PIANC•AIPCN Schifffahrt, Häfen, Wasserstraßen



30. Internationaler Schifffahrtskongress



Sydney / Australien (September 2002)

Deutsche Beiträge

Hafenbau

Verschiebungen horizontal belasteter, im Wasser stehender Pfähle

Prof. Dr.-Ing. Martin Achmus

Institut für Grundbau, Bodenmechanik und Energiewasserbau, Universität Hannover

Zusammenfassung:

Vor dem Hintergrund der Fallstudie einer kleinen Seebrücke an der Ostseeküste, an der große Horizontalverschiebungen aufgetreten sind, wird die Anwendbarkeit des Bettungsmodulverfahrens für die Abschätzung horizontaler Pfahlkopfverschiebungen untersucht. Durch Vergleich von Berechnungsergebnissen mit Finite-Elemente-Lösungen sowie mit den Ergebnissen von horizontalen Pfahlprobebelastungen wird nachgewiesen, dass eine grobe Abschätzung von Pfahlkopfverschiebungen hiermit möglich ist.

1 Einleitung

Im Wasser stehende Pfähle werden im Hafenbau vielfach eingesetzt, z. B. als Dalben oder als Gründungselemente von Brücken. Solche Pfähle werden durch Trossenzugkräfte, Wellen- oder Eislasten horizontal belastet.

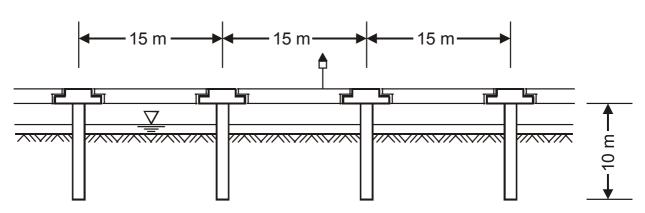
relativ teuer und daher für kleine Bauwerke oft nicht zweckmäßig sind.

Daraus resultiert die Frage, ob es eine geeignete Berechnungsmethode gibt, durch die bei angemessenem Aufwand zumindest eine grobe Abschätzung der Horizontalverschiebungen möglich ist. Das Bettungsmodulverfahren bietet sich als relativ einfache und in der Praxis für die Biegebemessung von Pfählen häufig eingesetzte und somit verfügbare Methode an.

Nach deutscher Normung müssen, wenn es auf die Größe von horizontalen Verschiebungen ankommt, entweder Pfahlprobebelastungen durchgeführt werden oder diesbezügliche Erfahrungen bei vergleichbaren Verhältnissen vorliegen. Nachfolgend wird auf der Grundlage der Fallstudie einer Seebrücke an der Ostseeküste, an der nach einem strengen Winter große horizontale Verschiebungen auftraten, untersucht, ob und inwieweit mit dem Bettungsmodulverfahren eine realistische Verschiebungsprognose möglich ist.

2 Fallstudie

In den Jahren 1991 und 1992 wurde an der deutschen Ostseeküste eine kleine Seebrücke errichtet. Die Länge dieser Brücke beträgt etwa 350 m und die Breite rd. 2,5 m.



Für schmale Brücken ist die Eislast oft die für die Bemessung maßgebende Horizontalbelastung der Gründungspfähle. Für solche Pfähle müssen – im Gegensatz zu Dalbenpfählen – die horizontalen Kopfverschiebungen begrenzt werden, um die Gebrauchstauglichkeit des Bauwerks zu gewährleisten. Es ist daher notwendig, die Größe der Verschiebungen möglichst genau abzuschätzen. Eine genaue Vorhersage ist im Grundsatz nur mittels Probebelastungen möglich, die aber

Bild 1 Seebrücke im Längsschnitt (Ausschnitt)

Die Brücke wurde auf Stahlrohrrammpfählen mit Außendurchmessern von rd. 71 bzw. rd. 76 cm gegründet, die in Längsrichtung in Abständen zwischen rd. 11 und rd. 15 m angeordnet wurden. Ein Längsschnitt der Brücke ist in Bild 1 dargestellt.

Der Baugrund im Bereich des Bauwerks besteht aus einer im Mittel rd. 1 m dicken Schicht aus Sand mit Muscheln, die von Geschiebemergel in steifer bis halbfester Konsistenz unterlagert wird. Die in einem geotechnischen Gutachten angegebenen Bodenkennwerte sind in Tabelle 1 zusammengestellt.

sungseislast von 300 kN zu weich war oder ob die aufgetretenen Verschiebungen auf das Auftreten wesentlich höherer Eislasten zurückzuführen waren

Bodenart	Schichtdicke	Wichte	Scherparameter		Steifemodul
	in m	γ ' in kN/m ³	φ' in °	c' in kN/m ²	E _S in MN/m ²
Sand mit Muscheln	1,0	9,0	28,0	0	7,5
Geschiebemergel (1)	2,0	12,3	30,0	9,0	20,0
Geschiebemergel (2)	> 6,0	12,3	32,0	10,0	25,0

Tabelle 1 Rechenwerte der Bodenkennwerte

Die Einbindetiefe der Pfähle beträgt zwischen rd. 6 und rd. 7 m. Mit einer Horizontalbelastung der Pfähle war hauptsächlich aufgrund von Eisdruck zu rechnen. Gemäß den deutschen Empfehlungen des Arbeitsausschusses Ufereinfassungen (EAU 1996) wird die Eislast H_i auf Pfähle mit Kreisquerschnitt nach der folgenden Gleichung berechnet:

$$H_i = 0.33 \,\sigma_0 \,D^{0.5} \,h^{1.1}$$
 ($H_i \, \text{in kN}$)

mit: σ_0 = Eisdruckfestigkeit in MN/m²,

D = Pfahlaußendurchmesser in cm,

h = Eisdicke in cm.

Die mittlere Druckfestigkeit von Ostseeeis kann gemäß EAU zu σ_0 = 1,8 MN/m² angenommen werden. Gemäß ebenfalls in der EAU angegebener Erfahrungswerte wurde die maximale Eisdicke für den entsprechenden Bereich der Ostseeküste mit h = 40 cm angesetzt. Damit wurde eine Bemessungseislast von H_i = 300 kN rechnerisch ermittelt.

Aufgrund von Erfahrungen mit ähnlichen Bauwerken wurde bei der Bemessung davon ausgegangen, dass die Steifigkeit der Pfahlgründung ausreichend war, um die Einhaltung eines zulässigen Werts der Pfahlkopfverschiebung von 10 cm zu gewährleisten. Eine diesbezügliche detaillierte rechnerische Untersuchung oder eine Pfahlprobebelastung wurde nicht vorgenommen.

Nach einem sehr harten Winter 1995/96 wurde festgestellt, dass die Brücke auf einer Länge von rd. 100 m große Horizontalverschiebungen aufwies. Die maximale Kopfverschiebung eines Pfahls betrug rd. 40 cm. Die Ursache dieser Verschiebung war offensichtlich Belastung durch Eisdruck, die Größe dieser Last und die zugehörige Eisdicke konnten aber nachträglich nicht festgestellt werden. Es war daher die Frage zu beantworten, ob die Pfahlgründung für die Bemes-

Der durchgeführten rechnerischen Analyse wurde das in Bild 2 dargestellte System des Pfahls mit der größten Kopfverschiebung von rd. 40 cm zugrunde gelegt.

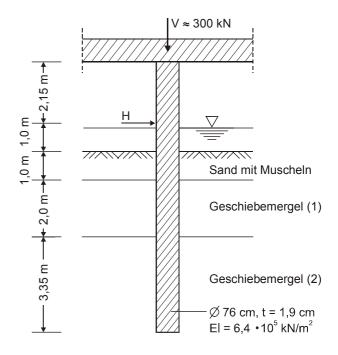


Bild 2 Querschnitt des Gründungspfahls mit der größten Kopfverschiebung

3 Berechnungsmethoden für horizontal belastete Pfähle

Während die Vorhersage horizontaler Pfahlverformungen nur auf Basis von Berechnungen nach deutschen Normen nicht zulässig ist, darf die Biegebemessung des Pfahls rein rechnerisch erfolgen. Zu unterscheiden sind folgende Methoden:

- Die "klassische" Methode mit vorgegebener Erdwiderstandsverteilung
- Methoden auf Basis der linearen Elastizitätstheorie
- "p-y"-Kurven-Methode
- Bettungsmodulverfahren
- Finite-Elemente-Methode

Die klassische Methode wird in Deutschland noch immer für die Bemessung von Dalbenpfählen benutzt. Es wird der auch bei der Berechnung eingespannter Spundwände eingesetzte Ansatz von BLUM verwendet. Bei einer theoretischen Einbindetiefe wird volle Einspannung des Pfahls angenommen. Der räumliche Erdwiderstand vor dem Pfahl wird wie die Horizontalkraft als äußere Belastung angesetzt. Die Einbindetiefe ergibt sich aus der Forderung des Momentengleichgewichts an diesem System (Bild 3).

mit einer Randelementemethode die Horizontalverschiebung eines Pfahls mit gegebener Geometrie und Steifigkeit berechnet werden (s. z. B. Poulos & Davis 1980). Nichtlineares Materialverhalten oder geschichteter Baugrund kann durch Näherungslösungen berücksichtigt werden, die Methode wird dann allerdings recht komplex.

Für die p-y-Kurven-Methode wird der Pfahl in einzelne Elemente unterteilt. Für jedes Element wird ein Zusammenhang von Bettungsdruck und Verschiebung, die p-y-Kurve, vorgegeben. Mit diesem Verfahren werden die Pfahlverschiebungen belastungs- und steifigkeitsabhängig ermittelt. Im Grundsatz handelt es sich bei dieser Methode um ein spezielles Bettungsmodulverfahren mit vorgegebenen, verschiebungsabhängigen Federsteifigkeiten (Bild 4).

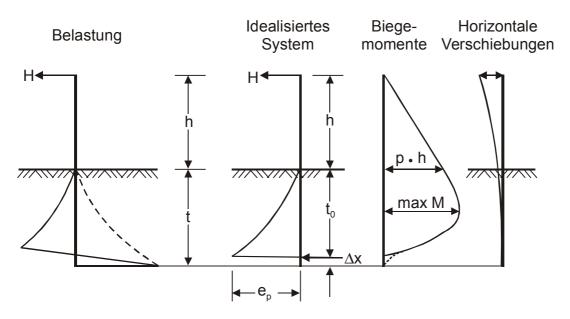


Bild 3 "Klassische" Berechnung von Dalbenpfählen

In einer Nachlaufberechnung können auch die horizontalen Verschiebungen ermittelt werden.

Diese Methode hat sich als für die Berechnung von Dalben geeignet erwiesen. Wegen des lastund verschiebungsunabhängigen Ansatzes der Erdwiderstandsverteilung ist sie aber für Verschiebungsprognosen nicht geeignet.

Methoden auf Grundlage der Elastizitätstheorie nutzen im allgemeinen die Mindlin-Gleichung, die den Zusammenhang der Verschiebungen im elastischen Halbraum aufgrund einer Einzellast formelmäßig angibt. Hiermit kann in Verbindung Hinweise für die Ableitung von p-y-Kurven für Sande und Tone sind in Det Norske Veritas (1977) und in API (1982) enthalten. Diese Kurven können aber natürlich nicht auf beliebige Bodenund Randbedingungen übertragen werden.

Beim Bettungsmodulverfahren wird die stützende Wirkung des Bodens durch horizontale Federn berücksichtigt. Das Problem dabei ist, dass das Verhalten benachbarter Federn voneinander unabhängig ist, d. h. die Kontinuität des Bodens wird nicht erfasst. Trotzdem darf die Methode nach deutschen Normen für die Pfahlbiegebemessung eingesetzt werden, wenn die Maximalverschiebung kleiner als 2 cm bzw. maximal 3% des

Pfahldurchmessers beträgt. Deshalb erscheint es logisch, die Eignung dieses Verfahrens für die Abschätzung von Pfahlverschiebungen zu untersuchen. Die Methode wird daher in Abschnitt 4 detailliert beschrieben.

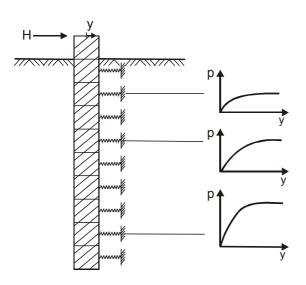


Bild 4 p-y-Kurven-Methode

Aus theoretischer Sicht ist die Finite-Elemente-Methode die genaueste Methode zur Modellierung des Interaktionsproblems Pfahl/Boden. Hier kann auch nichtlineares, elastoplastisches Materialverhalten des Bodens berücksichtigt werden. Die Methode ist allerdings sehr aufwendig, da ein dreidimensionales Modell generiert werden muss. Auch ist die Genauigkeit der Ergebnisse in der Praxis dadurch begrenzt, dass die zahlreichen Parameter eines komplexen Stoffgesetzes in aller Regel gar nicht ermittelt werden können.

Die Methode ist aber wertvoll für die Beurteilung der Ergebnisse des Bettungsmodulverfahrens, und hierfür wird sie nachfolgend eingesetzt. Es wird ein relativ einfaches Materialmodell angesetzt, das linear elastisches Verhalten bis zum Erfüllen des Bruchkriteriums nach MOHR-COULOMB und bei darüber hinaus gehender Beanspruchung ideal plastisches Verhalten simuliert.

4 Bettungsmodulverfahren zur Berechnung der horizontalen Pfahlverschiebungen

4.1 Allgemeines

Nach der deutschen Norm DIN 4014 darf das Bettungsmodulverfahren für die Biegebemessung horizontal belasteter Pfähle verwendet werden. Der Bettungsmodul darf für einzelne Bodenschichten näherungsweise zu

$$k_s = \frac{E_s}{D}$$

angesetzt werden (mit *D* = 1 m für Pfähle mit Durchmesser größer als 1 m). Bedingung ist außerdem, dass die Bettungsspannungen in jeder Tiefe die Erdwiderstandsspannungen nicht überschreiten. Zudem ist die Anwendung gemäß DIN 4014 auf Pfähle mit Kopfverschiebungen kleiner 2 cm bzw. kleiner als 3% des Durchmessers beschränkt.

Hier wird untersucht, ob diese Methode zumindest für die grobe Abschätzung auch größerer Pfahlkopfverschiebungen eingesetzt werden kann.

