Verlängerung der Schraubenachse im Schiffsboden kieleben eingebaut waren, vorgenommen werden.

Unter Zuhilfenahme der Ortung konnten sowohl der eigentliche Flottwasserwert als auch ein Sohlenlängsprofil in Fahrtrichtung aufgezeichnet werden.

Während aller Versuche ermittelte die VBD die **Leistung** an den Propellerwellen mittels Dehnungsmeßstreifen. Die **Drehzahl** konnte

über Lichtschranken ebenfalls an den Wellen abgenommen werden.

Eine Detektion, ob während einer Fahrt Steinanschläge an einer Schiffsschraube erfolgt sind, konnte mittels Körperschall-Meßmethode direkt während des Meßvorganges vorgenommen werden. Durch das Aufzeichnungsverfahren mit hohen Abtastraten wurde während der Nachbearbeitung der genaue Zeitpunkt sowie der Auftreffort (rechte oder linke Schraube, Düse, Ruder) des Steinschlags bestimmt. Die Steingröße konnte durch eine Vergleichsanalyse ermittelt werden, wobei die Steine in 6 Größenklassen mit Korndurchmessern zwischen 20 und mehr als 150 mm eingeteilt wurden.

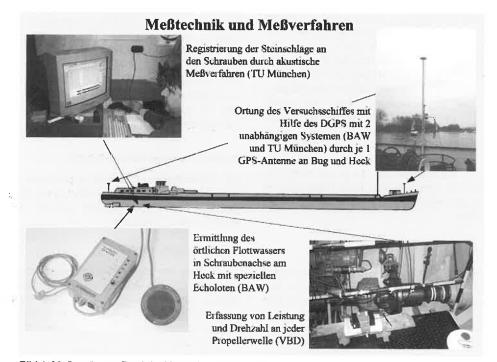


Bild 1: Meßgeräte an Bord der Versuchsschiffe

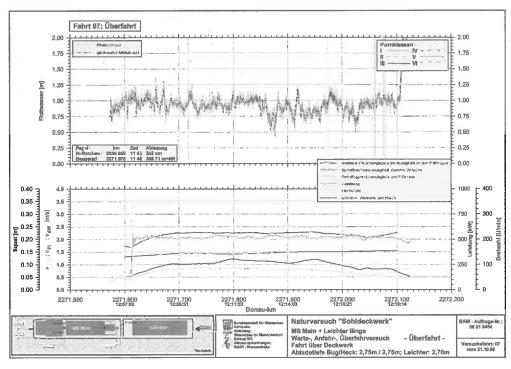
Einflußfaktoren - Fluß

Die den Fluß und seine Strömung kennzeichnenden Parameter wurden während der gesamten Untersuchungszeit kontinuierlich vom Ingenieurbüros Schmid, Kapsweyer, gemessen. Hierzu setzte dieses einen Acoustic Doppler Current Profiler (ADCP) zur Bestimmung der Flleßgeschwindigkeiten und des Abflusses sowie ein DGPS-Verfahren für die Ortung und somit zur Bestimmung des Wasserspiegelverlaufes ein. Durch drei Druckdosen wurden zusätzlich die relativen Wasserstandsänderungen in der Versuchsstrecke aufgezeichnet.

Zwei unabhängige Peilsysteme, das Flächenpeilschiff "Kepler" des WSA Schweinfurt und das Peilschiff "Tangens" des WSA Regensburg, erfaßten die **Sohlenhöhen** während des gesamten Untersuchungszeitraumes, um Aussagen über die Veränderungen auf Grund der verschiedenen Fahrsituationen treffen zu können. Die Ortung erfolgte bei der "Kepler" über einen elektronischen Tachymeter, bei der "Tangens" über DGPS. Das Ingenieurbüro Schmid führte zusätzlich Linienpeilungen in ausgewählten Querprofilen durch.

Auswertung und Darstellung der Meßdaten

Die umfangreichen Peildaten des Naturversuchs wurden durch das WSA Regensburg



und das WSA Schweinfurt plausibilisiert und die weitere Verarbeitung zu Differenzenplänen, Isoliniendarstellungen und Querprofilschnitten an die Fa. Simrad, Hamburg vergeben. Aus den Differenzenplänen konnte das Maß der Sohlveränderungen infolge der Versuchsfahrten ermittelt werden, indem für einzelne Fahrten die Anlandungs- und Erosionsvolumina berechnet wurden.

Mit Hilfe der Daten aus den DGPS-Messungen (Lage, Höhe, Uhrzeit) konnte jedem ermittelten Einflußparameter zu jedem Zeitpunkt sowohl eine Lage im Fluß als auch eine Kilometrierung zugeordnet werden. Alle Datenreihen sind auf diese Weise als Funktion der Zeit und des Fluß-km dargestellt, Bild 2. Die Kombination der Meßdaten des Echolotes mit den DGPS-Daten erlaubten über die Zuordnung der Positions- und Kilometrierungsangaben die Ermittlung des Sohlenlängsprofils in der Fahrspur sowie die Höhenlage des Schiffskiels in der Versuchsstrecke.

Die Zeitpunkte der Steinanschläge sind in Bild 2 als senkrechte Linien eingetragen, wobei durch eine farbliche Kodierung auch eine Zuordnung der Steingröße bzw. -klasse vorgenommen wurde.

Mit Hilfe der DGPS-Antennen konnte die Höhenlage von Bug und Heck während der Versuchsfahrt sowie bei der Rückführung des Schiffes in die Anfahrposition (Schleichfahrt) etwa bei km 2271.55 kontinuierlich registriert und daraus das fahrdynamische Eintauchen des Versuchsschiffes (Squat) ermittelt werden.

Die über die Breite der Fahrspur gemittelte Fließgeschwindigkeit dient für die weiteren Betrachtungen als Grundlage. Sie ist bei allen Versuchen über die Versuchsstrecke weitgehend konstant.

Durch die Verknüpfung aller Meßdaten war es letztendlich möglich, jedem einzelnen Steinschlagereignis die zugehörigen Werte Drehzahl, Leistung, Squat, Schiffsgeschwindigkeit, Strömungsgeschwindigkeit, Flottwasser, Sohlenhöhe und Kielhöhe des Versuchsschiffes zuzuordnen. Mit den erhaltenen Wertepaaren wird eine Aussage über den erforderlichen Mindestabstand zwischen Schiffsboden in Fahrt und Gewässersohle möglich.

Steinschlaguntersuchungen zur Ermittlung vertikaler Sicherheitsabstände in der Schifffahrt

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Theodor Strobl Dipl.-Ing. Markus Schmautz¹

Einführung

Durch den Schraubstrahl und daraus entstehende Wirbel werden Kies- und Steinkörner von der Schiffsschraube angesaugt und verursachen je nach ihrer Größe erheblichen Schaden an Propeller und Düse. Im Rahmen der "Modellversuche zum Ansaugverhalten von Steinen" in der Versuchsanstalt für Binnenschiffbau in Duisburg (VBD) und der "Naturversuche Sohldeckwerk" wurde durch ein spezielles Mess- und Auswerteverfahren eine Zuordnung der auf die Schiffsschraube aufgetroffenen Kies- und Steinkörner zu definierten Korngrößenklassen ermöglicht. Unter Einbeziehung weiterer Messdaten, wie Flottwassertiefe, Schiffsgeschwindigkeit und eingesetzter Leistung kann eine Aussage hinsichtlich der erforderlichen Sicherheitsabstände (siehe Bild 1) getroffen werden.

Mess- und Auswerteprinzip

Die Auswertung und damit Einteilung der aufgetroffenen Körner beruht auf einer Vergleichsanalyse der durch Kies- und Steinschlagereignisse induzierten Schwingungen der Struktur Schiffsschraube, Welle und Lager. Verglichen werden dabei die nachfolgend aufgelisteten Parameter der während einer Versuchsfahrt angeregten Schwingungen mit den Parametern von Referenzsignalen. Im Einzelnen sind dies:

- Größe des Energieeintrags beim Stoß (in Form der Energiedichte)
- Abklingzeitkurve der Schwingung
- Frequenzsignatur der Schwingung

Das Schwingungsverhalten der Welle wird über einen Beschleunigungsaufnehmer aufgezeichnet, der sich zwischen zwei Lagerblöcken zwischen Getriebe und Propeller befindet.

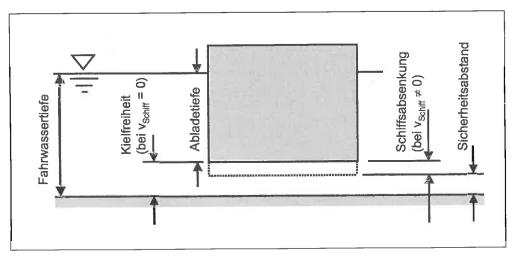


Bild 1: Definition des Sicherheitsabstandes

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Theodor Strobl, Dipl.-Ing. Markus Schmautz, Technische Universität München, Lehrstuhl für Wasserbau und Wasserwirtschaft

Kalibrierung

Grundlage für die Auswertung sind sorgfältig durchgeführte Kalibrierungen, mit denen die Referenzsignale erzeugt werden. Material definierter Größe und definierten Gewichtes wird bei bekannten Drehzahlen in den Tunnel vor die Schraube gebracht (siehe Bild 2). Die beim Auftreffen der Körner auf die Schraube entstehenden Signale werden mit-

tels des Messsystems aufgezeichnet und dienen als Referenzwerte, die eine Zuordnung der aufgetroffenen Kies- und Steinkörner zu definierten Größenklassen erlauben. Auf Basis der Kalibrierdaten wurde eine Auswertung hinsichtlich der Trefferhäufigkeiten der beim "Naturversuch Sohldeckwerk" eingesetzten Schiffe MS Main und Mon Desir durchgeführt. Als "Trefferquote" wird dabei bezeichnet:

Trefferquote = Anzahl der von der Schraube getroffenen, registrierten Kies-/Steinkörner Anzahl der zugegebenen Kies-/Steinkörner



Bild 2: Konstruktion zur Kalibrierung an der MS Main

Die Trefferquoten nehmen mit der Kies- bzw. Steinmasse und der Schraubendrehzahl zu und liegen bei der MS Main deutlich höher als bei der Mon Desir.

konnten erste Erkenntnisse über die erforderlichen Sicherheitsabstände gewonnen werden, die Eingang in die Planung der Naturversuche fanden.