4.2 Erdwiderstandsansatz

Für die Bestimmung der maximal möglichen Bettungsdrücke muss der räumliche Erdwiderstand vor dem Pfahl berechnet werden. In der deutschen Norm DIN 4085 wird ein im wesentlichen auf Experimenten beruhender Ansatz angegeben. Die Abweichung des räumlichen vom ebenen Erdwiderstand wird darin durch Formfaktoren μ erfasst, welche von der auf den Durchmesser bezogenen Tiefe z/D abhängen. Für die Erdwiderstandsspannungen $spa\ e_{ph}$ in der Tiefe z können daraus die folgenden Gleichungen abgeleitet werden:

$$spa\,e_{ph} = \sum \gamma_i \Delta z_i k_{pgh} \overline{\mu}_{pgh} + c' k_{pch} \overline{\mu}_{pch}$$

mit:
$$\overline{\mu}_{pgh} = \begin{cases} 1 + 0.45z/D & \text{für } z/D < 3.33 \\ 1.3688\sqrt{z/D} & \text{für } z/D \ge 3.33 \end{cases}$$

$$\overline{\mu}_{pch} = \begin{cases} 1 + 1,80z/D & \text{für } z/D < 3,33\\ 3,2865\sqrt{z/D} & \text{für } z/D \ge 3,33 \end{cases}$$

Hierin sind k_{pgh} und k_{pch} die Erdwiderstandsbeiwerte für Eigengewicht und Kohäsion im ebenen Fall. γ_i und Δz_i sind die Wichten und Mächtigkeiten der Bodenschichten oberhalb des betrachteten Punktes, d. h. $\Sigma \gamma_i \Delta z_i$ ist die effektive Vertikalspannung in diesem Punkt.

4.3 Berechnungsschema

Der Pfahl wird in finite Balkenelemente unterteilt. Die Berechnung nach dem Bettungsmodulverfahren erfolgt iterativ. Zunächst werden die Bettungsmoduln schichtweise konstant gemäß der

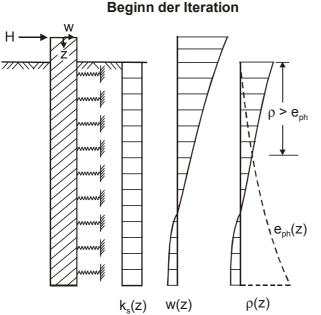
Gleichung $k_s = E_s$ /D festgelegt. Wenn sich aus der Berechnung Bereiche ergeben, in denen der (gemäß Abschnitt 4.2 berechnete) Erdwiderstand überschritten wird, dann wird der Bettungsmodulverlauf korrigiert und eine Neuberechnung vorgenommen. Die Iteration wird fortgesetzt, bis durch entsprechende Anpassungen des Bettungsmodulverlaufs in jeder Tiefe der Bettungsdruck kleiner als der oder gleich dem Erdwiderstand ist. Außerdem ist zu beachten, dass der Wandreibungswinkel so gewählt ist, dass das Gleichgewicht der Vertikalkräfte am Pfahl erfüllt ist. Dies erfordert ebenfalls eine iterative Anpassung.

Die Vorgehensweise verdeutlicht die Darstellung in Bild 5. Wird die Berechnung für verschiedene Lasten ausgeführt, so lässt sich eine (nichtlineare) Kraft-Verschiebungskurve ermitteln.

4.4 Vergleich mit einer Finite-Elemente-Lösung

Für die Beurteilung des oben beschriebenen Bettungsmodulverfahrens (BMV) wurde ein Pfahl in homogenem Sandboden einmal mit diesem Verfahren und einmal mit der Finite-Elemente-Methode (FEM) berechnet. Für die FEM war ein dreidimensionales Modell zu generieren. Das Bodenverhalten wurde mit einem linear elastisch – ideal plastischen Stoffgesetz mit Bruchkriterium nach MOHR-COULOMB und assoziierter Fließregel modelliert. Für dieses relativ einfache Stoffgesetz werden vier Parameter benötigt, nämlich der Elastizitätsmodul E und die Querdehnzahl v und die Scherparameter φ' (Winkel der inneren Reibung) und c' (Kohäsion).

Letzte Iteration



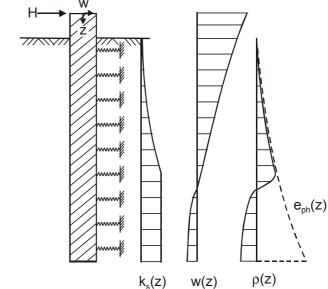


Bild 5 Berechnung mit dem Bettungsmodulverfahren

Für die Pfahlbemessung, d. h. die Bestimmung der erforderlichen Einbindetiefe und der Biegemomente, wird der Erdwiderstand üblicherweise durch einen Sicherheitsfaktor abgemindert. Für die Berechnung von Verschiebungen ist dies aber nicht sinnvoll, da hier die tatsächlich im Boden wirkenden Spannungen zu betrachten sind.

Für den Sand wurden die Parameter zu v = 0.3, $E_{\rm S}$ = 80 MN/m² ($E=E_{\rm S}(1-v-2v^2)/(1-v)$), φ '= 35° und c'= 0 angenommen.

Es wurden Berechnungen für einen 5 m und einen 10 m langen Pfahl, jeweils mit einem Durchmesser von 1 m, ausgeführt. Das System und die berechneten Last-Verschiebungskurven sind in Bild 6 dargestellt.

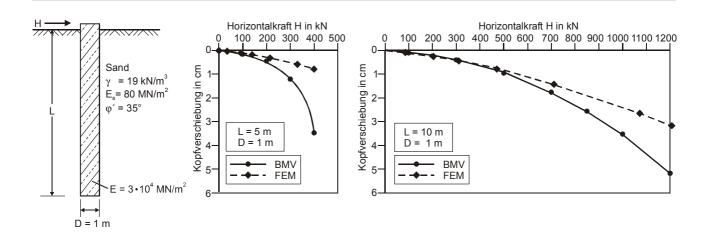


Bild 6 System und Last-Verschiebungskurven für Pfähle D=1 m, L=5 m und L=10 m

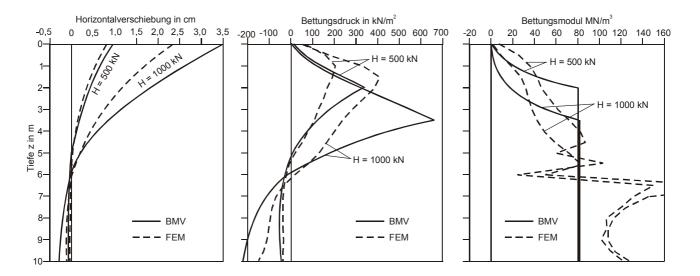


Bild 7 Ergebnisse für einen Pfahl D=1 m, L=10 m für H=500 kN und H=1000 kN

Unterstellt man, dass die Finite-Elemente-Lösung exakt ist, so ergibt sich, dass die Verschiebungen beim Bettungsmodulverfahren überschätzt werden. Dies gilt in besonderem Maße für den kurzen Pfahl (L= 5 m, L/D = 5).

Für den langen Pfahl (L= 10 m) sind die Verschiebungs-, Bettungsdruck- und Bettungsmodulverläufe für zwei Laststufen in Bild 7 wiedergegeben. Die Kurven verdeutlichen, dass die Bettungsdrücke im oberen Pfahlbereich vom BMV etwas unterschätzt und im mittleren Pfahlbereich überschätzt werden.

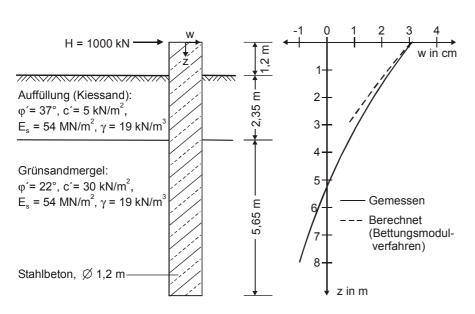
Die Rückrechnung der Bettungsmoduln aus den FEM-Ergebnissen zeigt, dass die Moduln bis zum Drehpunkt des Pfahls nahezu linear zunehmen und dass sie unterhalb dieses Punktes deutlich höher sind als für das BMV angesetzt.

Dennoch kann – auch wenn die Ergebnisse natürlich nicht verallgemeinert werden können – festgehalten werden, dass zumindest für den längeren Pfahl mit L/D=10 eine grobe Abschätzung der Pfahlkopfverschiebung mit dem beschriebenen Bettungsmodulverfahren möglich erscheint. Für das dargestellte Beispiel ergeben sich zu gro-

ße Verschiebungen, d. h. die Methode führt hier zu "auf der sicheren Seite liegenden" Ergebnissen.

4.5 Vergleich mit dem Ergebnis einer Pfahlprobebelastung

Zur ergänzenden Bewertung des verwendeten Bettungsmodulverfahrens wurde eine von Wittke et al. (1974) dokumentierte Pfahlprobebelastung nachgerechnet. Es handelte sich dabei um einen Großbohrpfahl D=1,2 m mit einer Länge von 8 m in geschichtetem Boden (Kiessand über Grünsandmergel).



5 Ergebnisse für die Seebrücke

Für den Gründungspfahl der Seebrücke an der Ostseeküste (Bild 2) wurde die Last-Verschiebungskurve für eine Belastung in Höhe des Wasserspiegels (z. B. Eisdruck) mit dem in Abschnitt 4 beschriebenen Bettungsmodulverfahren berechnet

Um eine Abweichung der Bodenkennwerte von den in Tabelle 1 angegebenen Werten zu erfassen, wurden zusätzliche Berechnungen mit um 10% erhöhten bzw. reduzierten Scherparametern und Steifemoduln ausgeführt. Die für den Pfahl-

> kopf ermittelten Last-Verschiebungskurven sind in Bild 9 dargestellt. Zum Vergleich sind außerdem die Ergebnisse einer Finite-Elemente-Berechnung (für die Bodenkennwerte gemäß Tabelle 1) angegeben.

Bild 8 Vergleich von gemessenen und berechneten Verschiebungen für eine von Wittke et al. (1974) dokumentierte Pfahlprobebelastung

Wittke et al. geben die Horizontalverschiebungen des Pfahls im oberen Bereich unter einer Horizontallast von 1000 kN an. Die Verschiebungen wurden mit dem Bettungsmodulverfahren unter Verwendung der von Wittke et al. angegebenen Bodenkennwerte berechnet.

Das System sowie die gemessenen und die berechneten Verschiebungen sind in Bild 8 dargestellt. Für die Pfahlkopfverschiebung ergibt sich eine gute Übereinstimmung von Messung und Berechnung.

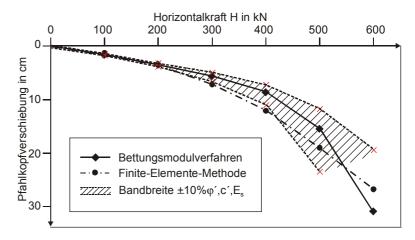


Bild 9 Berechnungsergebnisse für den Gründungspfahl gemäß Bild 2

Die Finite-Elemente-Berechnung ergibt hier etwas größere Verschiebungen als das Bettungsmodulverfahren. Aus beiden Methoden ergibt sich aber, dass für die Bemessungseislast von rd. 300 kN eine Pfahlkopfverschiebung zwischen rd. 6 und 8 cm zu erwarten gewesen wäre, d. h. in jedem Fall weniger als der zulässige Wert von 10 cm. Daraus kann gefolgert werden, dass die gemessene Maximalverschiebung von rd. 40 cm durch eine deutlich höhere Eislast verursacht worden sein muss. Nach den Berechnungsergebnissen dürfte eine Kraft größer als 500 kN gewirkt haben. Im Herbst 2000 wurde die Seebrücke saniert. Im Rahmen des Geraderichtens der Pfähle wurde an einem Pfahl ein Belastungstest ausgeführt. Die Systemgeometrie dieses Pfahls und die Ergebnisse des Belastungstests sind in Bild 10 wiedergegeben.

Die über ein Zugseil aufgebrachte Horizontalkraft wirkte etwa 1,8 m über dem Wasserspiegel. Zum Geraderichten war eine Zugkraft von rd. 480 kN erforderlich.

Eine Rückrechnung dieses Belastungstests mit dem Bettungsmodulverfahren ergibt eine gute Übereinstimmung mit der Messung (Bild 10). Hierdurch wird die Anwendbarkeit dieses Verfahrens für die Abschätzung von Pfahlkopfverschiebungen nochmals bestätigt.

6 Zusammenfassungs und Schlußfolgerungen

An einer kleinen, auf Stahlrohrpfählen gegründeten Seebrücke an der Ostseeküste wurden nach einem strengen Winter horizontale Pfahlkopfverschiebungen von bis zu 40 cm festgestellt. Es war die Frage zu beantworten, ob dies durch unerwartet hohe Eisdrucklasten oder aber durch nicht ausreichende Steifigkeit der Gründung für die nach Erfahrungswerten angesetzte horizontale Bemessungslast verursacht wurde.

Vor diesem Hintergrund wurde untersucht, ob das relativ einfach anzuwendende Bettungsmodulverfahren geeignet ist, um zumindest eine grobe Abschätzung der Pfahlkopfverformungen zu liefern. Ein spezielles Verfahren wird vorgestellt, bei dem durch ein Iterationsverfahren sichergestellt wird, dass die Bettungsspannungen an keiner Stelle die Erdwiderstandsspannungen überschreiten. Durch Vergleich mit Ergebnissen der Finite-Elemente-Methode sowie durch Nachrechnung einer Pfahlprobebelastung wird gezeigt, dass eine solche grobe Abschätzung mit dem beschriebenen Verfahren möglich ist.

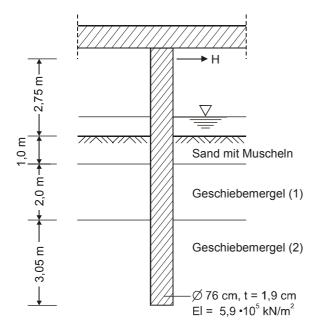
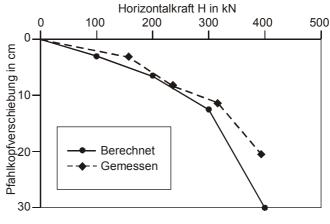


Bild 10 System und Ergebnisse der Pfahlprobebelastung



Die Berechnung des Gründungspfahls der Seebrücke mit der Methode sowie zusätzlich mit der Finite-Elemente-Methode belegt, dass die festgestellten Verschiebungen durch wesentlich höhere Eislasten als erwartet verursacht worden sein müssen. Schließlich wird auch gute Übereinstimmung von Messung und Berechnung mit dem Bettungsmodulverfahren für einen im Rahmen der Sanierung der Brücke ausgeführten Belastungstest festgestellt.

Obwohl eine Verallgemeinerung dieser Ergebnisse für beliebige Rand- und Baugrundbedingungen natürlich nicht zulässig ist, kann festgestellt werdass das hier beschriebene den. tungsmodulverfahren ein gutes Werkzeug für die Abschätzung von Pfahlkopfverschiebungen horizontal belasteter Pfähle zu sein scheint.

7 Literatur

API 1982. Recommended practice for Planning, Designing and Constructing fixed offshore platforms. American Petroleum Institute, Washington D.C.

Det Norske Veritas 1977. Rules for the Design, Construction and Inspection of offshore Structures, Appendix F: Foundations. Det Norske Veritas. Oslo.

EAU 1996. Empfehlungen des Arbeitsausschusses Ufereinfassungen, Häfen und Wasserstraßen. Ernst & Sohn, Berlin.

Poulos., H.G., Davis, E.H. 1980. Pile Foundation Analysis and Design. Wiley and Sons, New York.

Wittke, W., Spang, J., Rodatz, W., Semprich, S. 1974. Bemessung von horizontal belasteten Großbohrpfählen nach der Methode Finiter Elemente. Bauingenieur 49, p. 219-226.

Schlagworte:

Horizontal belastete Pfähle Bettungsmodulverfahren Seebrücke

Verfasser:

Prof. Dr.-Ing. Martin Achmus, Institut für Grundbau, Bodenmechanik und Energiewasserbau, Universität Hannover Appelstr. 9A, 30167 Hannover

Tel.: 0511 762-4155

e-mail: achmus@igbe.uni-hannover.de

Unterhaltungsstrategien

Ein integriertes System zur Optimierung von Unterhaltungsarbeiten bei Hafenbauwerken und Hafenflächen unter Anwendung moderner Kommunikationselemente

Dr-Ing. Hans-Dieter ClasmeierNiedersächsisches Hafenamt Ems-Dollart

Dipl.-Ing. Ingo Wasserthal Intergraph Germany

Christian Zeidler

Informationstechnik Consulting Forschung GmbH

1. Einführung

Das Bundesland Niedersachsen mit einer Küstenlinie von rd. 600 km und den Flussmündungen von Elbe, Weser und Ems verwaltet einige der bedeutendsten Seehäfen an der deutschen Nordseeküste. Die vier wichtigsten Häfen sind:

Cuxhaven an der Elbemündung Brake im Bereich der Unterweser Wilhelmshaven an der Jade und Emden am Ems-Dollart Ästuar. Insgesamt wurden in den niedersächsischen Häfen im Jahre 2001 rund 55 Mio. to Umschlag getätigt. Hervorzuheben sind der Umschlag von Erdöl und Erdölderivaten in Wilhelmshaven (rd. 40 Mio.to/a), die Bedeutung von Cuxhaven für den Transit und den Umschlag zu den Häfen nach Nord- und Osteuropa sowie Brake für den Umschlag von Futtermitteln und Getreide und Stahlprodukte.

Der Hafen von Emden ist der Größte von ihnen bezüglich der Ausdehnung der Hafenflächen und der einzige, der alle Arten von Umschlag aufzunehmen in der Lage ist. Im Kraftfahrzeugumschlag zählt er weltweit zu den Hubports.

Die Hafenverwaltungen sind vereint unter dem Wirtschaftsministerium des Landes Niedersachsen. Sie weisen alle eine gleichgeartete Verwaltungsstruktur auf. Zur Einführung und Nutzung moderner Technologien in Hafenbetrieb, Hafenunterhaltung und Hafenverwaltung ist jeder Hafen aufgefordert, in einem bestimmten Bereich eine Pilotfunktion zu übernehmen. Die Hafenverwaltung in Emden hat die Herausforderung angenommen, ein System zur Optimierung von Planungs- und Unterhaltungsprozessen im Hafenbau zu entwickeln.

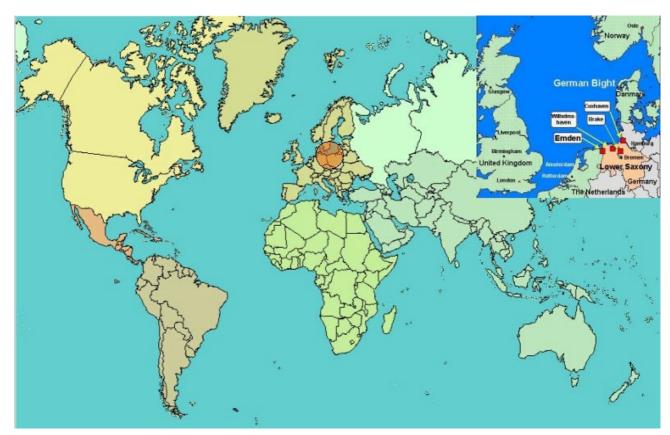


Bild 1: Die Häfen in Niedersachsen

2. Der Seehafen von Emden, das Eingangsportal Ostfrieslands zur Weltwirtschaft

Der Hafen Emden befindet sich im Ems-Dollart Ästuar direkt an der deutsch-niederländischen Grenze. Die Zufahrt zum Hafen Emden ist für Seeschiffe bis rd. 80.000 dwt Tragfähigkeit bei einem Tiefgang von 35 ft. unter Ausnutzung der Tidewelle durch das Emder Fahrwasser möglich. Der innere Hafen geschieht durch die 120 Jahre alte kleine Nesserlander Schleuse oder durch die Anfang des 20. Jahrh. gebaute "Grossen Seeschleuse".

Produktion der Volkswagen/Audi Gruppe bekannt. Nahezu 1,0 Mio. Autos wurden dort 2001 umgeschlagen. Andere wichtige Umschlaggüter sind Container (100.000 TEU), Forstprodukte (1,0 Mio. to) und flüssige Kreide (1,0 Mio. to). Der Gesamtumschlag im Jahre 2001 betrug etwa 5,0 Mio. to.

Die Verwaltung des niedersächsischen Hafens Emden befindet sich ebenfalls in Emden. Hafenkapitän, Hafenplanung und –unterhaltung, Hafenbetrieb und klassische Verwaltung sind dort angesiedelt.

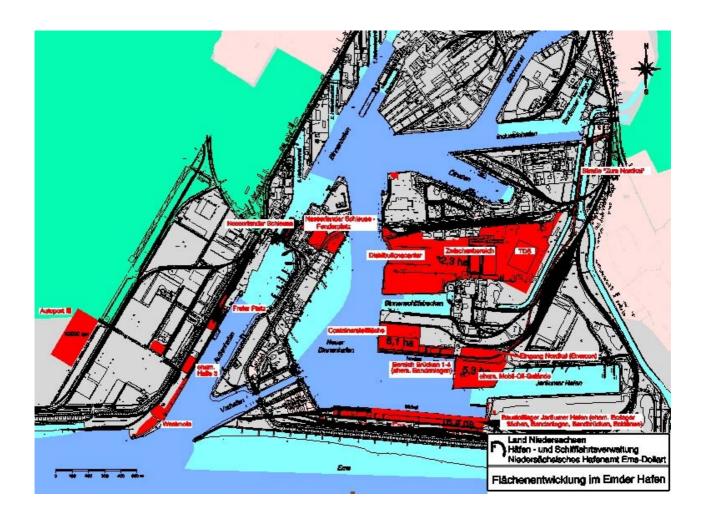


Bild 2: Überblick über den Hafen Emden

Ein Hafengebiet von etwa 20 km² mit mehr als 20 km Kai- und Pieranlagen sowie Böschungen und Uferbefestigungen ermöglicht den Umschlag von mehr als 15 Mio. to/a. Hierzu müssen die 35 vorhandenen Liegeplätze genutzt werden.

Der Hafen Emden ist weltweit als der Hub-Port für den Umschlag von Fahrzeugen aus der

Etwa 400 Mitarbeiter, vom Hafenarbeiter bis zum Ingenieur und Kapitän bemühen sich, den Hafen in gutem Zustand zu erhalten und einen reibungslosen Umschlagbetrieb zu ermöglichen. Hierzu benötigen sie eine Vielzahl der verschiedensten Informationen.

Unterhaltungsstrategien

Ein integriertes System zur Optimierung von Unterhaltungsarbeiten bei Hafenbauwerken und Hafenflächen unter Anwendung moderner Kommunikationselemente

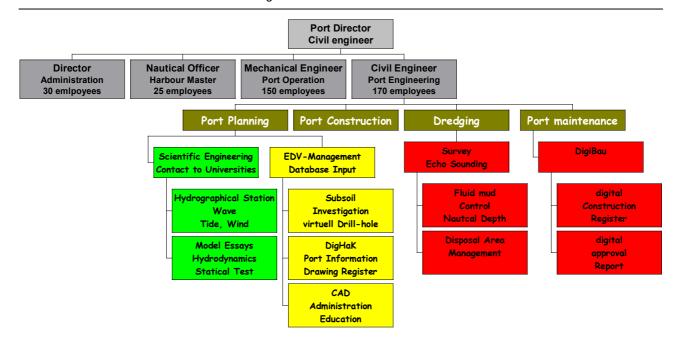


Bild 3: Organigramm der Hafenverwaltung Emden (Bau- und Planungsabteilung)

Aber auch die Hafennutzer benötigen viele Informationen, wenn sie einen wirtschaftlichen Umschlag erzielen wollen. Sie fragen nach freien Lagerflächen und Hallenkapazitäten genauso wie nach der Lage und der Ausstattung der verschiedenen Terminals, um entsprechend akquirieren zu können.

Mehr als 40 km Straße, 75 km Gleisanlagen, viele Brücken, teilweise beweglich, rd. 20 km Uferbauwerke in den verschiedensten Konstruktionen, Deichscharte als Verbindung zwischen Liegeplatz und rückwärtigen Lagerflächen müssen unterhalten werden. 200 ha Wasserflächen sind regelmäßig zu peilen und mit Nassbaggergeräten auf die notwendige Tiefe zu bringen.

Diese Betriebsprozesse erfordern, wenn sie optimal ablaufen sollen, eine sehr komplexe Verwaltungsstruktur, wie sie im Bild 3 vereinfacht dargestellt ist. Doch für die weiteren Erläuterungen des Hafeninformationssystems sind nur die Bereiche Hafenplanung und Hafenunterhaltung von Wichtigkeit.

3. Das digitale Hafenkataster DigiHaK mit Informationen zur Erleichterung der Hafenplanung und Hafenunterhaltung

Heute haben die meisten der großen Seehäfen Informationssysteme zur Lenkung des Seeverkehrs (Vessel Traffic System; VTS) oder zur Erhöhung der Sicherheit und der Optimierung von Umschlagprozessen (Port Operation System; POS). Aber nur wenige Häfen verfügen über ein modernes System zur Erleichterung der täglichen Planungs- und Unterhaltungsprozesse der Hafenbauwerke und -flächen.

Um die Planungs- und Unterhaltungsarbeiten zu optimieren ist in den letzten drei Jahren im Hafen Emden ein System eingerichtet worden, das jederzeit vielfältige Informationen über den Status von Bauwerken, Straßen, Gleisanlagen und Wasserwegen zu geben in der Lage ist.

Dieses System ist DigiHaK (**Digi**tales **Ha**fen**k**ataster) genannt worden. Es ist im klassischen Sinne ein geographisches Informationssystem. Wenn es komplett aufgebaut ist, wird es über sechs große Informationsblöcke verfügen:

- geographische Informationen über Nutzer und Pachtnehmer, 3-D Landschaftsmodell, hydrographische und meteorologische Daten
- 2. Status der Oberfläche verschiedener Bereiche wie z.B. Grünflächen, Bäume, Straßenbeläge, Gleisquerschnitte, Terminal- und Lagerplatzbefestigungen
- Darstellung von Hafenbauwerken wie Ufermauern, Brücken, Schleusen, Böschungen, Deichen u.ä. und Zusammenfassungen aller Details in einer Datenbank.
- Zustandsbeschreibung eines Bauwerks; Wann ist die nächste Überwachung notwendig? Wie ist die Verformung einer Spundwand? u.ä.

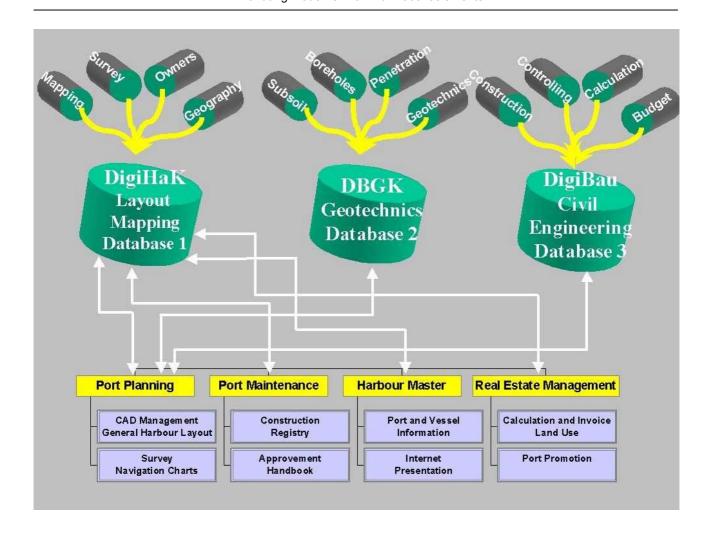


Bild 4: Daten zur Hafeninformation und ihre Nutzer

- Darstellung des Baugrundes im Hinblick auf die Schichtdicken, bodenmechanischen Kennwerte, Bohr-, Sondier- und Rammprotokolle, dreidimensionales Untergrundmodell etc
- Ergebnisse von Echolotaufnahmen in Wasserstraßen und Hafenbecken.

Jeder dieser Informationsblöcke hat eine eigene Anwendergruppe. Diese hat jeweils ihre spezifischen Fragen für die täglichen Aufgaben. Und jede hat den Anspruch auf einen anderen Detaillierungsgrad.

4. Die Grundlage für ein geographisches Informations System (GIS)

In der Vergangenheit benötigten die Hafenverwaltungen eine Vielzahl von Zeichnungen, Konstruktionsübersichten usw., um beispielsweise die Lage eines Pollers zu bestimmen.

Es erforderte Feldaufnahmen, Rückübertragungen in die Zeichnung und letztlich Darstellung des Pollers an der richtigen Position. Häufig wurde er aber nicht korrekt plaziert.

Heute sind wir dank der Hilfe von CAD Systemen und der Satellitennavigation in der Lage, den Poller sofort richtig in unserer Zeichnung anzuordnen. Es benötigt hierzu nur noch eines Mouse-Clicks. Das Note-Book und der DGPS Empfänger sind die einzigen Hilfsmittel.

Doch dazu wird eine exakte digitale Landkarte auf dem Computer benötigt. In Deutschland ist hierfür die von der Katasterverwaltung bereitgestellte ALK (Automatisierte Liegenschaftskarte) die Grundlage. Sie ist in das CAD System mittels eines EDBS Übersetzer zu integrieren. EDBS steht hierbei für den Begriff Einheitliche Datenbank Schnittstelle. Damit wird die Generierung einer Karte im Gauß-Krüger-Format möglich, um letzt-

lich jedem Punkt seine Koordinaten zuordnen zu können. Doch diese Karte beinhaltet nur Feldnamen und Grenzen. Geomorphologische Details, wie Böschungen oder Straßenränder fehlen in dieser Karte. Sie wird deshalb auch häufig Spaghetti-Graphik genannt. Es existieren keinerlei Informationen über Straßen, Rohrleitungen, Bäche oder ähnlichem.

seine speziellen Informationen Bescheid weiß. Der Vektor mit der roten gepunkteten Linie in Stärke 3 auf der Zeichnungsebene 11 weiß genau, dass er die Achse einer Straße darstellt. Mit diesem Wissen kann er eine Verknüpfung zur Datenbank erhalten. Weitere Informationen, z.B. zur Straße können dann in die Datenbank geschrieben werden.