Modellversuche

In den Modellversuchen wurde eine weite Bandbreite an unterschiedlichen fahrdynamischen Parametern (Tab. 1) untersucht. Dabei

Naturversuche

Bei den Naturversuchen wurden sowohl Fahrten über der natürlichen Kiessohle (sog. Nebenfahrrinne) als auch über der Deck-

Tab. 1: Zusammenstellung der im Modell durchgeführten Fahrten

	,	GMS (Einschrauber)		GMS (Zweischrauber)		Koppelverband (Zweischrauber)	
		NW	MW	NW	MW	NW	MW
	Bergfahrt	х		х	х	х	
Ebene	Talfahrt	Х		Х	Х	Х	
Sohle	Trossenzugversuche	Х		х		Х	
	Stoppen	Х		х		х	
	Bergfahrt			х	Х		
Unebene	Talfahrt			х	х		
Sohle	Trossenzugversuche			Х			
	Stoppen			х			

Tab. 2: Zusammenstellung der in den Naturversuchen durchgeführten Fahrten mit Steinschlagmessungen

	MS	Main	Mon Desir		
	(Einschrauber)		(Zweischrauber)		
	Deckwerk	Nebenfahrrinne	Deckwerk	Nebenfahrrinne	
Warten	×	х	х	х	
Anfahren	×	х	x	х	
Überfahrt zu Berg	x	х	х	×	
Überfahrt zu Tal			х		
Mulde zu Berg	×		х		
Mulde zu Tal			х		
Stoppen			х		

werksstrecke durchgeführt (Tab. 2). Der Bereich der von den Versuchsfahrten erfassten Korndurchmesser des Sohlmaterials reicht damit von kleiner als 20 mm bis zu 200 mm.

Ergebnisse

Folgende Erkenntnisse lassen sich qualitativ formulieren:

Das Ansaugen von Kies- und Steinkörnern ist vom vorhandenen Schiffstyp abhängig. Die Anzahl der Schrauben, die Schiffs- und speziell die Tunnelgeometrie beeinflussen das Ansaugverhalten stark. Sowohl bei den

Kalibrierversuchen als auch bei den Naturversuchen wurden bei dem Zweischrauber Mon Desir wesentlich weniger Steinschlagereignisse festgestellt als bei dem Einschrauber MS Main.

Mit Steigerung der eingesetzten Leistung bzw. bei geringerer Überfahrgeschwindigkeit nimmt die Ansaugtendenz zu.

Unter Einbeziehung der bei allen Fahrten gemessenen Flottwassertiefen wurde der erforderliche Sicherheitsabstand zur Vermeidung des Ansaugens von Sohlmaterial der Körnung 50/200 mm zu 80 - 100 cm ermittelt.

Fahrdynamische Untersuchungen der Versuchsanstalt für Binnenschiffbau e.V. Duisburg zum Donauausbau Straubing - Vilshofen

Dipl.-Ing. Joachim Zöllner¹

Einleitung

Im Rahmen des geplanten Donauausbaus sind seit 1995 von der Versuchsanstalt für Binnenschiffbau e.V. mehrere Gutachten zu bestimmten Fragestellungen erstellt worden. Im wesentlichen bezogen sich die Fragestellungen auf notwendige Fahrrinnenbreiten und –tiefen und wichtige nautische Aspekte. In dieser vorliegenden Ausarbeitung sind die seit 1995 gewonnenen Erkenntnisse in knapper Form dargestellt.

Fahrrinnenbreite

Die notwendige Fahrrinnenbreite für den Richtungsverkehr ergibt sich aus der Summe Fahrspurbreite des Schiffe und der seitlichen Sicherheitsabstände. Beim Begegnungsverkehr wird darüber hinaus ein Abstand zwischen den Fahrspuren erforderlich. Der Sicherheitsabstand (S), bestehend aus dem Abstand zwischen den Fahrspuren (SB) und zwischen den Fahrspuren und dem Ufer (S s), wurde aus der Standardabweichung der Zusatzbreiten in Relation zu vorhandenen ausgebauten Wasserstraßen und einem Toleranzfaktor (für die Streuung der Meßwerte), der die Uferbauformen und Querströmungen berücksichtigt, ermittelt.

Der Toleranzfaktor nimmt mit größer werdender Strömungsgeschwindigkeit zu, wodurch sich auch die Summe der Sicherheitsabstände und damit die notwendige Fahrrinnenbreite vergrößert.

Bei durchgehenden Böschungen und einer angenommenen Strömungsgeschwindigkeit von 4 km/h bzw. 6 km/h werden folgende Fahrrinnenbreiten beim Begegnungsverkehr benötigt. (Tabellen 1 und 2)

Unterbrechungen in der Uferlinie sowie Buhnen können größere Fahrrinnenbreiten erforderlich machen.

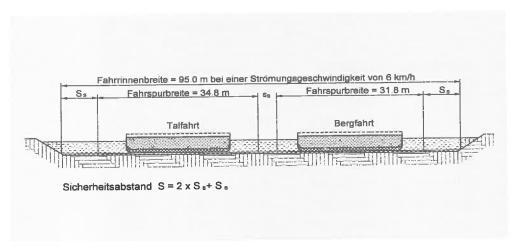


Bild 1

Dipl.-Ing. Joachim Zöllner, Europäisches Entwicklungszentrum für Binnen- und Küstenschiffahrt, Versuchsanstalt für Binnenschiffbau e.V., Duisburg

Tabelle 1

		Fahrrinnenbreiten [m] V _{Str} = 4 km/h			
Schiffslängen x Breiten [m]		Kurvenradien [m]			
Bergfahrer	Talfahrer	3.700 ¹	2.200 ²	600	
185,0 x 22,8	185,0 x 22,8	89,5	98,0	152,0	
110,0 x 22,8	110,0 x 22,8	89,5	89,5	122,5	
185,0 x 22,8	110,0 x 22,8	89,5	92,5	132,0	
185,0 x 11,4	185,0 x 11,4	66,5	72,0	95,0	
185,0 x 11,4	110,0 x 22,8	78,0	80,5	111,5	
185,0 x 11,4	185,0 x 22,8	78,0	86,0	131,5	
185,0 x 22,8	185,0 x 11,4	78,0	84,0	115,0	

Tabelle 2

		Fahrrinnenbreiten [m] V _{Str} = 6 km/h			
Schiffslänge	Kurvenradien [m]				
Bergfahrer	Talfahrer	3.700 ¹ 2.200 ²			
185,0 x 22,8	185,0 x 22,8	95,0	104,0	162,0	
110,0 x 22,8	110,0 x 22,8	95,0	95,0	130,5	
185,0 x 22,8	110,0 x 22,8	95,0	99,0	138,0	
185,0 x 11,4	185,0 x 11,4	72,0	78,0	101,5	
185,0 x 11,4	110,0 x 22,8	83,5	87,0	120,5	
185,0 x 11,4	185,0 x 22,8	83,5	92,5	144,0	
185,0 x 22,8	185,0 x 11,4	83,5	89,5	119,5	

v_{Str} = Strömungsgeschwindigkeit ¹ Geradeausfahrt für 185,0 m lange Schiffe ² Geradeausfahrt für 110,0 m lange Schiffe; ca. 60 % der Strecke Straubing - Vilshofen hat kleinere Kurvenradien

V_{Str} = Strömungsgeschwindigkeit

Geradeausfahrt für 185,0 m lange Schiffe

Geradeausfahrt für 110,0 m lange Schiffe; ca. 60 % der Strecke Straubing - Vilshofen hat kleinere Kurvenradien

Fahrrinnentiefe

Die notwendige Fahrrinnentiefe setzt sich zusammen aus dem Schiffstiefgang, der dynamischen Schiffsabsenkung in Fahrt und dem notwendigen Flottwasser (Sicherheitsabstand zwischen Schiffsboden in Fahrt zur Schle).

Bei einer 95 m breiten Fahrrinne beträgt die mittlere dynamische Schiffsabsenkung 0,3 m und das notwendige Flottwasser 2,0 m bei Kiessohle und 0,4 m bei felsiger Sohle und ca. 0,8 m bei einem Sohldeckwerk. Die notwendige Fahrrinnentiefe ergibt sich dann zu

- Tiefgang des Schiffes plus 0,5 m bei Kiessohle
- Tiefgang des Schiffes plus 0,7 m bei felsiger Sohle
- Tiefgang des Schiffes plus ca. 1,1 m bei Schideckwerk

Bei reduziertem Fahrwasserquerschnitt vergrößert sich die dynamische Schiffsabsenkung bei gleicher Fahrgeschwindigkeit und erfordert auch größere Sicherheitsabstände. Zum Beispiel wird im Standardkanalprofil der Wasserstraßenklasse V mit 55 m Wasserspiegelbreite eine Kielfreiheit von 1,3 m bei 4,0m Wassertiefe und 2,7 m Schiffstiefgang bereitgestellt.

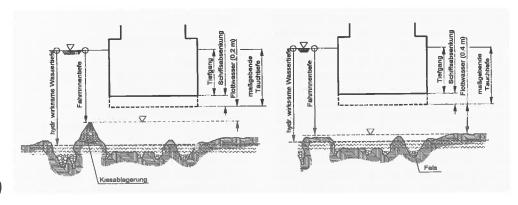
Nautische Mindestgeschwindigkeit in der Geradeausfahrt

Aus den begleitenden Modellversuchen ergaben sich nautisch erforderliche Mindestgeschwindigkeiten hinsichtlich der Manövrieranforderungen auf der Donau. Für den alleinfahrenden Zweischrauber liegt die nautisch erforderliche Mindestgeschwindigkeit über Grund zu Berg zwischen 0 km/h (große Wassertiefe) und knapp 3 km/h (Wassertiefe 2,8 m). In der Talfahrt erhöht sich die nautisch erforderliche Mindestgeschwindigkeit über Grund auf 13,4 km/h (mittlere Wassertiefe) bis 17,1 km/h (große Wassertiefe).

In Krümmungen vergrößert sich der Schiffswiderstand durch die Schräganströmung des Schiffes. Das bedeutet, daß zur Durchfahrt einer Kurve die Mindestgeschwindigkeit in der Geradeausfahrt nicht ausreicht.

Errelchbare Schiffsgeschwindigkeit

Beim naturgroßen Versuch im Herbst 1998 auf der Donau im Bereich Aicha (km 2272) bewegten sich die vorhandenen Wassertiefen zwischen 3,35 m und 4,45 m. Die mittlere Breite des Abflußquerschnitts betrug ca. 110 m. Die Schiffstiefgänge wurden dabei



zwischen 2,2 m und 3,49 m variiert. Das Verhältnis Wasserstraßenquerschnitt zu Schiffsquerschnitt (n-Verhältnis) lag im Bereich von 12 für den Einzelfahrer und 6 für die zweispurigen Verbände.

Das Zweischraubenschiff mit einer nutzbaren Antriebsleistung von ca. 1.300 kW erreichte auf einer Wassertiefe von 4,3 m und einem Tiefgang von 3,1 m

- alleinfahrend ca. 7,0 km/h
- als Schubverband mit einem davor vertäuten Schubleichter ca. 4,0 km/h
- als Koppelverband mit einem seitlich gekoppelten Schubleichter ca. 1,5 km/h über Grund zu Berg.

Das Einschraubenschiff mit einer nutzbaren Antriebsleistung von ca. 885 kW erreichte auf einer Wassertiefe von 3,8 m und einem Tiefgang von 2,7 m

- alleinfahrend ca. 6.8 km/h
- als Schubverband mit einem davor gekoppelten Schubleichter ca. 3,9 km/h
- als Koppelverband mit einem seitlich gekoppelten Schubleichter ca. 1,6 km/h
 über Grund zu Berg mit Schlepperbilfe: ohne

über Grund zu Berg mit Schlepperhilfe; ohne Schlepperhilfe war der Koppelverband nicht fahrbar.