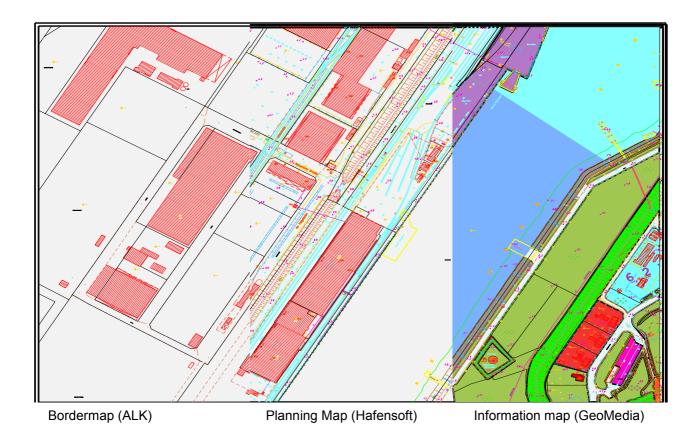


Bild 5: Drei Schritte zur Hafenkarte

Wie gelangen wir nun an diese Informationen? Der einfachste aber auch ungenaueste Weg ist die Übernahme von alten Papierzeichnungen durch Scannen und georeferenzieren. Anschließend wird diese Rasterzeichnung hinter eine ALK Vektorzeichnung gelegt. Dies kann die Grundlage für eine GIS Zeichnung sein, in die weitere Informationen eingebracht werden.

Der bessere aber auch teurere Weg ist jedoch die Generierung einer eigenständigen Vektorzeichnung auf der Grundlage einer Luftbildvermessung durch Laserscanning. Das Luftbild wird sauber ausgewertet und gibt letztlich den Hintergrund für eine exakte Darstellung der Oberfläche.

Die weitere Verwendung der Information in einem GIS System erfordert aber, das jeder Vektor über

Bei der Nutzung dieses Systems ist es hilfreich, die einzelne Zeichnung nicht zu überladen. In der virtuellen Welt ist es einfach, eine weitere Zeichnung anzulegen, die nur über wenige Informationen verfügt, die aber schnell aus- oder zugeschaltet werden kann. Zweckmäßig ist es, Informationen in speziellen Gruppen wie; Bahnanlagen, Straßen, Fahrwasser oder Kaimauern zu sammeln.

Wichtig ist, daß es möglich wird, sogenannte Oberflächen in einer Zeichnung zu schaffen. Es ist nicht ausreichend, nur die Straßenränder darzustellen, sondern die Straßenfläche ist hier wichtig. Hierzu ist die Flächenbildung notwendig. Die Flächen müssen ihre eigenständige Farbe erhalten.

Dann können Fragen generiert werden wie: :

Zeige alle Straßen auf denen Verkehrslasten zulässig sind , die 40 kN/m² erreichen?

und die Zeichnung gibt eine Auskunft darüber.

Der Lageplan des Hafens (Bild 2) und des Container-Packing-Centers (Bild 6) sind aufgrund solcher Fragestellungen generiert worden.

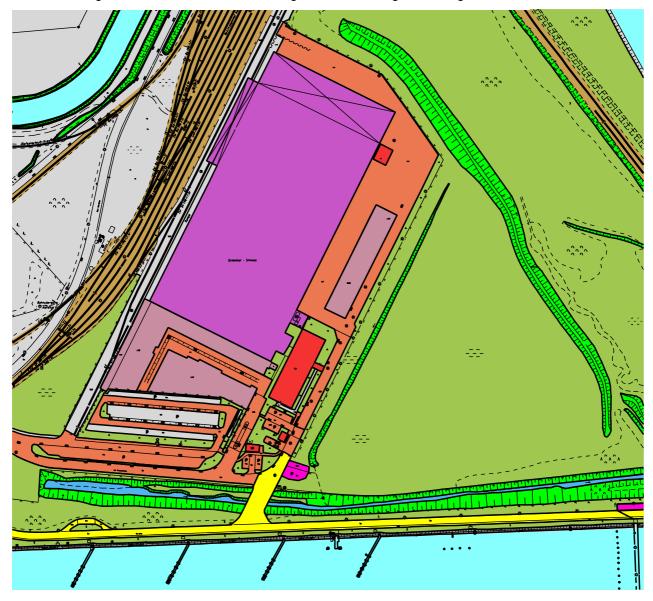
Dieser erste Schritt ist vielleicht der wichtigste beim Aufbau eines guten GIS Systems. Natürlich hängt die Qualität des Systems ganz wesentlich davon ab, was vorher in die Datenbank des Systems eingegeben wurde.

5. Die Datenbank und das Data Warehouse:

Eine gute Auskunft kann nur erteilt werden, wenn im Vorwege eine Vielzahl von Informationen vereinbart wurden. Diese Informationen werden in der GIS Welt **Features** genannt und beinhalten im Hafengeschehen z.B. (Poller, Fender, Straßenoberflächen, Schienen und Weichen, Kabel, Rohrleitungen u.a.).

Zu jedem dieser Features werden weitere Informationen erforderlich (z.B. Pollerhersteller, zulässige Belastung, Material, Einbaudatum u.ä.). Alle Informationen werden in Daten Warenhäusern (Data Warehouses) gesammelt, aus denen sie bei Bedarf abgerufen werden können. Eine übergeordnete Datenbank sorgt dafür, dass es nicht zu Redundanzen kommt. Jedes der Data Warehouses ist daher verbunden mit der Hauptdatenbank.

Bild 6: Bildung von Oberflächen zur Darstellung verschiedenartiger Nutzungen



Eine Hafendatenbank ist ein sehr komplexes Gefüge. Zunächst müssen auf einfachem Wege schnell einfache Ergebnisse erzielt werden können. Doch dieses System muß leicht erweiterbar sein, denn die künftigen Fragen sind schon vorgeprägt. Die Verbindung zu anderen Datenbanken muß möglich sein.

und Features konnten in den Datenbanken Oracle und Access gespeichert werden. Informationen zu den Bauwerken werden in einer eigenständigen durch das NHA modifizierten Access Datenbank gespeichert.

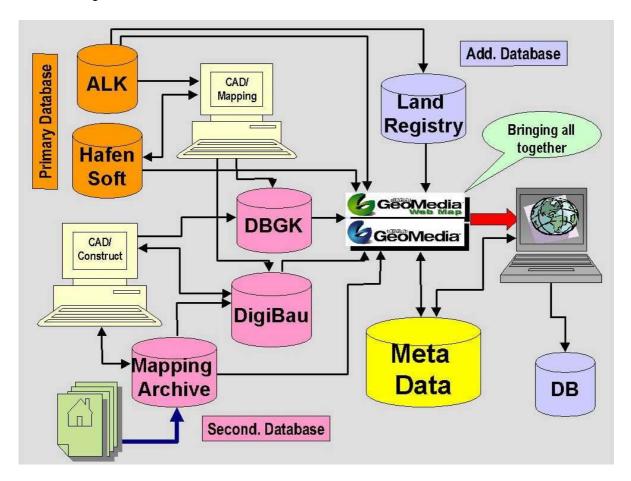


Bild 7: Die verschiedenen Datenbanken und ihre Verbindungen zu den Nutzern

Der Hafeningenieur wird in den meisten Fällen nicht in der Lage seine, eine eigenständige Datenbank zu entwickeln. Er wird sich professionelle Hilfe holen, um die Software richtig zu gestalten. Es gibt einsetzbare Software auf den Markt, doch diese wird jedem Hafen anzupassen sein. Jeder Hafen hat seine eigenen Fragen und will seine eigenen Antworten.

1993 wurde im Hafen Emden entschieden, die CAD Software MicroStation einzusetzen, sie war die einzige UNIX fähige CAD Software zu der Zeit. Damit war die weitere Entwicklung vorgegeben. Unter Nutzung dieser Software und einer Luftbildbefliegung konnte 1999 eine Hafenkarte im Maßstab M:1 1000 aufgebaut werden. Alle Daten

Für den Aufbau einer GIS Plattform Hafen galt als Wahlspruch; ein einfaches System, welches einfach zu bedienen ist, für einfache Fragen von einfachen Nutzern.

Spezielle Fragen werden nur auf Anforderung von speziell ausgebildeten Datenbank Spezialisten beantwortet.

Die GIS Plattform muß im Internet und auch im Intranet aufgerufen werden könne. Dabei stellt das Intranet den ersten Schritt dar. Ergebnisse können bald dargestellt werden.

Hierzu ist die GIS Plattform GeoMedia eine gute Lösung. Die im weiteren dargestellten Bilder basieren zum Teil auf GeoMedia Ergebnissen.

6. Erste Ergebnisse

DigiHaK (Digitales Hafenkataster):

Seit dem Frühjahr 2002 ist DigiHaK im NHA Ems-Dollart weitestgehend eingeführt. Die Gesamtfläche des Hafens mit allen Einzelheiten (Features) wie Poller, Steigeleitern, Fendern, Straßen, Gleisanlagen usw. ist digital als Vektorgraphik abgebildet. Im nächsten Schritt müssen diesen Features Informationen angehängt und im Data-Warehouses gespeichert werden. Verschiedene Bereiche sind bereits gefüllt.

Eine Spezialsoftware ist in der Lage, die abgegebenen Unterlagen auf Konformität mit dem Hafenmodell zu prüfen.

DigiBau (Digitales Bauwerksbuch):

DigiBau war das erste Werkzeug, welches in Betrieb genommen werden konnte. Die Entwicklung begann im Jahre 2000, nachdem im Vorwege viele Einzelheiten zu klären waren. Insgesamt sind für den Hafen Emden rd. 1000 Bauwerke, angefangen beim einfachen Durchlaß über Kaimauern, beweglichen Brücken bis hin zu Schleu-

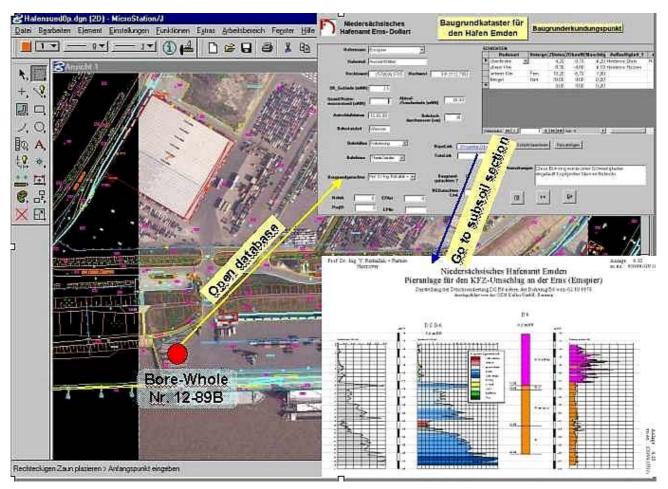


Bild 8: Verbindung zwischen Zeichnung und Baugrunddatenbank zur Darstellung des Untergrundes

Um DigiHaK sinnvoll zu nutzen ist es von großer Wichtigkeit, dass alle Hafenbetriebsfirmen und die aktiv tätigen Baufirmen ihre Anlagen dem Hafenamt im richtigen Datenformat abgeben. Dafür erhalten sie im Vorwege ein Datenmodell, dass sie beim Erstellen von Zeichnungen im CAD Format unterstützt und das ohne Schwierigkeiten in die Hafenkarte importiert werden kann.

sen in die DigiBau Datenbank einzubringen. Dieses geschieht im Zusammenhang mit den regelmäßig durchzuführenden Bauwerksprüfungen. Zur Zeit sind etwa 50 Bauwerke in der Datenbank enthalten. Neue Bauwerke werden sofort nach Fertigstellung in DigiBau aufgenommen.

DBGK (Digitales Baugrundkataster)

Im Digitalen Baugrundkataster werden rund 1.000 Bohrungen und Drucksondierungen aufgenom-

men. Bedingt durch die sehr stark variierenden Ergebnisse der Baugrunduntersuchungen ist der Baugrund mittels 9 verschiedener Bodenbeschreibungen vereinheitlicht worden. Dünne Lagen sehr schlecht tragfähigen Bodens oder Hindernisse wie Steine werden als Besonderheiten in der Datenbank vermerkt. Es ist vorgesehen, auch die Ergebnisse von Probebelastungen und Rammaufzeichnungen im DBGK aufzunehmen.

Heute sind etwa 100 Bohrungen und Sondierungen eingegeben (Bild 8). In dem dargestellten Bereich kann nun mit Hilfe des digitalen Geländemodells eine virtuelle Bohrung niedergebracht werden, um eine erste Abschätzung des Untergrundes vorzunehmen. Weitere Schritte (reale Bohrungen oder Sondierungen) sind dann mit dem Baugrundgutachter abzustimmen.

7. Systempflege

Ein Hafeninformationssystem kann nicht statisch sein. Täglich geschieht etwas im Hafengebiet, das Einfluß auf die Geographie des Gebietes hat. Eine Straße ist zu erneuern, ein Schuppen wird abgebrochen oder eine neue Kaimauer geht in Betrieb. Alle damit verbundenen Einzelheiten müssen möglichst schnell in die Hafenkarte übertragen werden. Daher sind die Hafenvermessungstechniker täglich unterwegs, um mit ihrem DGPS System die neuen Vermessungspunkte, die Straßenränder oder die Brücken einzumessen. Der für Hafenkonstruktion oder Hafenunterhaltung verantwortliche Ingenieur hat die Pflicht, den Vermessern und CAD Managern so schnell wie möglich seine Informationen über die von ihm vorgenommenen Veränderungen weiterzugeben.

Doch es gibt im Hafen eine Vielzahl von Planungsaktivitäten, die die Hafenverwaltung nur begrenzt überwachen kann. Den Hafenbetrieben ist es gestattet, auf ihren Erbpachtflächen Lagerhallen zu bauen oder Plätze zu befestigen. Die Auswirkungen müssen aber auch ins Geographische Informationssystem einfließen. Daher werden sie vertraglich gebunden, geographische und konstruktive Informationen in das DigiHaK System zu liefern. Dabei müssen sie die CAD Architektur der Hafenverwaltung benutzen. Nur so ist sichergestellt, dass jederzeit aktuelle Hafenkarten für die Planung verfügbar sind.

Ein anderer Abschnitt ist die Aktualität von Informationen über den Zustand der Hafenbauwerke. DigiBau ist eine speziell für Bauwerksbücher von Hafenbauwerken entwickelte Datenbank. Neue Bauwerke finden sehr schnell Eingang in diese Datenbank, da allgemein zur Fertigstellung die

Vorlage auch des Bauwerksbuches vom Auftraggeber verlangt wird. Doch was geschieht mit den zum Teil schon 100 Jahre alten Konstruktionen, für die es teilweise keine Unterlagen gibt? Sie werden bei den regelmäßig stattfindenden Bauwerksprüfungen (alle 3 bis 5 Jahre) schrittweise aktualisiert und die Unterlagen in den digitalen Zustand überführt. Hier wird nun in der Datenbank ein neues zunächst leeres Bauwerksbuch angelegt, welches exportiert und dem Ingenieur für seine Arbeiten zur Verfügung gestellt wird. Er füllt es mit allen digitalen Informationen. Während dieser Phase ist das Bauwerksbuch in der Datenbank gesperrt und kann lediglich gelesen werden.