Die Antriebsleistungen konnten bei den vorhandenen Wassertiefen-Tiefgangsrelationen voll ausgefahren werden. Mit abnehmender Wassertiefe wird die erreichbare Fahrgeschwindigkeit kleiner. Bei Kurvenfahrten reduzieren sich die o.g. Geschwindigkeiten. Die den Großversuch vorbereitenden Modellversuche in der VBD bestätigten die o.g. Geschwindigkeiten in der Großausführung. Bei der Fahrrinnenbreite von entsprechend 95 m konnten auf glatter Sohle folgende Geschwindigkeiten ermittelt werde. Der Squat (Wasserspiegelabsenkung und Vertrimmung des Schiffes) wird ebenfalls angegeben.

 Höchster schiffbarer Wasserstand, Wassertiefe 6,1 m, Tiefgang 2,8 m

Geschwindigkeit zu Berg:

Einzelfahrer
ca. 9,2 km/h über Grund
(n-Verhältnis ca. 18)

Schubverband einspurig
ca. 6,5 km/h über Grund
(n-Verhältnis ca. 18)

Squat 35 cm
(n-Verhältnis ca. 18)

Koppelverband zweispurig ca. 4,8 km/h über Grund (n-Verhältnis ca. 9)

Squat 30 cm

 Mittelwasser, Wassertiefe 3,85 m, Tiefgang 2,8 m

Geschwindigkeit zu Berg:

Einzelfahrer
ca. 7,6 km/h über Grund
(n-Verhältnis ca. 11)

Schubverband einspurig
ca. 6,5 km/h über Grund
(n-Verhältnis ca. 11)

Koppelverband zweispurig
ca. 2,7 km/h über Grund
(n-Verhältnis ca. 6)

Squat 53 cm

 Niedrigwasser, Wassertiefe 2,8 m, Tiefgang 2,0 m

Geschwindigkeit zu Berg:

(n-Verhältnis ca. 6)

Einzelfahrer
ca. 7,3 km/h über Grund
(n-Verhältnis ca. 12)

Schubverband einspurig
ca. 7,0 km/h über Grund
(n-Verhältnis ca. 12)

Koppelverband zweispurig
Ca. 4,0 km/h über Grund
Squat 35 cm

30

Bei Niedrigwasser konnte die volle Antriebsleistung nicht genutzt werden, da die hydrodynamische Grenzgeschwindigkeit, gekennzeichnet durch starke Wellenbildung im Ansaugbereich des Propellers neben dem Schiff, bereits vorher erreicht wurde.

Zur Verdeutlichung des Zusammenspiels zwischen Fahrrinnenbreite, Wassertiefe und der daraus resultierenden Geschwindigkeiten und Absunkwerte sind aus einer früheren Veröffentlichung der VBD nachfolgende Darstellungen abgebildet.

Die Darstellung "Schiffsbreite 11,4 m" zeigt, daß z.B. bei einer Wassertiefe von 3 m eine Geschwindigkeit über Grund von knapp 5 km/h bei 100 m Wasserspiegelbreite zum Aufsetzen des Schubverbandes (Tiefgang 2,5 m) führt. Bei 60 m Wasserspiegelbreite z.B. setzt der gleiche Schubverband bereits bei 3,7 km/h auf.

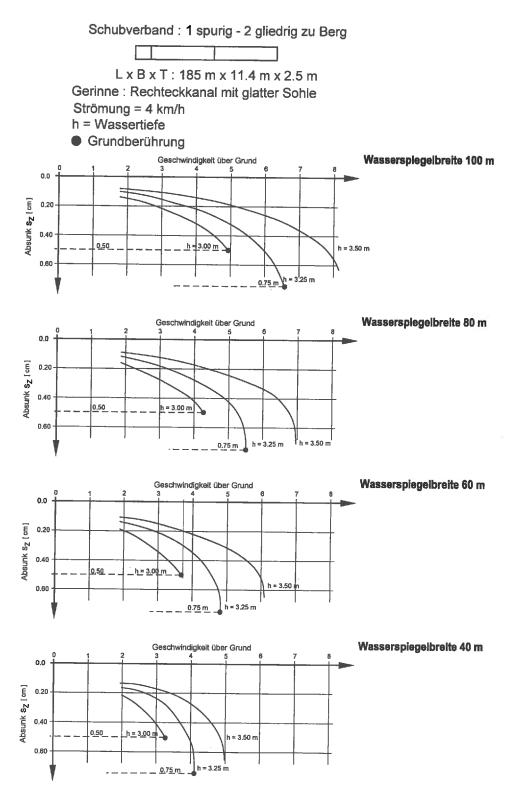
Die Darstellung "Schiffsbreite 22,8 m" zeigt, daß z.B. bei einer Wassertiefe von 3 m eine Geschwindigkeit über Grund von knapp 2,7 km/h bei 100 m Wasserspiegelbreite zum Aufsetzen des Schubverbandes (Tiefgang 2,5 m) führt. Bei 60 m Wasserspiegelbreite

setzt der breite Schubverband bereits bei ca. 0.9 km/h auf.

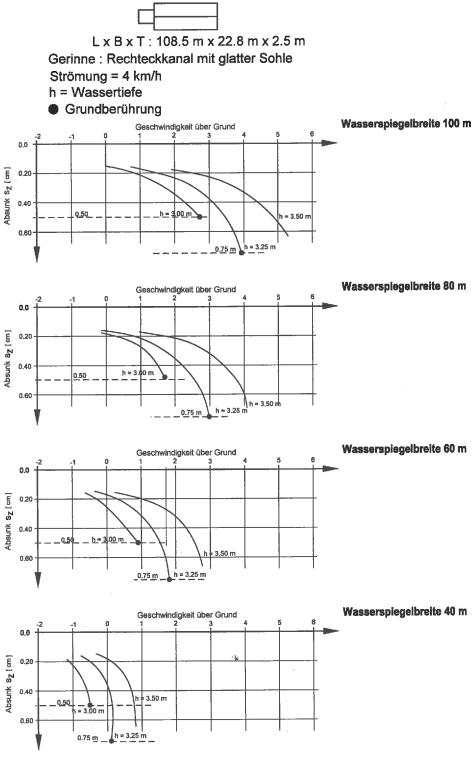
Auswirkungen eines Deckwerks auf das Schiff

Das Einschraubenschiff erlitt durch Steinansaugen auf dem Deckwerk Propellerschäden, die den Propellerverschleiß beschleunigen und zu Vibrationen im Schiff führen. Im Trend zeigt sich, daß die Verweildauer des Propellers über der Sohle einen Einfluß auf das Steinansaugen hat. Bei Anfahrversuchen aus dem Stillstand gegen Land wurden eher Steine angesaugt als bei Überfahrten mit höherer Geschwindigkeit.

Der Vergleich des Propulsionsverhaltens auf glatter und auf rauher ebener Sohle führt insbesondere in der Bergfahrt zu höheren benötigten Antriebsleistungen der untersuchten Fahrzeuge auf rauher ebener Sohle bei konstanter Geschwindigkeit über Grund. Der Einschrauber muß dabei auf rauher ebener Sohle 112% bis 140%, der Zweischrauber 20% bis 134% und der Koppelverband im Mittel 45% höhere Leistungen einsetzen.



Zusammenhang zwischen Geschwindigkeit , Absunk unter Variation des Wasserquerschnitts



Schubverband: 2 spurig - 1 gliedrig zu Berg

Zusammenhang zwischen Geschwindigkeit , Absunk unter Variation des Wasserquerschnitts

Modellversuche zur Bestimmung der horizontalen Sicherheitsabstände für die Schiffahrt

Dipl.-Ing Hans Neuner¹

Einleitung

In der Versuchsanstalt für Wasserbau der TU München werden im Rahmen der vertieften Untersuchungen für den Donauausbau zwischen Straubing und Vilshofen Modellversuche zur Bestimmung der horizontalen Sicherheitsabstände für die Schiffahrt durchgeführt. Aus den Sicherheitsabständen zwischen den Schiffen (S_b), den Ufern (S_s) und den zugehörigen Fahrspurbreiten ergibt sich die benötigte Fahrrinnenbreite (siehe Abb.1).

Modell

Für die Versuche im Maßstab 1:25 wurde eine in Natur entsprechend 1300 m lange und maximal 90 m breite Fahrrinne aufgebaut. Die Flußstrecke ist an einer Seite über eine Länge von 800 m mit Buhnen geregelt. Die Flußsohle ist glatt und ohne Neigung ausgeführt (siehe Abb. 2)

Im Modellversuch wurden Parameterstudien und Sensitivitätsbetrachtungen gemacht, um den Einfluß von Uferform und Strömungsbedingungen auf die horizontalen Sicherheitsabstände zu erfassen. Zu diesem Zweck wurden die Buhnenabstände, die Strömungsbedingungen (Fließtiefe und Fließgeschwindigkeit) und die Fahrrinnenbreiten variiert. Zusätzlich kamen mehrere Schiffstypen (Einschrauber Typ "Johann Welker" und ein Großmotorschiff mit zwei Schrauben) und Verbände (Schub- und Koppelverbände) zum Einsatz, mit denen Einzelfahrten und Begegnungsfahrten durchgeführt wurden.

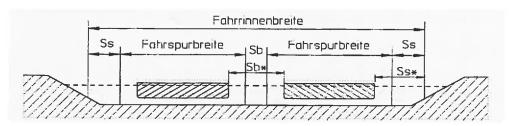


Abb.1: Definition der Sicherheitsabstände

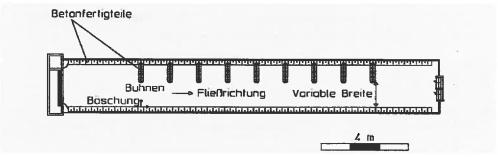


Abb. 2: Modellübersicht

¹ Dipl.-Ing Hans Neuner, Lehrstuhl und Versuchsanstalt für Wasserbau der TU München, Obernach

Versuchssystematik

Die Einzelfahrten dienen zur Bestimmung des Einflusses der Uferform auf die Sicherheitsabstände. Bei den Versuchen wurde hauptsächlich mit einem Großmotorschiff mit zwei Schrauben (95 m X 11,4 m) gefahren. Damit nur ein Ufereinfluß war, wurden die Fahrten in einer möglichst breiten Fahrrinne durchgeführt, entlang der eine Leine als optische Barriere gespannt wurde, um ein systematisches Annähern an das Ufer zu ermöglichen. Das Schiff mußte während der Versuchsfahrt zwischen Leine und Ufer bleiben. Für die Ermittlung der Sicherheitsabstände waren Grenzfahrten erforderlich, d.h. die Fahrrinne bzw. der Abstand zum Ufer wurde solange reduziert, bis die vorgegebene Fahrrinne zwischen Ufer und gespannter Leine nicht mehr ausreichend war. Überschritt das Schiff die optische Barriere oder fuhr gegen das Ufer oder einer Buhne wurde dies als "Havarie" gewertet. Nach der "Havarie" wurde die Fahrrinne vergrößert und die Fahrten bei verschiedenen Schiffsgeschwindigkeiten mehrmals wiederholt.