Gemeinsam mit DigiHaK ist es nun möglich, in der Hafenkarte kurzfristig die Konstruktionen darzustellen, die in einem kritischen Zustand sind, und wo z.B. Lastbeschränkungen im Uferbereich vorgenommen werden müssen. Oder es wird angezeigt welche Bauwerke im kommenden Jahr zu prüfen sind und welche Kosten damit verbunden sein werden. Auch lassen sich im Zusammenhang mit der speziellen Haushalts- und Budget-Software die angefallenen Unterhaltungskosten gezielt ermitteln und umlegen.

Die sehr gute Unterhaltung des Systems ist außerordentlich wichtig für die Performance der Abfragen. Nur ein aktuelles System kann die Antworten geben, die von seiten des Hafenkapitäns, der Hafenkundschaft und der Hafeningenieure für ihre tägliche Arbeit gewünscht werden. Sie müssen sicher sein, ständig korrekte Auskünfte zu erhalten. Ansonsten besteht die Gefahr der Fehlentscheidung, die letztlich ein tiefes Loch in das Hafenbudget reißen kann.

8. Ausbildung und Training

Ein gutes geographisches Informationssystem aufzubauen und es zu nutzen erfordert im Vorwege sehr umfangreichen Programmier- und Zeichenaufwand. Es soll künftig leicht bedienbar sein, denn sonst findet kein oder nur ein geringer Zugriff darauf statt. Der Nutzer weiß meist nicht, was im Hintergrund stattfindet, wenn er auf seine Antwort wartet. Dieser Aufbau erfordert eine umfangreiche Organisation. Der GIS Stab in Emden besteht aus:

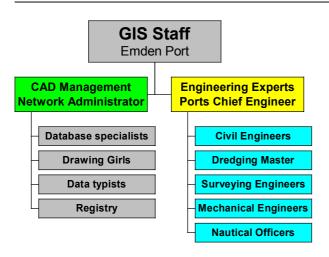


Bild 9: Organisation des GIS Stabes im Hafenamt Emden

Datenbankspezialisten und Ingenieure müssen zusammen arbeiten, wollen sie Erfolg haben. Gemeinsam sind sie verantwortlich für den Inhalt der Datenbanken. Der Ingenieur muß zunächst sagen, welche Information er liefern kann, um dann festzustellen welche Information er für die tägliche Arbeit benötigt.

Um dieses herauszufinden, fanden verschiedene Workshops statt. Zum einen im inneren Zirkel mit dem Stab, wie oben gezeigt, aber auch im äußeren Zirkel mit allen potentiellen Nutzern aus dem eigenen Haus, vom Hafenkapitän über den Haushälter bis zum Liegenschaftsverwalter. Als Ergebnis dieser Workshops war der Stab in der Lage, die notwendigen Abfragen zu generieren und die Abfragen dann in eine benutzerfreundliche Oberfläche zu bringen.

Es erforderte eine Vielzahl von Unterweisungen und Spezialschulungen im CAD Zeichnen und Management und in der Anwendung und dem Programmieren von Datenbanken für den GIS Stab. Nur so war es möglich, dass allgemeinen Anwendern ein einfaches Schulungsprogramm angeboten werden. Der Gesamtprozeß von den ersten Ideen bis zu den ersten brauchbaren Resultaten zieht sich nun fast vier Jahre hin.

Die spezielle Hard- und Software, die im Hafen Emden eingesetzt wird (zu nennen sind die CAD und Datenbank-Systeme), die Ausbildung der Mitarbeiter, die Entwicklung der digitalen Hafengrundkarte und die Softwareweiterentwicklung haben rd. 250.000 € verschlungen. Nicht enthalten in diesen Kosten ist die normale Hard- und Software (PC-Rechner, Netzwerk und Office-Software).

Der Einsatz hat sich aber gelohnt, ist doch heute das CAD und GIS Management des Hafens in der Lage, in kürzester Zeit die notwendigen Abfragen zu formulieren und zu antworten. Natürlich gibt es hier verschieden Ebenen der zulässigen Abfragen.

9. Künftige Aktivitäten

Mit den ersten Aktivitäten zum Aufbau eines geographischen Hafeninformationssystems wurde im Jahre 1998 begonnen. Heute, nach vier Jahren intensiver Arbeit ist das GIS Management in der Lage, nahezu alle gewünschten Informationen zum Hafen an Kollegen und Hafenkunden für ihre tägliche Arbeit zu liefern. Hierfür ist natürlich spezielle CAD und GIS Erfahrung und Kenntnis erforderlich. Zunächst erfordert selbst die Beantwortung einer einfachen Frage die Arbeit eines hochqualifizierten Informationstechnikers. Da dieses auf lange Sicht zu teuer ist, müssen Fragen vorformuliert und automatisiert werden.

Der nächste wichtige Schritt ist die Übertragung des DigiHaK Systemes in das landeseigene Intranet Niedersachsen. So kann die Hafeninformation weiteren Nutzern verfügbar gemacht werden. Der weitere Schritt ist dann der ins Internet und damit die weltweit verfügbare Hafeninformation für Reedereien, Schiffsmakler und Spediteure. Doch dieser Schritt kann nicht vom GIS Management des Hafens entschieden werden, er kann nur mit Unterstützung der Politik vollzogen werden.

10. Zusammenfassung

Im Jahre 1993 wurde im Niedersächsischen Hafenamt Emden entschieden die CAD Zeichentechnik einzuführen und für Hafenplanung und - unterhaltung zu nutzen. Nach ersten Anfängen startete 1997 ein intensives CAD Ausbildungsprogramm.

Ein Jahr später wurde aufgrund erster Erfolge der Gedanke nach Entwicklung eines Hafen GIS geboren. Datenbanken wurden entwickelt um Informationen aus dem Hafen für die Hafenplaner und auch für Hafenkunden leichter verfügbar zu machen.

Zur Bereitstellung all dieser Informationen wurde ein sechs Punkte Programm entwickelt:

- 1. Erfahrung sammeln im CAD Design und in der CAD Gruppenarbeit.
- 2. Entwicklung einer digitalen Hafengrundkarte auf Vektorbasis auf der Grundlage einer Luftbildbefliegung,

Unterhaltungsstrategien

Ein integriertes System zur Optimierung von Unterhaltungsarbeiten bei Hafenbauwerken und Hafenflächen unter Anwendung moderner Kommunikationselemente

- Entwicklung von Data-Warehouses und Datenbanken.
- 4. Einbringen aller Informationen in die Datenbanken (aber woher kommen alle Informationen?)
- 5. Aufbau von komfortablen Datenbankabfragen.
- Éinbringen des DigiHaK-GIS Systems in das Hafenintranet.

Die Abarbeitung dieser Punkte schien anfangs sehr einfach, war sie doch auch schon an anderer Stelle geleistet worden. Doch viele Schwierigkeiten, beginnend mit einem CAD Datenmodell über die Anpassung vorhandener Software an die hafenspezifischen Probleme bis hin zur Datensicherheit bremsten häufig die Arbeit.

Nach vier Jahren ist das CAD-GIS Management aber nun in der Lage, die Kollegen und die Hafenkunden zufrieden zustellen und sie mit den richtigen Informationen für ihre tägliche Arbeit zu versorgen.

Verfasser:

Dr-Ing. Hans-Dieter Clasmeier, Niedersächsisches Hafenamt Ems-Dollart, Friedrich-Naumann-Str 7-9; 26725 Emden Tel.: 04921/897-121,

e-mail:

Hans-Dieter.Clasmeier@nhaed.niedersachsen.de

Dipl.-Ing. Ingo Wasserthal, Intergraph Germany, Adalperostraße 86; 85737 Ismaning Tel.: 089/96106-341,

e-mail: iwassert@ingr.com

Christian Zeidler, Informationstechnik Consulting Forschung GmbH Lahnstraße 1, 48145 Münster

Tel.: 0251/2330-186,

e-mail: christian.zeidler@icf.muenster.de

Binnenschifffahrt

Ökologische Rahmenbedingungen für den Ausbau von Fahrwassern im Küsten- und Binnengebiet

Direktor und Professor Volkhard Wetzel Bundesanstalt für Gewässerkunde Koblenz

1. Einleitung

Die Schiffsgrößenoptimierung bei gleichzeitiger möglichst effektiver Auslastung der Transportkapazitäten nimmt in der Schifffahrt einen bedeutenden Stellenwert ein. Nach der Entwicklung im Massenguttransport von Rohöl, Kohle, Erz und Getreide haben sich auch in der Containerschifffahrt die Schiffsbreiten und Tiefgänge zugunsten großer Containerschiffe erhöht, die über ein ausgeklügeltes Frachtensystem Waren von z.B. Asien nach Europa bringen und dabei mehrere Häfen auf ihrer Route anlaufen. Hinzu kommt, dass der Containerschiffsverkehr durch die Zunahme der Vernetzung und der Globalisierung der Weltmärkte neben den Transportkapazitäten auch gleichzeitig ein erfolgreiches und enges Zeitmanagement erfordert.

Ein großes Containerschiff kann derzeit bei einem Tiefgang von 14,60 m bis zu 7.500 TEU-Container direkt zu dem Zielhafen transportieren, wobei eine weitere Steigerung der Abmessungen und Tiefgänge zu erwarten ist. Die weltweite Containerhafenkonkurrenz liefert ein wichtiges Argument für die Anpassung der Hafenzufahrten für die größer gewordenen Containerschiffe, damit die wirtschaftliche Situation der Hafenbereiche, verbunden mit der Arbeitsplatzsituation vor Ort, nicht negativ beeinflusst wird.

Damit die deutschen Containerhäfen gegenüber den übrigen nordwesteuropäischen Häfen konkurrenzfähig bleiben, ist die Anpassung der Fahrwassertiefen an die wachsenden Anforderungen der Containerschifffahrt zwingend erforderlich.

Die Hafenzufahrten zu den Häfen Hamburg an der Elbe und Bremerhaven, Bremen an der Weser sowie im Ostseebereich die Zufahrt zum Hafen Rostock, sind in der Vergangenheit bereits in erheblichem Umfange vertieft und verbreitert worden.

Bis zum Beginn der 90er Jahre war bei den erforderlichen Genehmigungsverfahren für den Ausbau der Fahrwasser die Frage nach den künftigen Unterhaltungskosten und die Auswirkungen auf die Tidewasserstände von ausschlaggebender Bedeutung. Bis dahin wurde in erster Linie danach gefragt, inwieweit sich durch den Ausbau der Fahrwasser die Wasserstandsverhältnisse, insbesondere bei Tidehochwasser und Sturmfluten, verändern würden.

Die Auswirkungen auf das gerade im Bereich der deutschen Nordseeküste sehr empfindlichen Ö-kosystem der Flachwasser- und Wattenbereiche waren zwar bekannt, wurden jedoch nicht ihrer Bedeutung entsprechend untersucht und bewertet. Dies begründet sich dadurch, dass die ökologischen Veränderungen von der einen Ausbaumaßnahme zur nächsten jeweils gering waren und der ökonomische Nutzen für die Schifffahrt, verladende Wirtschaft und Hafenbetriebe deutlich überwog.

Ausgleichsmaßnahmen für den Eingriff in das Tideästuar bezogen sich in erster Linie auf Maßnahmen um das erhöhte Sturmflutrisiko zu vermindern oder den Einfluss der Wasserstandsänderungen auf die Entwässerung der niedrig gelegenen landwirtschaftlich genutzten Flächen zu kompensieren.

Mit dem zunehmenden Umweltbewusstsein in der Bevölkerung wurde jedoch die Forderung nach einer umfassenden Untersuchung der ökologischen Wechselbeziehungen in einem Ästuar aufgrund eines weitreichend morphologischen Eingriffs deutlich.

Gerade die tidebeeinflusssten ökologisch sensiblen Ästuarbereiche mit ihrer ausgeprägten Wattenmeersituationen und den biologisch hoch aktiven Schlickwattenbereichen reagieren auf Veränderungen besonders empfindlich. Fahrrinnenvertiefungen bzw. Fahrwasseranpassungen führen unter anderem zu einer lokalen Konzentration der Durchflüsse mit der Folge, dass sich die Durchströmung der Nebenbereiche vermindert und die natürlichen morphologischen Wandlungsprozesse erheblich beeinflusst werden. Unmittelbare Folgen können sein:

- Änderung der Wasserstände, auch der Sturmflutwasserstände
- Erhöhung des Tidehubes sowie der Strömungsgeschwindigkeiten, insbesondere der Flut-stromgeschwindigkeit,
- Erhöhung der Menge der flussaufwärts transportierten Feststoffe (marinen Ursprunges) und damit Zunahme der Baggermengen im oberen Ästuar
- Aufschlickung von Wattbereichen

- Verschiebung der Salzgehaltsgrenze (Einfluss auf Tier-/Pflanzenwelt, Grundwasser, geschützte Regionen wie Süßwasserwattflächen, Schutzgebiete)
- Änderung des Wasserhaushalts (z.B. Grundwasserverhältnisse)
- Änderung/Beeinträchtigung von aquatischen und terrestrischen Lebensgemeinschaften (Makrozoobenthos, Fische, Vögel)
- Änderung/Beeinträchtigung von Vegetationsflächen (z.B. Röhrichtflächen)
- Änderung/Beeinträchtigung von Brut- und Rasthabitaten (z.B. Zug-/Rastvögel)
- Wechselwirkung zwischen den einzelnen Komponenten.

Auch für den Menschen selbst ergeben sich unmittelbare Konsequenzen, denen nur mit Hilfe weiterer technischer Maßnahmen begegnet werden kann: so hat sich z.B. der Tidenhub in Bremen seit Beginn der Strombaumaßnahmen von 20 cm auf 4 m vergrößert. Die Erhöhung der Sturmflutwasserstände hat darüber hinaus unmittelbare und erhebliche Konsequenzen für den Küstenschutz, der sich u.a. in der Erhöhung der Deiche widerspiegelt.

2. Rechtliche Rahmenbedingungen für Fahrwasseranpassungen

Die Fahrwasser für die Schifffahrt werden in Deutschland nach einem nationalen Gesetz unterhalten und ausgebaut (Bundeswasserstraßengesetz).

Im Rahmen der Europäischen Union wurden darüberhinaus, insbesondere zur Berücksichtigung von Umweltbelangen, weitgehende Richtlinien erlassen, die in den jeweiligen Mitgliedstaaten der Europäischen Union in nationales Recht umgesetzt werden müssen.

Von besonderer Bedeutung sind hierbei:

- das Gesetz über die Umweltverträglichkeitsprüfung bei öffentlichen und privaten Projekten
- die Richtlinie über die Erhaltung der wildlebenden Vogelarten (Vogelschutzrichtlinie)
- die Richtlinie zur Erhaltung der natürlichen Lebensräume sowie der wildlebenden Tiere und Pflanzen (Flora-Fauna-Habitat-Richtlinie/FFH).

Mit dieser FFH-Richtlinie will der Rat der Europäischen Gemeinschaft einen Beitrag zum Erhalt der Vielfalt der Arten und Lebensräume innerhalb der Gemeinschaft leisten. Auf der Grundlage dieser

Richtlinie soll ein europäisches Schutzgebietssystem mit der Bezeichnung "Natura 2000" etabliert werden, das den Erhalt der Lebensraumtypen und der gefährdeten Tier- und Pflanzenarten in Europa sichern soll. Mit der FFH-Richtlinie soll erreicht werden, dass ca. 10 % der Landoberfläche jedes Mitgliedstaates in möglichst zusammenhängende, naturbelassene Gebiete überführt wird.

In Ergänzung zu den vorgenannten Richtlinien hat die Europäische Union im Dezember 2000 eine weitere umfassende Regelung auf dem Gebiet des Wassers beschlossen mit dem Namen Water Framework Directive (Wasserrahmenrichtlinie).

Die wesentlichen Umweltziele der EG- Wasserrrahmenrichtlinie sind:

- Vermeidung einer Verschlechterung des ökologischen Zustandes der Oberflächengewässer und des Grundwassers
- Vermeidung der Verschmutzung und Sanierung dieser Gewässer
- Erreichung eines guten Zustandes der Oberflächengewässer, spätestens 6 Jahre nach Festlegung eines Maßnahmenprogramms
- Erreichung eines guten ökologischen Potentials und eines guten chemischen Zustandes der Oberflächengewässer im Falle stark veränderter oder künstlicher Wasserläufe

Diese EG-Wasserrahmenrichtlinie zielt auf eine Neuordnung des europäischen Wasserrechts und auf einen europaweit flächendeckenden Grundund Oberflächengewässerschutz. Gegenstand der Richtlinie sind die Binnenoberflächengewässer, die Übergangsgewässer (Ästuare) und Küstengewässer sowie das Grundwasser.

Dabei werden die Mitgliedstaaten verpflichtet, innerhalb von insgesamt 16 Jahren einen guten Zustand der Oberflächengewässer bzw. im Fall der stark veränderten oder künstlichen Wasserkörper ein "gutes ökologisches Potential" und einen "guten chemischen Zustand" zu erreichen. Als zentrales Instrument zur Zielerreichung wird die Aufstellung von Bewirtschaftungsplänen gefordert.

Der Gewässerzustand wird mit Hilfe biologischer, hydrologisch-morphologischer und chemischer Komponenten bestimmt. Dabei ist das Ziel des "guten Gewässerzustandes" dann erreicht, wenn die Werte für die Qualitätskomponenten nur geringfügig vom potentiell natürlichen Zustand abweichen. Als potentiell natürlicher Zustand wird der Zustand definiert, der sich ohne menschliche Einwirkungen ergibt, der aber irreversible anthro-

		Grad der Belastungen		
		ı	II	III
Raumbedeutung		gering	mittel	hoch
Α	Bereiche mit sehr geringer Zustandsbewertung			
В	Bereiche mit geringer Zustandsbewertung			
С	Bereiche mit mittlerer Zustandsbewertung			
D	Bereiche mit hoher Zustandsbewertung			
Е	Bereiche mit sehr hoher Zustandsbewertung			

Umweltrisiko - Bewertung der Matrixfelder -				
Gruppe	Bewertung			
1 sehr gering	Kein erkennbares entscheidungserhebliches Umweltrisiko			
2 gering	Entscheidungserhebliche Umweltrisiken sind zu erwarten. Sie können weitgehend vermieden bzw. minimiert werden. Mit Ausgleichs- und Ersatzmaßnahmen ist zu rechnen.			
3 mittel	Entscheidungserhebliche Umweltrisiken sind zu erwarten. Sie können nur teilweise vermieden bzw. minimiert werden. Mit umfangreichen Ausgleichs- und Ersatzmaßnahmen ist zu rechnen.			
4 hoch	In wesentlichen Untersuchungsgebietsflächen bzw. bzgl. mehrerer Schutzgüter/Teilkomplexe sind entscheidungserhebliche Umweltrisiken zu erwarten, die nur teilweise und mit erheblichem Aufwand vermeidbar, minimierbar bzw. ausgleichbar sind. Mit umfangreichen Ersatzmaßnahmen ist zu rechnen.			
5 sehr hoch	In großen Untersuchungsgebietsflächen bzw. bzgl. der meisten Schutzgüter/Teilkomplexe sind entscheidungserhebliche Umweltrisiken zu erwarten. Vermeidungs-, Minimierungs- und Ausgleichsmaßnahmen sind nicht immer möglich. Mit sehr umfangreichen Ersatzmaßnahmen ist zu rechnen.			

Tab.1 Wirkungszusammenhang zwischen "Raumbedeutung" und "Grad der Belastungen", Ermittlung des Umweltrisikos

pogene Einflüsse auf das Gewässersystem mit einschließt oder berücksichtigt.

Die Zielsetzung dieser EG-Wasserahmenrichtlinie ist nicht die künstlich ausgebauten Gewässerund Hafenzufahrten in ihren ursprünglichen Zustand zurückzuversetzen, sondern unter Berücksichtigung der derzeitigen Nutzung eine Gewässerentwicklung anzustreben, in der die ökologisch wirksamen Strukturen gestärkt werden und die Vernetzung im Gewässersystem berücksichtigt

wird. Unterhaltung und Ausbau der Gewässer in Europa und Deutschland wird sich künftig an den Forderungen dieser verbindlichen Gesetzesvorlage der Europäischen Union orientieren müssen.

3. Planung und Ausführung von Fahrwasseranpassungen

3.1 Verfahren zur Abschätzung des Umweltrisikos einer Fahrwasseranpassung

Ausbauvorhaben, die für die Aufnahme oder Fortschreibung des Bundesverkehrswegeplanes Deutschlands vorgesehen sind, werden bereits im Vorfeld der konkreten Ausbauplanung, Untersuchung und Bewertung unterzogen, um mögliche Umweltrisiken aufzuzeigen und Akzeptanzprobleme und Kompensationsumfang für die Massnahme erkennen zu können.

Die Bundesanstalt für Gewässerkunde (Federal Institute of Hydrology) hat in den vergangenen Jahren ein Verfahren zur Abschätzung der ökologischen Risiken von wasserbaulichen Maßnahmen entwickelt, dass auf der Philosophie des Umweltverträglichkeitsprüfungsgesetzes beruht. Es hat allerdings nicht die Tiefe einer Umweltverträglichkeitsuntersuchung und es kann und soll diese auch nicht ersetzen. Grundlagen sind vorhandene Daten, die bei der Wasserstraßenverwaltung oder Anderen vorliegen.

Das Verfahren beruht - vereinfacht dargelegt darauf, dass zunächst der Planungsraum im Ist-Zustand dargestellt und über eine fünfstufige Skala bewertet wird (Raumbedeutung). In einem zweiten Schritt werden die Auswirkungen der Maßnahme beschrieben und hinsichtlich ihrer Intensität über eine dreistufige Skala bewertet (Grad der Belastungen). Beides geschieht zunächst getrennt für die im Umweltverträglichkeitsprüfungsgesetz genannten Schutzgüter, über die die Umwelt beschrieben wird. In einem weiteren Arbeitsschritt wird anschließend das Umweltrisiko anhand einer sogenannten Präferenzmatrix ermittelt, in der die beiden Größen "Raumbedeutung" und "Grad der Belastungen" miteinander verknüpft werden. Das Resultat wird einer von fünf Umweltrisikostufen zugeordnet.

Nach positiver Prüfung des Umweltrisikos und Aufnahme in den Generalverkehrswegeplan wird für die weiteren Genehmigungsverfahren zunächst die Umweltverträglichkeitsprüfung durchgeführt.

3.2 Umweltverträglichkeitsprüfung

In der Umweltverträglichkeitsprüfung werden die Auswirkungen der Maßnahme auf die folgenden Komponenten, die als Schutzgüter bezeichnet werden, untersucht:

- Mensch, Tier, Pflanze
- Wasser, Boden, Luft, Klima, Landschaft
- Kultur und sonstige Sachgüter

Diese Komponenten sind durch Wechselwirkungen miteinander verknüpft.

Der Erfassung und Prognose der Wechselwirkungen der verschiedenen Umweltfaktoren zueinander, ihrem Wirkungsgefüge und Beziehungsgeflecht kommt die maßgebliche Bedeutung zu. Damit wird der Blick über die Einzelbetrachtung der Umweltbeeinflussung hinaus auf die Schutzund übergreifende Auswirkung eines Vorhabens und damit auf die Umwelt als Gesamtsystem gelenkt.

Der Behandlung der Wechselwirkungen kommt in den hochdynamischen Tidebereichen eine besondere Bedeutung zu. Diese sind dort aber aufgrund der Komplexität besonders schwer zu erfassen. In der folgenden aufgeführten Darstellung sind die möglichen Wechselwirkungen zueinander dargestellt.

Die Bewertung der Maßnahmeneingriffe auf die einzelnen Schutzgüter erfolgt im Rahmen des Umweltverträglichkeitsprüfungsverfahrens Bewertungsrahmen. Diese Bewertungsrahmen bilden die Grundlage für die Wertung des Ist- als auch des Prognosezustandes. In der folgend dargestellten Matrix sind am Beispiel ,Vegetation' die Wertstufen und Bewertungskriterien dargestellt. Für die Bewertung des Ist-Zustandes wird für jedes relevante Schutzgut der Prognosezustand ermittelt und beschrieben. Aus der Verknüpfung der Bewertung von Ist- und Prognosezustand lässt sich der Grad der Veränderung ermitteln. Für Schutzgüter bzw. Bereiche, bei denen die Veränderungen entsprechend den Definitionen des deutschen Naturschutzgesetzes als erheblich und/oder nachhaltig erkannt werden, sind im Rahmen des Gesamtverfahrens geeignete Kompensationsmaßnahmen vorzusehen.

Für das Schutzgut Tier seien die möglichen Auswirkungen von Baggerungen und Verklappungen von Bodenmaterial dargestellt. Baggerungen und die entsprechende Umlagerung im Gewässer wirken sich auf die im Boden lebenden Organismen direkt aus, aber auch auf die weiteren aquatischen Lebensgemeinschaften. Die möglichen Auswirkungen auf den biologischen Lebensraum sind:

Wert-	Bewertungskriterien						
stufe	Natürlichkeit	Vollkommenheit	zeitliche Wiederher- stellbarkeit	räumliche Wiederher- stellbarkeit	Seltenheit/ Gefährdung der Pflanzen- gesellschaft	Seltenheit/ Gefährdung der Arten	Repräsentanz
5 sehr hoch	natürlich bis naturnah	in sehr hohem Maße vollkommen	> 80 J.	Standortfakto- renpotenzial im Naturraum sehr selten	sehr selten und/oder vom Aussterben bedroht	sehr selten und/oder vom Aussterben bedroht	hoch repräsentativ
4 hoch	relativ natumah	in hohem Maße vollkommen	31 - 80 J.	Standortfakto- renpotenzial im Naturraum selten	selten und/oder stark gefährdet	selten und/ oder stark gefährdet	
3 mittel	bedingt naturnah	in mittlerem Maße vollkommen	6 - 30 J.	Standortfakto- renpotenzial im Naturraum mäßig häufig	mäßig häufig und/oder gefährdet	mäßig häufig und/oder gefährdet	bedingt repräsentativ
2 gering	naturfern	in geringem Maße vollkommen	1 - 5 J.	Standortfakto- renpotenzial im Naturraum häufig	häufig aber potentiell gefährdet	häufig aber potentiell gefährdet	
1 sehr gering	naturfremd/ künstlich	in sehr geringem Maße vollkommen	-1 J.	Standortfakto- renpotenzial im Naturraum sehr häufig	sehr häufig und nicht gefährdet	sehr häufig und nicht gefährdet	nicht repräsentativ

Tab. 2 Bewertungsrahmen – Beispiel Vegetation

- Sedimentabnahme
- Sedimentablagerung auf der Gewässersohle
- Veränderung der Bodentopographie
- Veränderung der Sedimentzusammensetzung
- Erhöhung des Schwebstoffgehaltes bzw. der Trübung
- Veränderung der Hydrodynamik des Strömungsgeschehens
- Veränderung der Wasserchemie

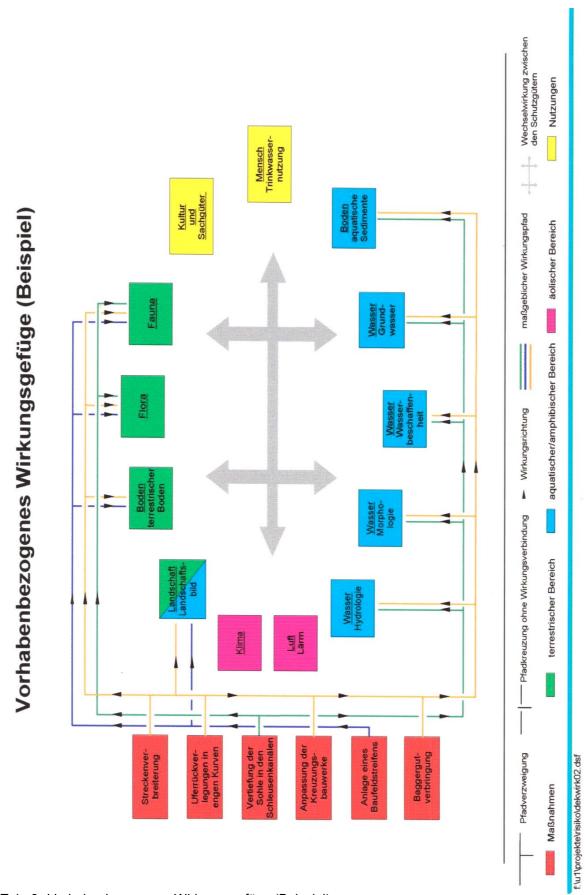
Die biologischen Folgen von Baggern und Verklappen können zu folgenden Typen zusammengefasst werden:

- Abtöten der Tiere
- Veränderungen in den Zönosen (hinsichtlich Artenzusammensetzung, Artenzahlen, Abundanzen, Dominanzen, Biomassen)
- Verhaltensänderungen (z.B. Flucht)
- Physiologisch-morphologische Effekte (Atmung, Nahrungsaufnahme und Wachstum, Morphologie, Histologie)
- Nahrungsketteneffekte
- Folgen für Fortpflanzung und Verbreitung (Laichplatzverluste, Laich- und Entwicklungshemmnisse).

Neben der Prüfung auf die Umweltverträglichkeit der Maßnahme ist zu prüfen, ob sie einen Einfluss auf bestehende Flora-Fauna-Habitat-Gebiete oder Vogelschutzgebiete hat. Diese Auswirkungen sind der Kommission der Europäischen Union zu melden mit der gleichzeitigen Darstellung, welche geeigneten Maßnahmen zur Sicherung der Flora-Fauna-Habitat-Gebiete ergriffen werden oder welche zwingenden Gründe des öffentlichen Interessens überwiegen, die die negativen Auswirkungen auf das FFH-Gebiet begründen.