Die Begegnungsfahrten wurden hauptsächlich mit dem Koppelverband (95 m X 22,8 m) an der Buhnenseite zu Berg und dem 2er-Schubverband (185 m X 11,4 m) an der Böschung zu Tal durchgeführt. Die Begegnungskombination wurde für einen Ausbaustandard vorgegeben und in der dafür ungünstigsten Begegnungssituation untersucht. Diese sogenannten "worst-case" Bedingungen wurden in Vorversuchen ermittelt.

Während der einzelnen Versuchsfahrten wurde die Drehzahl konstant gehalten, um vergleichbare Versuchsfahrten zu erhalten, die in einer anschließenden statistischen Analyse verarbeitet werden.

Meßsystem

Die Aufzeichnung des Schiffspfades erfolgt mit einem Winkelmeßsystem mit integrierter

Entfernungsmessung, das ein auf dem Schiff befindliches Prisma automatisch verfolgt und jede Sekunde die Position des Prismas an einen PC weitergibt (X,Y,Z-Koordinaten). Der Driftwinkel und damit verbunden auch die Lage des Schiffes innerhalb des Modells wird durch die Position des Prismas und einer weiteren Entfernungsmessung vom Schiff an die Modellbegrenzung bestimmt. Somit ist es möglich die Abstände zu den Ufern, Buhnen und zwischen den Schiffen zu ermitteln. Neben dem Schiffspfad werden noch die Ruderstellung und die Drehzahl mit gemessen und aufgezeichnet. Alle auf dem Schiff gesammelten Daten werden über Funk an den PC übertragen und dort gespeichert.

Übertragbarkeit Modell - Natur

Im Vorfeld der Versuche wurde die Übertragbarkeit der Modellergebnisse auf die Natur überprüft. Als erstes wurden Maßstabvergleichsuntersuchungen in der Versuchsanstalt für Binnenschiffbau zwischen den Maßstäben 1:16 und 1:25 durchgeführt. Die Versuche ergaben:

- Maßstabseffekte hinsichtlich Drehzahl, Leistung und Schub
- Die Raumbedarfswerte werden zutreffend abgebildet

Im Anschluß, nach Aufbau des Modellgerinnes in Obernach, fanden die sog. Indikatorversuche statt. Die Randbedingungen der Versuche waren mit den Naturuntersuchungen auf dem Main-Donau-Kanal identisch. Es wurden Begegnungsfahrten durchgeführt und die Raumbedarfswerte von Modell- und Naturmessung miteinander verglichen. Die Ergebnisse zeigten, daß die Raumbedarfswerte zutreffend wiedergegeben werden.

1D-Modellverfahren Modelltechnik, 3D-Untersuchungen, Buhnen, flußmorphologische Änderungen

Dipl.-Ing. Jürgen Kellermann¹

Der vorliegende Beitrag ist eine Zusammenfassung des im Mitteilungsblatt Nr. 80 der Bundesanstalt für Wasserbau, Karlsruhe erschienen Vortrags (Kellermann, 1999) und beschreibt die Methodik der in den vertieften Untersuchungen zum Donauausbau Straubing-Vilshofen verwendeten eindimensionalen Modelluntersuchungen. Dabei wird ein besonderer Schwerpunkt auf die eingesetzte Modellierungstechnik sowie die Berücksichtigung flußmorphologischer Änderungen gelegt. Die Kalibrierungsphase ist abgeschlossen, alle Planungsvarianten werden derzeit parallel aufbereitet. Somit ist eine Darstellung der Ergebnisse zum gegenwärtigen Zeitpunkt noch nicht möglich.

Einführung

Im Rahmen der Planungen zum Donauausbau Straubing - Vilshofen wurden 1996, zur stärkeren Berücksichtigung ökologischer Belange, flußbauliche Maßnahmen in der Teilstrecke Straubing - Isarmündung unter der Randbedingung einer Staustufe im Bereich unterstrom der Isarmündung untersucht (Witte et al. 1997, Kellermann et al. 1998). Nach Abschluß dieser Untersuchungen beschlossen Bund und Bayern für eine politische Richtungsentscheidung im Jahr 2000, die Untersuchungen auf die gesamte Strecke zwischen Straubing und Vilshofen, mit dem Ziel, für das ganze Spektrum möglicher Varianten eine gleichwertige, vergleichbare Untersuchungstiefe zu erhalten, auszuweiten. Die Spannweite der Varianten umfaßt dabei den IST-Zustand mit ausgebautem Bürgerfeld, wie er im Jahr 2000 hergestellt sein soll (IST-Zustand 2000), über Varianten mit flußregelnden Maßnahmen bis zu Varianten mit einer oder mehreren Staustufen. Ergebnissse der hier beschriebenen HN-Modelle sind im wesentlichen Wasserstände, Fließtiefen und Fließgeschwindigkeiten, die für die anschließenden Untersuchungen zur Fahrdynamik (Söhngen, 1999), Ökologie und Ökonomie als Eingangsgrößen verwendet werden und liefern erforderliche Randbedingungen zur physikalischen Modellierung (Roßbach et al., 1999). Zudem stellt die HN-Modellierung ein Instrument zum Aufzeigen der Problemstellen der heutigen Schifffahrt sowie des weiteren Optimierungspotentials dar.

Vor dem Hintergrund zur Untersuchungstiefe zu einer politischen Richtungsentscheidung werden verzweigte und vermaschte eindimensionale HN-Modelle eingesetzt. Auf diese Weise kann, unter anderem, dem in Krümmungen oftmals kürzeren Fließweg über das Vorland in ausreichender Weise Rechnung getragen werden.

Modellerstellung und Kalibrierung

Durch die Wahl der Modellränder werden die Abflußaufteilungen bei Straubing und an der Isarmündung, der Zufluß der Vils im Hochwasserfall sowie gesicherte Aussagen über Wasserstände am Wehr Kachlet berücksichtigt.

Auf Grund der relativ großen morphologischen Änderungen mußten zur Kalibrierung mehrere Modelle mit Querprofilpeilungen des WSA Regensburg von 1990 und 1995 mit einem mittleren Querprofilabstand von ca. 300 m erstellt werden. Weiterhin wurden u.a. Daten aus Altwasserpeilungen, Buhnenund Parallelwerksvermessungen, mehrere Befliegungen, terrestrische Aufmessungen und Sohlbeprobungen zur Modellerstellung verwendet. Zur Kalibrierung standen eine

Reihe von Wasserspiegelfixierungen zu Verfügung, die im Zeitraum der Querprofilpeilung erhoben wurden. Zusätzlich wurde das Hochwasser von 1988 verwendet. Es konnte ein weites Abflußspektrum zwischen 190 m³/s und 2570 m³/s für den Bereich oberstrom und 294 m³/s bis 3020 m³/s für den Bereich unterstrom der Isarmündung berücksichtigt werden.

Darüber hinaus ist nachträglich ein weiteres Modell mit der 1998 durchgeführten Querprofilpeilung erstellt worden. Dieses Modell, in das die kalibrierten Rauheitsbeiwerte ohne weitere Änderungen übernommen wurde, bestätigte mittels aktueller Wasserspiegelfixierungen und Geschwindigkeitsmessungen für Niedrig- und Hochwasser die Prognosefähigkeit.

Die Kalibrierung der fließtiefenabhängigen Rauheitsbeiwerte erfolgte in drei Stufen. Bei Niedrigwasserablüssen wird die Systemrauheit im Wesentlichen durch die Kornrauheit des morphologisch aktiven Bereichs bestimmt. Da bei diesen Abflüssen in der Regel kein Sedimenttransport stattfindet, ist eine Formrauheit im Sinne einer "worst case"-Betrachtung für Ökologie und Schifffahrt nicht zu berücksichtigen. Diese Rauheitsbeiwerte wurden zwischen den Regelungselementen anhand der Kornverteilungen gemessener Sohlproben geschätzt (Söhngen, 1995) und mit gemessenen Niedrigwasserfixierungen überprüft. Bei höheren, bis etwa bordvollen Wasserständen ist die Rauheitswirkung von Buhnen und Parallelwerken mit parameterbehafteten Ansätzen (Ritzert et al., 1998) zusätzlich zu berücksichtigen. Zur Verbesserung der zu wählenden Parameter wurde in einem Forschungs- und Entwicklungsvorhaben dreidimensionale Berechnungen an einem schematisierten Rechteckgerinne durchgeführt. Bei Hochwasserereignissen ist die Systemrauheit um das Vorland zu erweitern. Da mit steigenden Wasserständen der Sedimenttransport in der Regel zunimmt, ist auch zunehmend ein Rauheitseinfluß durch Transportkörper zu erwarten. Da das System nun zwei Freiheitsgrade (Form- und Vorlandrauheit) besitzt, sind weitere Annahmen erforderlich. Zur Schätzung der Vorlandrauheiten dienten Luftbilder mit abgebildetem Bewuchs. Mit Hilfe von Rauheitstabellen (z.B. Ven Te Chow, 1959) wurde die Vorlandrauheit ermittelt. Die Formrauheit wurde mit empirischen Ansätzen berechnet (Söhngen et al. 1996). Die sich daraus ergebenden rechnerischen Wasserspiegellagen wurden mit gemessenen Hochwasserereignissen überprüft. Um die Prognosefähigkeit der Modelle zu gewährleisten, sind die oben genannten Einflüsse getrennt und gemäß ihrer physikalischen Ursachen möglichst genau zu erfassen.

Im Rahmen der Kalibrierung ist u.a. auch auf eine möglichst genaue Ermittlung der Abflüsse der Wasserspiegelfixierungen zu achten. So ist die Ermittlung der Abflüsse am Pegel Pfelling nicht immer eindeutig, da der Pegel durch Rückstau von der Isarmündung beeinflußt werden kann. Die Differenzen im Wasserspiegel können 10 cm übersteigen. Durch sorgfältige Auswahl der Wasserspiegelfixierungen und Überprüfung mittels weiterer Pegel läßt sich diese Fehlerquelle minimieren.

Der Bereich des Isarschüttkegels ist morphologisch die Kontrollstelle des Untersuchungsgebiets und kann durch hydrologische Unterschiede von Donau und Isar im Jahresgang starken Veränderungen in Größe und Gestalt unterliegen. Um Abweichungen in den Berechnungen der Wasserspiegellagen zu minimieren, wurden aus den zu Verfügung stehenden Querprofilpeilungen des Isarschüttkegels (Söhngen et al., 1992) ein gemittelter Zustand hergestellt, mit dem die Kalibrierung durchgeführt wurde.

Die berechneten Ergebnisse zeigten gute Übereinstimmungen von Wasserspiegellagen und Geschwindigkeiten sowohl im Flußbett, als auch in Buhnenfeldern und Vorlandbereichen. Die komplexen Strömungsverhältnisse an der Isarmündung wurden ebenfalls durch Geschwindigkeitsmessungen bestätigt.

Modellerstellung der Planungsvarianten

In den Planungsvarianten soll für schifffahrtsrelevante Wasserstände zur Erreichung gleichmäßiger, größerer Fließtiefen im Bereich der Fahrrinne u.a. das Regelungskonzept angepaßt bzw. erweitert werden. Die BAW folgte dabei für die von ihr erstellten Varianten den von Kuhn formulierten Grundsätzen: "Die Niedrigwasserregelung strebt eine Linienführung und eine Querschnittsgeometrie der Art an, daß der Fluß mit Hilfe des strömenden Wassers sich sein Bett selbst umbildet und das benötigte Fahrwasser schafft. Damit wird das Flußbett als natürlich gewachsenes Gebilde stabiler, als eine künstlich aufgezwängte Form" (in Bretschneider et al. (Hrg.), 1993), Somit sind, im Sinne eines morphologisch stabilen Regelungskonzeptes, Sohlhöhenänderungen auf Grund von Baumaßnahmen zu berücksichtigen. Da die morphologischen Änderungen mit den eingesetzten Untersuchungsmethoden nur grob ermittelt werden können, sind die erreichbaren Ergebnisse im Sinne der erreichbaren Fahrrinnentiefe, nicht aber im Sinne einer abgeschlossenen Planung zu interpretieren. Daraus ergibt sich, daß, wie Kuhn weiter schreibt, "die Niedrigwasserregulierung nicht eine einmalige, kurze Baumaßnahme ist, sondern sich über einen längeren Zeitraum erstreckt". Die wesentlichen Elemente flußregelnder Maßnahmen sind Anpassung oder Neubau von Buhnen und

Parallelwerken. Ufervorschüttungen bzw. Kiesbankaufhöhungen und der Kolkverbau. Diese Methoden führen zu Veränderungen der Fließgeschwindigkeiten, die zu den erwähnten Sohlhöhenänderungen führen

Eine allgemeine morphologische Zustandsbeschreibung der Donau wurde bereits im Rahmen des Raumordnungsverfahrens erarbeitet. Umfangreiche Sohlerhebungen lieferten Datenmaterial für Kornverteilungen und Geschiebetransport (Söhngen et al., 1992), die durch fortlaufende Datenerhebungen ergänzt wurden. Diese Informationen wurden zur morphologischen Kalibrierung verwendet. Die Berechnung des Geschiebetransportes wurde auf der Basis der in der BAW für die Donau entwickelte Transportgleichung ermittelt (Söhngen et al., 1996). Die auf dieser Basis mit dem Ausgangszustand 1998 berechnete mittlere Jahresgeschiebefracht werden durch Massenbilanzen bestätiat.

Der IST-Zustand 2000 wird als Vergleichszustand für Relativbetrachtungen mit den Planungsvarianten verwendet. Dadurch läßt sich die Aussagegenauigkeit der Untersuchungsergebnisse weiter steigern, da auf diese Weise modellbedingte Abweichungen verkleinert werden können.

Die Erstellung der Planungsvarianten erfolgt in mehreren Schritten. Zuerst werden die geplanten Regelungselemente in den Modellen verändert bzw. neu eingebaut und die zugehörige Sohlhöhenermittlung ermittelt. Zusätzlich kann im Falle einer Staustufenlösung für die verbleibenden freifließenden Abschnitte angenommen werden, daß durch Anpassung des Geschiebemanagements eine kontrollierte Sohleintiefung auftritt. In einem letzten Schritt werden dann für alle Varianten die mögliche Fließtiefe im Bereich der Fahrrinne durch zusätzliche Baggerungen unter der Annahme, daß die künftigen 38 Unterhaltungsmaßnahmen sich nicht wesentlich von denen des Vergleichszustandes unterscheiden, ermittelt werden. Dabei werden zur Herstellung der Modellquerschnitte zusätzlich zur Baggerung auf Solltiefe eine zusätzliche Baggertoleranz von 1 dm (zeitlicher Mittelwert) ausgegangen. Die Herstellung der Planungsvarianten erfolgt unter der Randbedingung begrenzter Wasserspiegeländerungen. Diese Randbedingung soll die ökologischen Folgen begrenzen und die Hochwasserneutralität gewährleisten.

Schlußfolgerungen

Das Untersuchungsgebiet weist komplexe Zusammenhänge der Strömungsverhältnisse und Morphologie auf. Um zu fundierten Aussagen künftig erreichbarer Schiffahrtsverhältnisse sowie ökologischen Randbedingungen zu gelangen, ist es erforderlich, diese Phänomene möglichst sorgfältig zu erfassen. In der Kalibrierungsphase zeigte sich, daß mehre Modelle und die Berücksichtigung möglichst vieler Naturdaten erforderlich waren, eine tragfähige Basis zur Erstellung der Planungsvarianten zu erhalten.

Durch eine vergleichende Betrachtung kann für eine politische Richtungsentscheidung eine ausreichende Aussageschärfe erzielt werden. Im Falle einer Umsetzung von Regelungsmaßnahmen ist immer eine erhöhte Aufmerksamkeit durch den Betreiber der Wasserstraße erforderlich.

Literatur

Bretschneider,H. Taschenbuch der Wasserwirt-Lecher, K. schaft, 7. Auflage, Parey Verlag, Schmidt, M. Hamburg, 1993 (Hrsg.)

Kellermann, J. Hydraulische, sedimentologische Söhngen, B. und schiffahrtliche Aspekte einer Regelungsvariante für den Donauausbau Straubing – Isarmündung, XIX IHP-UNESCO Konferenz der Donauländer, Osijek, Kroatien, 15. bis 19.6.1998

Kellermann, J. 1D-Modellverfahren, Modelltechnik, 3D-Untersuchungen, Buhnen, flußmorphologische Anderungen, Mitteilungen Nr. 80 der Bundesanstalt für Wasserbau, Karlsruhe

Ritzert, F. Niedrigwasseraufhöhende Wirkung von Buhnen bei fester Sohle, 51.

Söhngen, B. HTG-Jahrbuch, Hansa-Verlag, Nestmann, F. Hamburg, 1998

Roßbach, B.
Kauppert, K.

Mauppert, K.

Physikalischer Modellversuch Isarmündung, Mitteilungen der Bundesanstalt für Wasserbau, Nr. 80, Karlsruhe, 1999

Söhngen, B. Modeling of the Danube and Isar Kellermann, J. Rivers Morphological Evolution, Part I; Measurements and Formulation, 5th International Symposium on Loy, G. River Sedimentation, Karlsruhe 1992

Söhngen, B. Naturmessungen zur Systemrauheit in Flüssen mit Deckschichtbildung, ÖWAV-Seminar Natürliche Sohlstabilisierung in Fließgewässern, Universität Innsbruck, 20.10.1995

Söhngen, B.

1-D-morhodynamische ModelKellermann, J. lierung großer Flußstrecken,
36. Darmstädter Wasserbauliches
Kolloquium, Technische Hochschule Darmstadt, Institut für
Wasserbau und Wasserwirtschaft,
17. und 18. 10.1996

Söhngen, B. Fahrdynamische Modellrechnungen, Mitteilungen der Bundesanstalt für Wasserbau, Nr. 80, Karlsruhe, 1999

Ven Te Chow Open Channel Hydraulics, Mc-Graw Hill, New York,1959

Witte, H-H. Donauausbau zwischen Straubing Söhngen, B. und Isarmündung, Zeitschrift für Kellermann, J. Binnenschiffahrt, Nr. 3, Februar 1997

Fahrdynamische Modelluntersuchungen im Kontext mit dem Donauausbau Straubing-Vilshofen

Dr.-Ing. Bernhard Söhngen¹

Einleitung

Der volkswirtschaftliche Nutzen von Ausbaumaßnahmen im Donauabschnitt Straubing -Vilshofen ist maßgeblich bestimmt durch künftig größere mögliche Abladetiefen. Die Verkehrsleistung der Wasserstraße Donau ist weiterhin von den erreichbaren Schiffsgeschwindigkeiten abhängig, denn diese bestimmen in einer Strecke, die wegen der vorhandenen Fahrrinnenbreiten heute überwiegend im Richtungsverkehr befahren wird, die Wartezeiten von Engstellen. Fahrdynamische Modelluntersuchungen, die mit den vergleichenden Variantenanalysen hinsichtlich der ausbaubedingt veränderten Schifffahrtsverhältnisse gegenüber dem Ist-Zustand durchgeführt werden sollen, zielen deshalb zum einen auf Grenzwerte der erreichbaren Abladetiefen, wobei davon ausgegangen werden kann, dass Tiefenengstellen mit reduzierter Schiffsgeschwindigkeit passiert werden, um durch Begrenzung des fahrdynamischen Einsinkens die vorhandenen Tiefenverhältnisse besser ausnutzen zu können und zum anderen auf erreichbare Streckenmittel der Schiffsgeschwindigkeiten. Die nachfolgend kurz angerissenen, in der Bundesanstalt für Wasserbau angewendeten Methoden beschreiben die Ermittlung der potentiellen Abladetiefen, wobei eine aus nautischen Gründen erforderliche Mindestgeschwindigkeit als vorgegeben betrachtet wird. Der vorliegende Beitrag ist eine Kurzfassung der Veröffentlichung "Fahrdynamische Modelluntersuchungen" im Mitteilungsblatt der Bundesanstalt für Wasserbau Nr. 80, 1999.

Von der Fahrrinnentiefe zur Abladetlefe

Bei der Analyse vorhandener Fahrwasserverhältnisse, die z.B. in Form von gepeilten Querprofilen vorliegen, ist zunächst über die Position des Schiffes innerhalb des Fahrwasserquerschnittes zu befinden. Ist diese z.B. Schiffahrtsbeobachtungen bekannt, dann definiert die kleinste, im Bereich dieses Schiffspfades gemessene Wassertiefe, abzüglich eines Wertes für das Mindestflottwasser, der sprichwörtlichen "Handbreit Wasser unter dem Kiel", und abzüglich des fahrdynamischen Einsinkens des Schiffes in Fahrt den maximal möglichen Tiefgang, den ein bestimmtes Fahrzeug bei vorgegebener Schiffsgeschwindigkeit einnehmen kann. Das fahrdynamische Einsinken ist dabei von der Schiffsgeschwindigkeit "durchs Wasser" und vom Verhältnis des eingetauchten Schiffsquerschnittes zum vorhandenen Abflussquerschnitt abhängig, um die maßgebenden Einflussparameter zu nennen. Das erforderliche Mindestflottwasser zwischen Schiffsboden in Fahrt und Sohle ist vor allem von der Sohlbeschaffenheit abhängig. Beispielsweise wird im Bereich einer Felssohle, in der das Aufsitzen deutlich größere Schäden anrichten würde, die zudem zu einem Sicherheitsrisiko werden, ein größeres Flottwasser gewählt als in Streckenabschnitten mit Kies- oder Sandsohle.