3.3 Berücksichtigung der Wasserrahmenrichtlinie der Europäischen Union

Die Forderungen der Wasserrrahmenrichtlinie sind im vorliegenden Teil der Ausführungen bereits dargestellt. Erfahrungen zur praktischen Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie und ihrer Auswirkungen auf konkrete Planungs- und Ausführungsvorhaben liegen zur Zeit noch nicht vor. Maßnahmen zur Anpassung von Fahrwassern werden jedoch den Forderungen nach einer möglichen Verbesserung der ökologischen Bedingungen von Küstengewässern, Ästuaren und anschließenden Flussläufen folgen müssen. Dabei sind die zwingenden Gründe des überwiegenden öffentlichen Interessens an der Durchführung der Maßnahme nachhaltig zu begründen.



Tab. 3 Vorhabenbezogenes Wirkungsgefüge (Beispiel)

4 Kompensation von Umweltauswirkungen

Die erheblichen oder nachhaltigen Auswirkungen einer Fahrwasseranpassung sind nach den gesetzlichen Vorgaben auszugleichen. Bei der Kompensation der Eingriffe durch geeignete Kompensationsmaßnahmen gilt es. den funktionalen räumlichen und zeitlichen Anforderungen im Sinne der naturschutzfachlichen Eingriffsregelung gerecht zu werden. Das bedeutet, dass für die bei einem Eingriff verlorengegangenen ökologischen Werte und Funktionen in inhaltlicher Hinsicht Rahmenbedingungen zu schaffen sind, die eine Entwicklung gleichartiger Verhältnisse wie vor der Beeinträchtigung ermöglichen sollen. In räumlicher Hinsicht ist eine Bindung an den beeinträchtigten Natur- und Landschaftsraum geboten und darüber hinaus sind die landschaftspflegerischen Maßnahmen auch zeitnah umzusetzen, um die nachteiligen ökologischen Auswirkungen insgesamt möglichst gering zu halten. Diese Anforderungen lassen sich jedoch nicht immer bzw. nicht im erforderlichen Umfang realisieren. Dies betrifft oftmals die Flora/Fauna und hier insbesondere die Verhältnisse im marinen Bereich für den sich nicht immer geeignete Ausgleichsflächen finden, so dass Ersatzmaßnahmen zum Tragen kommen müssen. Unter Ersatzmaßnahmen ist zu verstehen, dass Maßnahmen in Gebieten umgesetzt werden, die räumlich nicht im direkten Zusammenhang mit dem Gebiet stehen, in dem die Fahrwasseranpassung durchgeführt wird. Die Ersatzmaßnahme kann sich damit auch auf völlig andere ökologische Verhältnisse beziehen als diejenigen, auf die die Fahrwasseranpassung eine Auswirkung hatte. Ersatzmaßnahmen sind in jedem Fall nur das Mittel der zweiten Wahl und sollten nur durchgeführt werden, wenn Ausgleichsmaßnahmen im eigenen Gebiet nicht möglich sind.

5 Fallbeispiele

Nachfolgend sollen die im Vorwege dargestellten Zusammenhänge an ausgewählten Fallbeispielen erläutert und die regionalspezifischen ökologischen Rahmenbedingungen aufgezeichnet werden.

Anpassung der Unter- und Außenelbe an die Containerschifffahrt

Ziel der Fahrwasseranpassung war es, den Containerschiffen der 4. Generation (PANMAX) mit den Abmessungen L = 300 m, B = 32,3 m und T = 13,80 m das Verkehren

- tideunabhängig auslaufend mit 12,80 m Frischwassertiefgang
- tideabhängig auslaufend mit 13,80 m Frischwassertiefgang im zweistündigen Tidefenster

zu ermöglichen. Das neue Fahrwasser wurde am 14. Dezember 1999 freigegeben.

Die Anpassung der Unter- und Außenelbe an die Belange der Containerschifffahrt der 4. Generation betrifft einen ca. 125 km langen Bereich der Tideelbe zwischen der seewärtigen Zufahrt und dem Hamburger Hafen. Der eigentliche Untersuchungsraum für die Umweltverträglichkeit erstreckte sich dagegen noch weiter stromaufwärts über das Wehr Geesthacht hinaus, da bei bestimmten Oberwasserabflüssen und/oder Sturmflutlagen das Wehr Geesthacht gelegt wird und somit die ausbaubedingten Änderungen darüber hinaus wirksam werden. Die von Tide beeinflussten Nebenflüsse wurden in den Untersuchungsraum ebenfalls eingeschlossen. Mit einem Untersuchungsgebiet von rund 100.000 Hektar zählt das Vorhaben sicherlich zu einer der größten Umweltverträglichkeitsuntersuchungen im europäischen Raum.

Im Planungsablauf wurden in Voruntersuchungen Ausbauvarianten hinsichtlich ihrer ökonomischen und ökologischen Auswirkungen gegenübergestellt und die gewählte Ausbaualternative einem stetigen Optimierungsprozess unterzogen. Im Ergebnis erfolgte keine durchgehende Vertiefung wie bei früheren Fahrwasseranpassungen, sondern eine sogenannte Sockellösung, bei der unter Berücksichtigung der tidezeitabhängigen Fahrt der Containerschiffe die Vertiefungseingriffe minimiert wurden. Hierdurch wurden ökonomischen und ökologischen Gesichtspunkten, nicht zuletzt auch im Hinblick auf die möglichen Wasserstandsveränderungen, Rechnung getragen.

Ferner wurden Fahrrinnenbreiten, auf das sicherheitstechnisch nötigste Maß bemessen, teilweise zurückgenommen.

Die Ablagerung des Baggergutes von ca. 20 Mio m³ erfolgte derart, dass Ablagerungsflächen, auch mit festen Strombauwerken, teilweise so angelegt wurden, dass sie langfristig eine Erhöhung der Strukturvielfalt im Strom erwarten lassen. Der Schutz erosionsgefährdeter Ufer wurde durch davor angelegte Bodenablagerungen verbessert, die aber zugleich so geplant wurden, dass sie die Funktion von Flachwasserzonen für die Äustaur/Fluss-Fauna erfüllen.

Trotz der Berücksichtigung der Anpassung der Planung an die ökologischen Forderungen ergab sich in der Bilanz der Umweltverträglichkeitsprüfung ein erheblicher Kompensationsbedarf für die Eingriffe in den Naturhaushalt. Hierbei fielen insbesondere die von den Gutachten im Rahmen der UVU abgeschätzten Eingriffe in die Bodenfauna des Untersuchungsgebietes ins Gewicht. Die Kompensationsmaßnahmen reichen von der hydraulischen Aktivierung von Nebenrinnen durch Baggermaßnahmen über Deich-Vorlandmaßnahmen bis zu Ersatzmaßnahmen in weiter entfernten Gebieten.

Verbleibende Lücken und/oder Risiken in der Prognose der künftigen Entwicklung des Ästuars bzw. Tideflusses infolge der Maßnahme werden durch Beweissicherungsprogramme weitmöglichst geschlossen.

SKN - 14 m - Ausbau der Außenweser

Die Fahrwasseranpassung des Hauptfahrwassers der Außenweser wurde am 15.01.1999 freigegeben und hatte zum Ziel, den Containerschiffen der Panmax und Postpanmax-Klasse tideunabhängig 12,80 m bzw. 12,50 m Tiefgang zu ermöglichen. Für den tideabhängigen Verkehr wurden im Rahmen von mehrstündigen Tidefenstern, variabel in bezug auf einkommende und ausgehende Containerschiffe, für die Panmaxklasse 13,50 m und für die Postmanmaxklasse 14,50 m Tiefgang geplant.

Die Planungszeit zur Vertiefung der Außenweser begann Anfang der 90er Jahre. Dieses Vorhaben war im Küstenbereich mit einer der ersten Fahrwasseranpassungen nach UVPG, also nach ökologischen Rahmenbedingungen. Das Untersuchungsgebiet des Vorhabens erstreckte sich über den seewärtigen Zugang des Weser-Ästuars bis in den Bereich der angrenzenden Jade und binnenseitig bis in die Unterweser nach Bremen. Die vorhandenen Nebenflüsse wurden einbezogen. Das Baggergut der Baumaßnahme von ca. 8 Mio m³ wurde zu etwa 60 % der wirtschaftlichen Wiederverwendung zugeführt, der Rest auf Klappstellen, vorwiegend im Bereich der Außenweser, untergebracht. Vergleichbar zu den Bedingungen des Elbe-Äustars wird auch das Fahrwasser der Außenweser beidseitig durch schützenswerten Lebensraum und seinen ökologischen Bedingungen geprägt. Der vorhandenen Ufer-, Watt- und Prielstruktur und der sie bewohnenden Tiere und Pflanzen als ökologischen Hauptkomponenten galt der Schwerpunkt der Umweltverträglichkeitsuntersuchung. Bei der Außenweser ausgeprägter als bei der Elbe spielten neben den ökologischen und ökonomischen Aspekten auch die sozialkulturellen Komponenten eine wesentliche Rolle in Form der seit Jahrhunderten existierenden Fischerei, die zwar rechtlich gesehen nicht unbedingt ein entscheidender Faktor ist, aber indirekt über die Tierwelt und das Ökosystem sowie die Nutzung Fischerei dennoch öffentlichkeitswirksam war und ist.

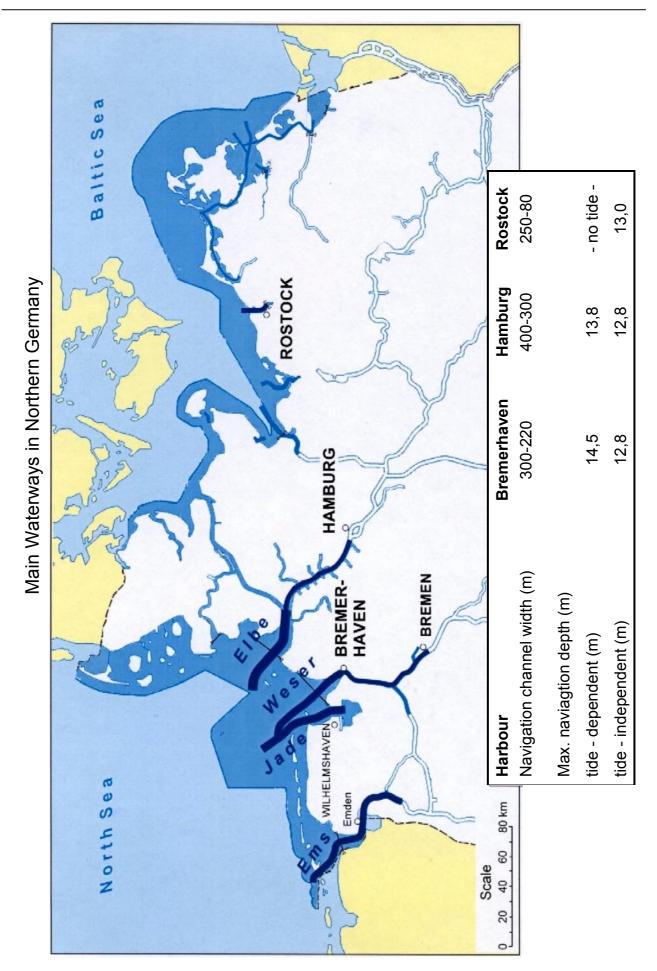
Verbleibende, durch die Planfeststellungsunterlagen (Bauplanung, Umweltverträglichkeitsstudie, LBP usw.) nicht vollständig abgedeckte Prognoseaussagen bezüglich der ausbaubedingten Änderungen werden bei der Außenweser durch die Beweissicherung, Monitorprogramme oder sog. Wirkungskontrollen abgedeckt.

6 Zusammenfassung und Ausblick

Zusammenfassend ist festzustellen, dass Fahrwasseranpassungen immer mit der Gefahr irreversibler negativer Veränderungen der ökologischen Verhältnisse verbunden sind, dass aber durch gesetzliche Vorgaben sichergestellt ist, dass diese im Vorhinein identifiziert und bewertet und - soweit sie nachhaltig oder erheblich sind kompensiert werden. Für das Ziel einer nachhaltigen Entwicklung eines Tideästuars und Flussgebietes im Hinblick auf die Ausgewogenheit ökologischer und ökonomischer Bedingungen ist die Erfassung der Wechselwirkungen der abiotischen und biotischen Parameter von entscheidender Bedeutung. Von der Erfassung und Analyse dieser Wechselwirkungen her ist die Prognose für die zukünftigen Verhältnisse aufzubauen.

Neben den Einflüssen der anthropogenen Maßnahmen sind langfristige Tendenzen der Klimainsbesondere der Wind- und Wasserstandsveränderungen, in die Prognose einzubeziehen. Bei den Untersuchungen und Aussagen zu den Ausbaumaßnahmen im Nord- und Ostseebereich ist bereits eine belastungsfähige Qualität erreicht, an deren Nachvollziehbarkeit und Prognosesicherheit jedoch noch weitere Ansprüche zu stellen sind.

Für die Planung weiterer Fahrwasseranpassungen im Küstenbereich wird die Verfügbarkeit von Ästuar oder flussnah gelegenen Flächen zur Kompensation des Ausbaueingriffs ein wesentlicher Faktor sein. Bereits heute bereitet es erhebliche Schwierigkeiten, Flächen zu finden, die zum Ausgleich der laufenden Fahrwasseranpassungen herangezogen werden können. Praktisch sind alle erreichbaren Flächen bereits unter Schutz gestellt oder zur Kompensation von Ausbaumaßnahmen herangezogen worden. Hieraus ergibt sich, dass



in der Zukunft ökologische Ausgleiche verstärkt nur über Ersatzmaßnahmen gefunden werden können und damit nicht mehr im direkten Zusammenhang mit dem Eingriffsbereich stehen. Die Durchsetzung von Fahrwasseranpassungen über den Ausgleich mit Ersatzmaßnahmen dürfte die Planfeststellung und den dahinter stehenden Kostenrahmen erheblich belasten.

Summary

Durch die Entwicklung des Containerschiffsverkehrs mit immer größer werdenden Einheiten werden zunehmende Forderungen zum Ausbau der Hafenzufahrten gestellt. Bei den relativ langen Tideflusszufahrten zu den großen deutschen Containerhäfen sind zunehmend ökologische Risiken des Tide-Ästuars und des Tideflusses zu berücksichtigen.

Die Methodik zur Umweltrisikoabschätzung für die Aufnahme von Ausbauplanungen in einen Bundesverkehrswegeplan von Deutschland wird dargestellt. Für die Ausbauplanung selbst und ihre rechtliche Umsetzung wird die Berücksichtigung der neuen rechtlichen Vorstellungen im Bereich der Europäischen Union erläutert. Die Anforderungen der neuen Wasserrahmenrichtlinie der EU zur Verbesserung des ökologischen Zustandes, die Richtlinien zur Ausweisung zusammenhän-Naturschutzgebiete Flora-Fauna-Habitat-Direktive - und die Methodik zur Anwendung der Umweltverträglichkeitsuntersuchungen werden behandelt. Die praktische Umsetzung und die Anforderung zur Kompensation von nachhaltig negativen Auswirkungen von Fahrwasserausbauten werden anhand der Ausbauten der Elbe als Zufahrt zum Hafen Hamburg und der Weser als Zufahrt zum Hafen Bremen dargestellt.