Für die Prognose von möglichen Abladetiefen von Ausbauzuständen liegen in der Regel keine detaillierten Informationen über die örtlichen Tiefenverhältnisse vor, denn die morphologische Gestalt des Gewässerbettes, die sich z.B. als Folge von Nachregelungsmaßnahmen einstellt, ist hinsichtlich ihrer örtlichen Ausprägung nur eingeschränkt prognostizierbar. Mit hoher Genauigkeit können dagegen mittlere Wassertiefen für Ausbauzustände errechnet werden. Von diesen mittleren Tiefen ist ein Maß für unvermeidbare Sohlunebenheiten, die auch in Streckenabschnitten mit intensiver Unterhaltung auftreten werden, in Abzug zu bringen, um die nutzbare örtliche Tiefe zu erhalten. Wesentliche Fachaufgabe hierbei ist es also, die Größe der Unebenheit des Gewässerbettes zu prognostizieren.

Alternativ können die Komponenten: Unebenheit und Mindestflottwasser zum "Sohlabstand" zusammengefasst werden. Diese Vorgehensweise bietet sich dann an, wenn direkte Informationen über den erforderlichen Mindestwert des Sohlabstandes, z.B. im Bereich einer Deckwerkssohle, für die im Jahre 1998 umfangreiche Naturuntersuchungen auf der Donau durchgeführt wurden, vorliegen.

Die mögliche Abladetiefe kann aber nicht nur durch die Tiefenverhältnisse beschränkt werden, sondern auch durch den vorhandenen Abfluss querschnitt. Wenn dieser sehr klein ist und die Schiffsquerschnittsfläche sehr groß, oder wenn, insbesondere im Bereich größerer Wasserstände, Schiffe nur eine begrenzte Antriebsleistung besitzen, dann können die vorgegebenen Mindestschiffsgeschwindigkeiten nur mit vergleichsweise geringen Abladetiefen erreicht werden.

Mögliche Abladetiefen an Engstellen, wenn die Größe des Querschnittes maßgebend ist

Bei kleinen Verhältnissen zwischen vorhandenem rückströmungswirksamen Abflussquerschnitt und eingetauchtem Schiffsquerschnitt, also bei breiten Fahrzeugen und bei Niedrigwasser, wird die mögliche Schiffsgeschwindigkeit bei vorgegebener Abladetiefe dadurch begrenzt, dass das Schiffsheck beim Erreichen der kritischen Schiffsgeschwindigkeit immer tiefer eintaucht. Sichtbares Kennzeichen dieses Fahrzustandes ist eine brechende Heckwelle (Söhngen/Zöllner 1992). Der physikalische Grund dafür, dass die Schiffsgeschwindigkeit von Verdrängern im beschränkten Fahrwasser nicht über eine bestimmte Grenze gesteigert werden kann, ist, dass die Wellenfortpflanzungsgeschwindigkeit im Flachwasser begrenzt ist.

Für höhere Wasserstände, z.B. beim Mittelwasser, ist dagegen für die vergleichsweise schwach motorisierten Großmotorschiffe und Schubboote zweispuriger Fahrzeuge der Donauflotte die Motorleistung begrenzend für die mögliche Abladetiefe. Nur durch die Wahl einer geringeren Abladetiefe können die Widerstände, die bei der Bewegung mit den vorgegebenen Schiffsgeschwindigkeiten entstehen, von den möglichen Schubkräften des Propellers überwunden werden. Aber nicht nur die Widerstände wachsen in engen Fahrwasserquerschnitten, u.a. wegen des reibungsbedingten, erhöhten Gefällewiderstandes, sondern auch die Schubkraft, die der Propeller ausüben kann, nimmt bei gleicher "in die Strömung eingetragener" Leistung gegenüber der Fahrsituation in weniger beschränkten Querschnitten ab, denn der Wirkungskreis des Propellers ist dabei geringer (Zöllner, 1999).

In einer typischen Engstelle, wie sie im betrachteten Donauabschnitt bei Mittelwasser auftritt, kann ein GMS mit einer durchschnittlichen Motorisierung von 900 kW Wellenleistung bei 2,8 m Tiefgang nur eine maximal mögliche Schiffsgeschwindigkeit über Grund von ca. 3,3 km/h in der Bergfahrt erreichen, wobei ein fahrdynamisches Einsinken von ca. 0,2 m auftritt. Um z.B. mit 4 km/h fahren

zu können, einer aus nautischen Gründen angezeigten Mindestschiffsgeschwindigkeit, müsste das Schiff auf ca. 2,5 m geleichtert werde. Noch drastischer stellt sich die Situation bei einem zweispurig-eingliedrigen Schubverband dar, bestehend aus einem Schubboot mit ca. 1.020 kW Antriebsleistung und 2 Standardleichtern. Selbst wenn wir eine Mindestschiffsgeschwindigkeit von 2 km/h über Grund annehmen würden, könnte bei Mittelwasser nur eine Abladetiefe von ca. 2 m erreicht werden.

Die ungünstigsten Streckenabschnitte sind dabei die Isarmündung, der Bereich Niederalteich und die für die Deckwerksversuche ausgewählte Strecke bei Aicha. In der Teilstrecke oberhalb der Isarmündung können dagegen, bei gleicher Mindestschiffsgeschwindigkeit von 2 km/h, größere Abladeteifen erreicht werden.

Diese Zahlenwerte machen deutlich, dass in den betrachteten Ausbauabschnitten der Donau äußerst enge Fahrwasserquerschnitte, insbesondere in der Teilstrecke Isarmündung - Winzer und für zweispurige Verbände vorliegen. Die Tiefenverhältnisse der Donau im Ist-Zustand spielen deshalb für die zuletzt betrachtete Fahrt des zweispurigen Verbandes bei Mittelwasser keine entscheidende Rolle, sondern es sind die beengten Querschnittsverhältnisse maßgebend. Deshalb dürfen zur Beurteilung der Fahrwasserverhältnisse nicht allein die Tiefenverhältnisse herangezogen werden. Dies gilt auch und besonders für den Vergleich der Donau mit den Verhältnissen am Rhein, der wesentlich größere Fahrwasserquerschnitte (u.a. wegen der größeren Fahrwasserbreiten) aufweist. Die am Rhein gewonnenen statistischen Daten zu den möglichen Abladetiefen bei vorhandenen Tiefenverhältnissen können deshalb nicht unmittelbar auf die Donau übertragen werden.

Analyse der Tiefenverhältnisse im Hinblick auf die mögliche Abladetiefe von Großmotorschiffen bei Niedrigwasser

Die möglichen Abladetiefen werden in der Ausbaustrecke Straubing - Vilshofen maßgeblich durch die nautischen Verhältnisse im Bereich von Furten bestimmt. Dies gilt vor allem bei Niedrigwasser. Dort liegen die geringsten Tiefen vor. Da die Sohle überwiegend eben ist, hat der Schiffsführer keine Chance durch Ausnutzen des Talweges, wie z.B. in einer Kurve, größere örtliche Tiefen vorzufinden. Da das fahrdynamische Einsinken, wie die Berechnungen zeigen, selbst in den abladebstimmenden Streckenabschnitten im Bereich Niederalteich für GMS auch bei einer empfohlenen nautischen Mindestschiffsgeschwindigkeit zwischen 2 und 4km/h auf ca. 0,1 m beschränkt werden kann, bestimmen hier die örtlichen Tiefenverhältnisse die mögliche Abladetiefe. Unter Beachtung der Verhältnisse, wie sie bei der Peilung von 1998 vorlagen, errechnet sich bei einer kleinsten Wassertiefe von 1,9 m unter dem Regulierungsniedrigwasserstand eine mögliche Abladetiefe von ca. 1,6 m, wenn ein von der Versuchsanstalt für Binnenschiffbau empfohlener Wert für das Mindestflottwasser 0,2 m angesetzt wird. Der vorgenannte Grenzwert für die mögliche Abladetiefe wird durch statistische Untersuchungen sowie übliche "Abladeregeln" der Schiffahrt, die sich an charakteristischen Pegelwerten orientiert, bestätigt.

Da die Tiefenverhältnisse für die mögliche Abladetiefe eines Großmotorschiffes bei Niedrigwasser maßgebend sind und allgemein auch für einspurige Verbände, sind die Tiefenengstellen für diese Schiffe in der gesamten Strecke Straubing – Vilshofen nahezu gleichmäßig verteilt mit Schwerpunkten bei Pfelling, im Bereich um Mariaposching,

Niederalteich und Aicha. Es gibt also für Großmotorschiffe bei Niedrigwasser keine herausragende, singuläre Engstelle, wie dies bei Mittelwasser heute noch durch das Bürgerfeld bei Vilshofen gegeben ist, das derzeit im Ausbau begriffen ist. Der Grund hierfür ist sicherlich die intensive Unterhaltungstätigkeit des Wasser- und Schiffahrtsamtes Regensburg, der es gelingt, nahezu gleichwertige Tiefenverhältnisse in der gesamten Strecke bereitzustellen. Im Hinblick auf zu ergreifende flussregelnde Maßnahmen zur Verbesserung der Situation ist es somit nicht damit getan, wenige singuläre Engstellen zu entschärfen. Es müßten vielmehr größere Streckenabschnitte mit bekannten Mindertiefen angepasst werden.

Prognose der potentiellen Abladetiefen auf der Basis mittlerer Wassertiefen im Bereich der Fahrrinne

Mit dem für die vertieften Untersuchungen zum Donauausbau angewendeten Prognoseverfahren kann die mittlere Tiefe, z.B. im Bereich der Fahrrinne, die durch Regelungsmaßnahmen gegenüber dem Ist-Zustand verändert wird, mit hoher Genauigkeit vorausgesagt werden. Die mögliche Abladetiefe errechnet sich dabei aus der mittleren Wassertiefe, abzüglich der um den Einfluss der Fahrrinnenunterhaltung reduzierten, im wesentlichen morphodynamisch bedingten Unebenheitshöhe des Gewässerbettes, dem Mindestflottwasser und dem fahrdynamischen Einsinken.

Um insbesondere für eine im Rahmen der vertieften Untersuchungen zum Donauausbau zu betrachtende Variante, mit der die Grenzen von Flussregelungsmaßnahmen im Hinblick auf größte mögliche Abladetiefen bei vorgegebener Breite aufgezeigt werden sollten, Aussagen über die örtlichen Tiefenver-

hältnisse zu erhalten, wurden statistische Analysen heute beobachteter Unebenheiten durchgeführt. Hierbei wurde neben der Donau im Ausbauabschnitt auch der äußerst intensiv geregelte Rheinabschnitt zwischen Iffezheim und Karlsruhe betrachtet. Er weist hinsichtlich der maßgebenden makroskopischen Parameter der Gewässermorphologie, z.B. des Verhältnisses zwischen Buhnenhöhe und Wassertiefe bei bettbildenden Abflusszuständen und der Breite des Niedrigwasserbettes zur Flussbreite, vergleichbare Verhältnisse auf wie in der Ausbaustrecke zwischen Straubing und Vilshofen. Wesentlicher flussmorphologischer Parameter ist dabei die von Schiels definierte Bewegungsintensität (Söhngen, 1999). Sie ist ein Maß für die Mobilität des Bettmaterials. Aus der Theorie der Schrägneigung der Gewässersohle in Krümmungen folgt weiterhin, dass die Unebenheitshöhe linear mit der betrachteten Gewässerbreite sowie mit der mittleren Wassertiefe bei bettbildendem Abfluss anwächst aber umgekehrt proportional ist zum Kurvenradius. In Geraden tritt an die Stelle des Krümmungsradiua die Breite des Niedrigwasserbettes. Einen weiteren wesentlichen Einfluss hat der "Regelungsgrad", d.h. zu wieviel Prozent der Strecke ein- oder/und beidseitig Regelungselemente angeordnet sind.

Aus der Analyse beobachteter Unebenheiten konnte nun eine Abhängigkeit der vorgenannten Kenngrößen in Form einer empirischen Gleichung ermittelt werden. Sie kann nun, alternativ zur Vorgehensweise auf der Basis örtlicher Tiefen, für die Prognose potentieller Abladetiefen, z.B. für den Ist-Zustand, unter Verwendung mittlerer Tiefen angewendet werden. Dabei ergab sich für ein Großmotorschiff bei RNW der gleiche Grenzwert von ca. 1,6 m, wie er im vorangegangenen Abschnitt angegeben wurde. Trotz der stark vereinfachten theoretischen Grund-

lagen und der Verwendung statistischer Daten, die in der Regel eine starke Streuung aufweisen, so dass die Mittelwerte nur grobe Anhaltswerte für die örtlichen Verhältnisse darstellen, konnte die Prognosefähigkeit des Verfahrens damit nachgewiesen werden.

Erforderliche Sohlabstände zu einer Deckwerkssohle

Mit Sohlendeckwerken, die so dimensioniert sind, dass sich auch noch bei Hochwasser erosionsstabil sind, können die vorher geschilderten morphodynamisch bedingten Bettunebenheiten nahezu vollständig vermieden werden. Deckwerke haben allerdings den Nachteil, dass einbau- und schiffahrtsbedingte örtliche Sohlunebenheiten beachtet werden müssen (Söhngen, 1994). Diese liegen nach Erfahrung mit Kolkverbaumaßnahmen am Rhein sowie den im Jahre 1998 durchgeführten Untersuchungen an der Donau in der Größenordnung von ca. +- 0,5 m, wenn die befestigten Strecken im wesentlichen überfahren werden, d.h. wenn die Schiffe dort nicht auf der Stelle verharren. Der einbaubedingte Anteil der Unebenheitshöhen liegt bei ca. +-0,3 m. Um den eingangs definierten Sohlabstand zu erhalten, ist zusätzlich zu den vorgenannten Unebenheiten noch ein Mindestflottwasser in Ansatz zu bringen. Das Mindestflottwasser deckt dabei alle Einflüsse hinsichtlich der örtlichen Tiefenverhältnisse ab, die nicht kausal erfasst werden können. Bei 0.4 m Flottwassertiefe, wie sie von Seiten der Versuchsanstalt für Binnenschiffbau z.B. für Felsstrecken empfohlen wurden, errechnet sich daraus ein Sohlabstand (Abstand zwischen Schiffsboden in Fahrt und mittlerer Sohle) von 0.9 m. Der erforderliche Sohlabstand bei grobkörniger Gewässersohle ist aber nicht nur von den Unebenheiten abhängig. Ein weiterer

Aspekt ist die Begrenzung von Schäden am Schiff durch in die Schiffspropeller eingesaugte Sohlpartikel (Söhngen, Kellermann, Witte, 1998; Söhngen 1999). Hierbei ist vor allem diejenige Fahrsituation besonders kritisch zu bewerten, bei denen die Schiffspropeller einen geringen Wirkungsgrad aufweisen. Dies ist in Wartephasen, beim Anfahren oder bei langsamer Fahrt sowie bei geringen Sohlabständen der Fall. Für diese Fahrsituation wird der Propeller nicht, wie bei schneller Fahrt und großen Flottwassertiefen, überwiegend von vorne angeströmt, sondern der Propeller "holt sich das Wasser" von der Seite und zum Teil sogar von hinten, da die Anströmung von vorne behindert ist. Das Strömungsfeld im Nahbereich des Propellers ist dadurch sehr stark drallbehaftet. Wie beim Ansaugen von Luft in die Schiffspropeller oder bei einer Wasserhose kommt es hierbei zur Ausbildung einzelner Wirbelfäden, die im Wirbelkern große Unterdrücke erzeugen können. Diese führen zum Aufnehmen von Sohlpartikeln von der Sohle. Wie vorausgegangene Modellversuche der Donau-Kraftwerk AG, die im Jahre 1992 in Ybbs durchgeführt wurden sowie ergänzende Versuche. der Versuchsanstalt für Binnenschiffbau im Jahre 1998 und schließlich die Naturversuche in einer Teststrecke bei Aicha an der Donau mit GMS gezeigt haben, können dabei Steine bis zu einer Korngröße von mehr als 150 mm angesaugt werden.

Die theoretische Analyse der Ursachen des Ansaugphänomens sowie des damit verbundenen Schädigungspotentials für die Schiffspropeller, die aufgrund ihrer Rotation mit großer Geschwindigkeit auf einen Stein schlagen, zeigt, dass der erforderliche Sohlabstand, mit dem Steinschläge vermieden werden können, um so größer ist, je größer die induzierte Geschwindigkeit in der Propellerebene ist, die wieder proportional ist zur

Drehzahl und zum Propellerdurchmesser. Weiterhin steigt er mit demVerhältnis der Schiffsgeschwindigkeit über Grund zur induzierten Propellergeschwindigkeit. Ein wesentlicher Einflussparameter ist auch die Form des Hinterschiffes. Für die im Naturversuch eingesetzten Wasserbausteine mit Korngrößen zwischen 50 und 200 mm lag die Ansauggrenze für einen typischen Einschrauber, dem MS Main, bei ca. 0,8 bis 0,9 m, während bei dem modernen Zweischrauber, dem MS Mon Desir, die Steinschlaggrenze bei ca. 0,6 m lag. Die Anströmbedingungen des Einschraubers bei geringen Sohlabständen sind somit wesentlich ungünstiger zu bewerten als die des Zweischraubers. Maßgebend für den erforderlichen Sohlabstand zur Vermeidung von Steinschlägen ist somit die im betreffenden Streckenabschnitt, der durch Deckwerke gegen Erosion gesichert werden soll, z.B. im Rahmen einer Kolkabdeckungsmaßnahme, zu betrachtende Flotte.

Der erforderliche Sohlabstand zur Vermeidung von Steinschlägen ist weiterhin um so größer, je geringer die Sinkgeschwindigkeit des Kornes ist, d.h. bei kleineren Korngrößen ist ein größerer Sohlabstand erforderlich. Dagegen nimmt das Schädigungspotential durch einen Steinschlag mit dem Steingewicht zu. Dieses ist bei Kies, dem natürlichen Sohlenmaterial auf der Donau, jedoch wesentlich geringer als das der verwendeten Deckwerksteine. Für sehr große Steine, wie sie bisher u.a. für Kolkverbaumaßnahmen am Niederrhein verwendet wurden, kann das Ansaugen von Steinen bei üblichen Sohlabständen von ca. 0,8 m bis 0,9 m jedoch vermieden werden, d.h. eine Schädigung der Propeller tritt wegen der verschwindend geringen Ansaugwahrscheinlichkeit in der Regel nicht auf. Das Schädigungspotential durch Steinschläge ist somit im hohen Maße abhängig von der Korngröße, von den möglichen Sohlabständen und natürlich von der eingesetzten Flotte. Für die vertieften Untersuchungen zum Donauausbau und die dabei zu betrachtenden Schiffsgefäße wird von einem Mindest-Sohlabstand zu Deckwerken von 0,8 bis 0,9 m, abhängig von der Drehzahl, ausgegangen, wenn Deckwerksteine verwendet werden, mit denen morphodynamisch bedingte Sohlunebenheiten sicher vermieden werden können.

Prognosefähigkeit der hier angewendeten Modelle und Modellverfahren

Die dargestellten Modellansätze und daraus abgeleiteten Modellverfahren sind geeignet, Grenzabladetiefen für vorgegebene Fahrzeuge und gewählte Schiffsgeschwindigkeiten für die Ausbaustrecke Straubing – Vilshofen zu prognostizieren. Die Methoden und zugehörigen Ergebnisse können im gewissen Umfang auch auf andere Flüsse übertragen werden. Dies betrifft insbesondere die fahrdynamischen Berechnungen. Die Aussagen hinsichtlich der Bettunebenheiten sind derzeit noch auf Erfahrungen in kiesführenden Flüssen und für Regelungsmaßnahmen, wie sie an Donau und Oberrhein eingesetzt wurdenn, beschränkt.

Die Übertragung der Ergebnisse hinsichtlich des Ansaugproblems auf andere Schiffstypen und andere Korngrößen als diejenigen, die hier untersucht wurden, bereitet derzeit noch die größten Schwierigkeiten. Dies betrifft, u.a. größere und stärker motorisierte Fahrzeuge, beispielsweise Schubschiffe, die größere Propellerdurchmesser und noch größere installierte Leistungen aufweisen als die des MS Mon Desir. Deshalb sind die hier abgeleiteten Fachaussagen zunächst beschränkt auf Großmotorschiffe und daraus gebildete Verbände.

Schriftenverzelchnis

Söhngen/Zöllner: Schiffahrtsversuche auf dem Dortmund-Ems-Kanal, Teil I; Absunk und Rückstrom bei Einzelfahrten; Teil II: Strömungsfeld bei Begegnungen und Porenwasserdruck; Binnenschiffahrt ZfB, Nr. 8, April und Nr. 9, Mai 1992 und HTG-Jahrbuch, 47. Band, 1992

Söhngen: Some topics concerning hydraulic and geotechnical design of waterways; Schoolnotes der 21st WEGEMT Graduate School, London 1994

Söhngen/Kellermann/Witte: Investigations concerning Danube river engineering works to improve navigation, restricted by requirements of water resources, flood control and ecology; ICERD-Conference, Budapest, April 1998

Söhngen: Fahrdynamische Modelluntersuchungen, Mitteilungsblatt der Bundesanstalt für Wasserbau Nr. 80, 1999

Zöllner: Fahrdynamische Untersuchungen der Versuchsanstalt für Binnenschiffbau e.V., Duisburg, zum Donauausbau Straubing – Vilshofen, Mitteilungsblatt der Bundesanstalt für Wasserbau Nr. 80, 1999

Physikalischer Modellversuch Donau-Isarmündung

Dr.-Ing. Bernd Roßbach Dipl.-Ing. Kiemens Kauppert¹

Veranlassung detaillierter physikalischer Modelluntersuchungen

In der insgesamt zu betrachtenden freifließenden Donaustrecke zwischen Straubing und Vilshofen ist der Bereich Isarmündung und der anschließende unterstromige Donauabschnitt für die Verbesserung der Schifffahrtsverhältnisse von besonderer Bedeutung.

Die mit den unterschiedlichen Abflussgeschehen von Isar und Donau heute noch verbundenen Eintragungen von Geschiebematerial, die in Wechselwirkung befindlichen flussbettbildenden Prozesse, die infolge großräumig wirkender Eingriffe in den Gesamtenergiehaushalt durch die Stauhaltungen fortschreitenden Veränderungen und die Nutzung als Wasserstraße sind in vorausschauender Weise zu analysieren.

Der Mündungsbereich der Isar in die Donau ist heute von einem Isarschüttkegel gekennzeichnet, der morphologisch veränderlich und rückstauend wirkend das Abflussgeschehen in Isar und Donau beeinflusst. Von dieser Situation ausgehend, der Behinderung und Gefährdung der Schifffahrt im Bereich dieser und anderer Engstellen mit geringer Fahrrinnenbreite und Fahrrinnentiefe, hoher Fließgeschwindigkeiten und Bereichen von Sohlbetterosionen und Anlandungen werden die hydrologischen und mor-

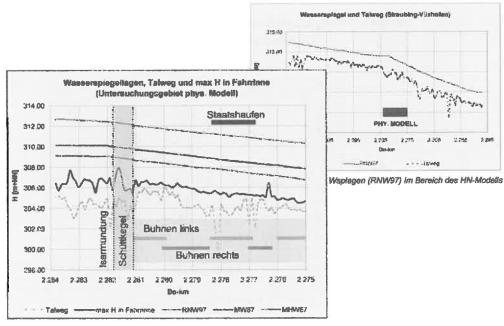


Bild 1: Wasserspiegel- und Sohllagen im Untersuchungsgebiet

phologischen Verhältnisse durch spezielle Naturerhebungen und -versuche, durch großräumige hydronumerische Modellbetrachtungen und aufwendige physikalische Modelluntersuchungen analysiert.

In ergänzender Einbindung in die Gesamtbetrachtung des Donauabschnitts Straubing-Vilshofen wurde in der BAW Karlsruhe für den Bereich Donau-Isarmündungsgebiet (Do-km 2.283,8 bis Do-km 2.275) ein geometrisch und physikalisch ähnliches Modell errichtet, mit dem detaillierte Aussagen zu den heutigen und möglichen künftigen hydraulischen Verhältnissen und zu verbessernden Schifffahrtsbedingungen getroffen werden können.

Mit der Kalibrierung des physikalischen Modells zu den heutigen hydraulischen Verhältnissen in der Natur ist ein Instrument für die Prognose von Verbesserungen und Auswirkungen flussbaulicher Maßnahmen nach den vorgegebenen Ausbauvarianten

Variante A: Optimierter Ist-Zustand und Variante C: 1-Stufenlösung gegeben.

Ausgehend von den heutigen Verhältnissen der Wasserspiegellagen im betroffenen Abschnitt (Bild 1) lassen sich, bezogen auf die vorgegebene Fahrrinne und die höchsten Punkte der Fahrrinnensohle, die für die Schifffahrt zu verbessernden Bereiche erkennen. Im Bereich des Isarschüttkegels

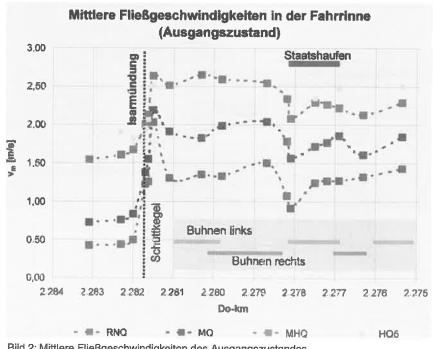


Bild 2: Mittlere Fließgeschwindigkeiten des Ausgangszustandes

wird die Schifffahrt sowohl durch eine verminderte Fahrrinnenbreite als auch durch eine verminderte Fahrrinnentiefe behindert. Darüber hinaus wird die insgesamt wasserspiegelstützende Wirkung dieses Flussabschnitts inkl. der Isarschüttkegelwirkung bewusst. Gleiches zeigt sich bei der Interpretation der mittleren Fließgeschwindigkeiten des heutigen Ausgangszustandes (Bild 2). Unmittelbar oberhalb der Isarmündung vermindern sich die mittleren Fließgeschwindigkeiten bei Niedrig- und Mittelwasserabfluss um die Hälfte.

Mit der Analyse der hydraulischen Verhältnisse des Ist-Zustandes, der Erhebungen zu den Sohl- und Kornverteilungsverhältnissen sowie den Abschätzungen zum Geschiebeund Schwebstofftransport sollen neben den hydraulischen Bewertungen auch Aussagen zur Morphologie vorbereitet werden.

Neben diesen, der Verbesserung der Schifffahrt dienenden Analysen werden die abiotischen Randbedingungen für eine ökologische Zustands- und Verhaltensbewertung erarbeitet. Sowohl ökologische Fragestellungen in den betrachteten Flussabschnitten von Donau und Isar, vor allem aber die Was-Fließgeschwindigund serspiegellagen keiten, sowie deren Änderungen in den Altarmen und Gräben in den Vorlandbereichen und Naturschutzgebieten der Isarmündung als auch im Donau-unterstromigen Naturschutzgebiet "Staatshaufen", können verhessert beantwortet werden.

Ablauf der Untersuchungen

Datenaufbereitung

Vor der eigentlichen Modellerstellung war eine umfassende Datenaufbereitung notwendig, wofür die vorhandenen Rohdaten in einem ersten Schritt zusammengetragen und

auf Plausibilität geprüft wurden. Die Eingangsdaten ließen sich in drei Hauptbereiche gliedern:

- 1. Topographische Daten
- 2. Hydrologisch-hydraulische Daten
- 3. Morphologisch/Sedimentologische Daten Zur Realisierung der geometrischen Ähnlichkeit wurde aus den topographischen Daten ein Digitales Geländemodell (DGM) erzeugt, das dann die Grundlage der naturgetreuen Nachbildung des Untersuchungsgebietes im Modell darstellt.

Die hydrologisch-hydraulisch und morphologisch/sedimentologischen Daten dienen dann unter Anwendung der Gesetzmäßigkeiten des wasserbaulichen Versuchswesens der Realisierung der physikalischen Ähnlichkeiten des Modells zur Natur.

Modellaufbau und messtechnische Ausstattung

Der Untersuchungsbereich des physikalischen Modells umfasst Do-km 2283,8 bis 2275,0 und die Isar von Fluss-km 2,4 bis zur Mündung. Im Vorland endet das Modellgebiet an den jeweiligen Hochwasserdeichen der Donau und Isar. Im Maßstab 1:80 ergibt



Bild 3: Blick auf das physikalische Modell oberstromig vom Modelleinlauf (Deggendorfer Hafen Richtung Isarmündung)

sich eine Modellänge von ca. 110 m (Donau) und eine Breite von bis zu 15 m. Die überbaute Fläche des Modells in der Halle VI der BAW Karlsruhe beläuft sich auf ca. 1.250 m². Neben den mit Ultraschall-Messgeräten ausgerüsteten, fest installierten Wasserspiegelmessstellen zur Aufnahme der Wasserspiegellage im Fluss und den Vorländern ist es wichtig, in repräsentativen Bereichen die Fließgeschwindigkeiten zu ermitteln. Die Verteilung der Fließgeschwindigkeiten im Querprofil wird mittels Laser-Doppler-Anemometrie (2D-LDV) berührungslos gemessen und dann über eine BAW-eigene Software zu Isotachendarstellungen weiterverarbeitet. Hierdurch wird ein Vergleich der Fließgeschwindigkeiten mit Naturmessungen und den einzelnen Varianten untereinander möglich. Die oberflächennahen Ge-



Bild 4: Blick auf das Modell im Rohbau (Umgrenzungsmauern, Blechprofile und Verfüllung im Vorlandbereich, Flußschlauch noch frei)

schwindigkeiten werden im Bereich des Isarschüttkegels flächig und in ausgewählten Zonen des Untersuchungsgebietes mit ei-

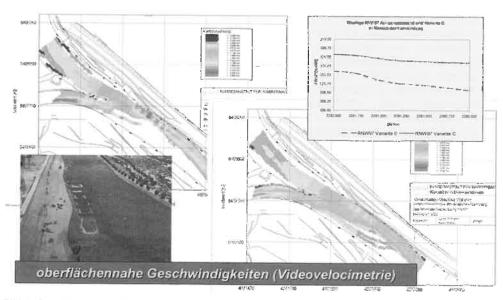


Bild 5: Oberflächennahe Geschwindigkeiten im Bereich der Isarmündung für den Ist-Zustand (links) und Variante C (rechts), Bild (unten links) von oberstrom auf die Schwellen und dazwischen liegende Kolke

nem Particle-Tracking-Verfahren aufgenommen. Die dadurch mögliche Auswertung der Bahnlinien der Schwimmerteilchen läßt die oberflächennahe Strömungssituation in den untersuchten Bereichen schnell erkennen und anschaulich darstellen. Damit können insbesondere für die bergfahrende Schifffahrt wichtige Schlussfolgerungen getroffen werden.

Einordnung physikalischer Modelluntersuchungen in die Gesamtbetrachtung

 Die physikalischen Modelluntersuchungen für den Bereich Donau-Isarmündungsgebiet sind ein fachlich komplexer und visuell überzeugender Beitrag zur Abwägung vielseitger und sensibler Einflussfaktoren im Rahmen einer sorgfältigen und verantwortungsbewussten Entscheidungsfindung.

 Ergänzung zu den hydronumerischen und fahrdynamischen Modelluntersuchungen

 Für den betrachteten Untersuchungsbereich werden mit den Untersuchungsvarianten

Variante A: Weitere Optimierung des Ist-Zustandesund

Variante C: 1-Stufen-Lösung hydraulische und verkehrswasserbauliche Entscheidungshilfen für die schifffahrtsorientierten Zielstellungen, als auch ökologische Bewertungen (Auswirkungen abiotischer Rändbedingungen) möglich.

 Prognostizierung der morphodynamischen Entwicklung über Geschwindigkeitsmessungen und Traceruntersuchungen.

Bildmaterial und Grafiken mit freundlicher Genehmigung der in den Fußnoten der Beiträge jeweils genannten Institutionen.

Herausgeber: Deutscher Wasserstraßen- und Schiffahrtsverein Rhein-Main-Donau e.V., Nürnberg

Druck:

Verlagsdruckerei Schmidt GmbH, Neustadt/Aisch

ISSN:

1433-1381

Schadenersatz für fehlerhafte, unvollständige oder nicht erfolgte Angaben ist ausgeschlossen.