Bei der Verwirklichung der Ausbaumaßnahmen zeigte es sich, dass eines der größten Probleme die Entwicklung und Ausweisung von Kompensationsmaßnahmen für die ökologisch negativen Auswirkungen der Fahrwasserausbauten ist.

Stichworte

Deutsche Häfen
Fahrrinne
Verkehrsplanung
Containerverkehr
Ökologie
Gesetzliche Grundlagen
Wasserrahmenrichtlinie
Flora-Fauna-Habitat-Richtlinie
Umweltverträglichkeitsstudie
Baggerung

Verfasser:

Direktor und Professor Dipl.-Ing. Volkhard Wetzel, Bundesanstalt für Gewässerkunde Kaiserin-Augusta-Anlagen 15-17 56068 Koblenz

Tel.: 0261/1306-5300, e-mail: wetzel@bafg.de

Binnenschifffahrt

Ökologisch nachhaltiger Verkehr Reduzierung von Abgasemissionen in der Binnenschifffahrt

Baudirektor Dipl.-Ing. Gernot Pauli MPA, Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen, Bonn

Zusammenfassung

Die Zentralkommission für die Rheinschifffahrt (ZKR) hat am 1. Januar 2002 Vorschriften über die "Emission von gasförmigen Schadstoffen und luftverunreinigenden Partikeln von Dieselmotoren" in Kraft gesetzt. Diese Vorschriften sind

- notwendig, um die ökologischen Vorteile der Binnenschifffahrt über andere Verkehrsträger zu erhalten.
- wirtschaftlich akzeptabel für das Binnenschifffahrtsgewerbe, da ihre Einhaltung nur leicht verfügbare Technologien erfordert, und
- handhabbar für die Motorenhersteller und Schiffbauer, da sie auf bereits eingeführten Vorschriften anderer Bereiche basieren.

Die Vorschriften und ihr Entwicklungs- und Einführungsprozess kann als erfolgreich angesehen werden, da die ersten Motoren entsprechend den neuen Vorschriften nur 3 Jahre nach Beginn der Entwicklung der Verordnungen eine Typgenehmigung erhielten. Deshalb kann die Initiative der ZKR ein Modell für andere Regionen in der Welt mit ähnlichen Bedingungen abgeben. Allerdings muss die ZKR ihre Initiative weiter entwickeln und in eine sehr viel breitere Strategie in Richtung eines ökologisch nachhaltigen Verkehrs einbetten. Dessen ungeachtet hat die ZKR erneut eine führende Rolle in diesem Sektor eingenommen, indem sie dazu beigetragen hat, dass die Binnenschifffahrt ihrer ökologischen Verantwortung in einem größeren Umfang gerecht wird.

Ökologisch nachhaltiger Verkehr

Jeden Tag werden wir uns nicht-nachhaltiger Entwicklungen im Verkehr, wie z. B. der alarmierenden Zunahme der Anzahl der Automobile, gewahr. Aus der Verbrennung von Stoffen resultierende Emissionen tragen zur globalen und lokalen Schädigung von Ökosystemen bei und haben abträgliche Effekte für unsere Gesundheit. Nicht nur Umweltschützer und Wissenschaftler, sondern auch Regierungen und Berufsorganisationen, wie z. B. die International Navigation Association (PIANC) erkennen die Notwendigkeit, diese Entwicklungen anzugehen und Fortschritte im Hinblick auf einen ökologisch nachhaltigen Verkehr zu erreichen.

Aber was ist ökologisch nachhaltiger Verkehr und wie kann er erreicht werden? Die Organisation für Wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (OECD) gibt eine umfassende Antwort auf diese Frage. Im Jahre 1994 wurde das OECD Projekt über "Environmentally Sustainable Transport (EST)" begonnen, um auf die beschriebenen Entwicklungen zu reagieren und Verkehr ökologisch nachhaltig zu gestalten.

Im Jahre 2000 präsentierte die OECD-Arbeitsgruppe Verkehr die Ergebnisse des Projektes.

Gemäß der OECD Arbeitsgruppe ist ein ökologisch nachhaltiges Verkehrssystem "one that

- (i) provides for safe, economically viable, and socially acceptable access to people, places, goods and services;
- (ii) meets generally accepted objectives for health and environmental quality, e.g., those set forward by the World Health Organization for air pollutants and noise;
- (iii) protects ecosystems by avoiding exceedances of critical loads and levels for ecosystem integrity, e.g., those defined by the UNECE for acidification, eutrophication, and ground-level ozone; and
- (iv) does not aggravate adverse global phenomena, including climate change, stratospheric ozone depletion, and the spread of persistent organic pollutants."³

Als Quintessenz des Projektes entwickelte die Arbeitsgruppe zehn Richtlinien, wiedergegeben in Tabelle 1, um Regierungen auf allen Ebenen bei der Entwicklung und Umsetzung von Strategien für EST zu unterstützen. Die folgende Fallstudie wird diese Richtlinien als Referenz für die Evaluierung der Ziele, der Gestaltung und der Einführung einer Initiative zur Reduzierung der Abgasemissionen in der Binnenschifffahrt nutzen.

The EST Guidelines

Guideline 1.	Develop a long-term vision of a desirable transport future that is sustainable for environment and health and provides the benefits of mobility and access.
Guideline 2.	Assess long-term transport trends, considering all aspects of transport, their health and environmental impacts, and the economic and social implications of continuing with 'business as usual'.
Guideline 3.	Define health and environmental quality objectives based on health and environmental criteria, standards, and sustainability requirements.
Guideline 4.	Set quantified, sector-specific targets derived from the environmental and health quality objectives, and set target dates and milestones.
Guideline 5.	Identify strategies to achieve EST and combinations of measures to ensure technological enhancement and changes in transport activity.
Guideline 6.	Assess the social and economic implications of the vision, and ensure that they are consistent with social and economic sustainability.
Guideline 7.	Construct packages of measures and instruments for reaching the milestones and targets of EST. Highlight 'win-win' strategies incorporating, in particular, technology policy, infrastructure investment, pricing, transport demand and traffic management, improvement of public transport, and encouragement of walking and cycling; capture synergies (e.g., those contributing to improved road safety) and avoid counteracting effects among instruments.
Guideline 8.	Develop an implementation plan that involves the well-phased application of packages of instruments capable of achieving EST taking into account local, regional, and national circumstances. Set a clear timetable and assign responsibilities for implementation. Assess whether proposed policies, plans, and programmes contribute to or counteract EST in transport and associated sectors using tools such as Strategic Environmental Assessment (SEA).
Guideline 9.	Set provisions for monitoring implementation and for public reporting on the EST strategy; use consistent, well-defined sustainable transport indicators to communicate the results; ensure follow-up action to adapt the strategy according to inputs received and new scientific evidence.
Guideline 10.	Build broad support and co-operation for implementing EST ; involve concerned parties, ensure their active support and commitment, and enable broad public participation; raise public awareness and provide education programmes. Ensure that all actions are consistent with global responsibility for sustainable development.

<u>Tabelle 1</u>: Die EST-Richtlinien der OECD³

Vor einer Hinwendung zur Binnenschifffahrt zunächst aber ein Blick auf die Abgasemissionen im Verkehrssektor im Allgemeinen. Die üblichen Schuldigen sind Kohlendioxid (CO_2), Kohlenmonoxid (CO), Stickoxide (NO_X), flüchtige organische Verbindungen (VOCs) und Partikel (PM). Tabelle 2 fasst ihr Entstehen und ihre Auswirkungen zusammen.

Emissionen des Verkehrs sind nicht nur aufgrund ihrer Natur schädigend, sondern stellen häufig auch den größten Anteil an den Gesamtemissio-

nen. Dies trifft für globale Verschmutzungen, wie z. B. CO_2 , zu, aber auch für Verschmutzungen mit regionalen und lokalen Auswirkungen, wie CO, VOCs, NO_X und PM. Die OECD stellt fest: "Transport directly contributes about 20 per cent of anthropogenic CO_2 emissions worldwide, and close to 30 per cent of those emissions in OECD countries. ... Across OECD countries in 1997, transport was the largest source of carbon monoxide in the air from human activity (89 per cent of the total), of nitrogen oxides (52 per cent), and of volatile organic compounds (44 per cent).

Emission	Entstehung	Auswirkungen
Kohlendioxid (CO ₂)	Verbrennung fossiler Brennstoffe	Treibhausgas
Kohlenmonoxid (CO)	Unvollständige Verbrennung	Gesundheitsgefährdung
Flüchtige organische Verbindungen (VOCs); (Kohlenwasserstoffe (HC))	Unvollständige Verbrennung, besonders in Autos; Emissionen von Chemikalien, z.B. Benzin	Gesundheitsgefährdung; Smog
Stickoxide (NOx)	Verbrennung in Motoren; Oxidation von Stickstoff in Brennstoffen / Luft	Gesundheitsgefährdung; Versäuerung; Eutrophierung; N ₂ O sehr starkes Treibhausgas, bodennahes Ozon; Smog
Partikel (PM)	Diesel Motore	Gesundheitsgefährdung; Smog

<u>Tabelle 2:</u> Entstehung und Auswirkungen von Abgasemissionen des Verkehrs

Weltweit erkennen Regierungen nicht nur die verschiedenen negativen Auswirkungen von Emissionen, sondern auch die Notwendigkeit zu handeln. Dies zeigt das o. g. EST-Projekt der OECD und zahlreiche internationale Übereinkommen, wie z. B. das Klimarahmenabkommen, das Kyoto-Protokoll, das UNECE NO_X-Protokoll oder das UNECE VOC-Protokoll. Auch internationale Kooperationen zielen darauf ab, Emissionen im Verkehr zu reduzieren, wie z. B. Annex VI zu MARPOL 73/78 (NO_x Technical Code) der International Maritime Organisation (IMO) oder die verschiedenen Richtlinien der Europäischen Union (EU) über Straßenfahrzeuge. Nationale Rechtsetzung resultiert aus der Umsetzung von internationalen Abkommen in nationales Recht oder ist davon unabhängig initiiert, wie die Schiffsmotorenvorschrift der USA.

Allerdings gibt es nach Kenntnis des Autors keine umfassenden nationalen oder internationalen Aktivitäten zur Regulierung der Abgasemission in der Binnenschifffahrt, außer denen in der nachfolgend präsentierten Fallstudie. Der Autor hofft, dass die Fallstudie neue Aspekte und Erkenntnisse vorstellen wird, die insbesondere für Prakti-

ker, die an ähnlichen Initiativen teilhaben, hilfreich sein können.

Maßnahmen zur Begrenzung der Emissionen von gasförmigen Schadstoffen und luftverunreinigenden Partikel von Dieselmotoren in der Rheinschifffahrt

Der Rhein, der sich über eine Länge von ca. 1 300 km erstreckt, ist die Hauptverkehrsarterie in Westeuropa. Der schiffbare Teil von ca. 800 km verläuft durch 6 große Industriegebiete in der Schweiz, Frankreich, Deutschland und den Niederlanden. Rotterdam, der weltgrößte Seehafen und Duisburg, der weltgrößte Binnenhafen, liegen an seinen Ufern. Mehr als 10.000 Güterschiffe bilden die Rheinflotte und transportieren ungefähr 300 Mio. Tonnen Güter pro Jahr. Der Rhein ist die verkehrsreichste Wasserstraße der Welt.

Die Schifffahrt auf dem Rhein ist der Mannheimer Akte von 1868 mit ihren grundliegenden Prinzipien der Freiheit und der Gleichbehandlung der Schifffahrt auf dem Rhein unterworfen. Die Zentralkommission für die Rheinschifffahrt (ZKR) ist eine ständige diplomatische Konferenz, die älteste supranationale Regierungsorganisation der Welt, mit Delegationen aus Belgien, Frankreich, Deutschland, der Niederlande und der Schweiz. Die ZKR überwacht die Einhaltung der Prinzipien der Akte.

Eines der Hauptprinzipien der Akte ist die Etablierung einheitlicher Sicherheitsvorschriften. Im Jahre 1904 wurden die ersten Sicherheitsanforderungen für Rheinschiffe unterzeichnet. Heute stellt die Rheinschiffsuntersuchungsordnung (Rhein-

Erst nach Abfassung des Originalaufsatzes hat der Autor die Bestätigung erhalten, dass die Schiffsmotorenvorschriften der USA (Control of Emissions of Air Pollution from New CI Marine Engines at or above 37 kW) <u>auch</u> Binnenschiffsmotore betreffen. Diese Vorschriften treten erst in den Jahren 2004 bis 2007 in Kraft. Die vom Autor getroffene Feststellung ist damit insofern richtig, als dass die nachfolgend dargestellten Vorschriften der ZKR die einzigen sind, die speziell für die Binnenschifffahrt entwickelt und bereits umgesetzt wurden.

SchUO) eine umfassende Sammlung von technischen Anforderungen dar, die die Sicherheit der Schiffe, ihrer Güter, der Besatzungen und der Umwelt der Schiffe sicherstellt. Die Mitgliedstaaten setzen die RheinSchUO mit Hilfe von für deren Durchsetzung verantwortlichen Behörden in nationales Recht um.

Neben allgemeinen Sicherheitsanforderungen reguliert die RheinSchUO verschiedene Aspekte von Emissionen. Gestaltung und Bau von Schiffen müssen sicherstellen, dass kein Bilgenwasser in den Fluss austritt, keine Schmierstoffe an Propeller oder Ruderschaft entweichen und Lärmemissionen bestimmte Werte nicht überschreiten. Seit dem Januar 2002 enthält die RheinSchUO auch Vorschriften, die auf eine Reduzierung der gasförmigen Schadstoffe und luftverunreinigenden Partikel von Dieselmotoren auf Rheinschiffen abzielen.

Die ZKR hat ihre Arbeitsgruppe "Untersuchungsordnung" mit der Aufgabe der Weiterentwicklung der RheinSchUO beauftragt. Die Arbeitsgruppe umfasst Sachverständige der Regierungen der Mitgliedstaaten und – wenn notwendig – privater Institutionen. Die Sachverständigen treffen sich regelmäßig mindestens viermal im Jahr.

Im Frühjahr 1997 schlug die Delegation der Niederlande vor, dass die ZKR, überhaupt das erste Mal, sich der Frage der Luftverschmutzung durch die Binnenschifffahrt annimmt⁴. Daraufhin beauftragte die ZKR ihre Arbeitsgruppe einen Vorschlag zur Begrenzung der Abgasemissionen von Motoren in der Rheinschifffahrt zu entwerfen. Ein Jahr später traf sich die Arbeitsgruppe zum ersten Mal um diese Frage zu diskutieren. Es stellte sich heraus, dass daraus ein fortwährender Prozess wurde. Im Frühjahr 1999 nahm die ZKR formell grundlegende Prinzipien für die beabsichtigten Vorschriften, wie von der Arbeitsgruppe vorgeschlagen, an⁵. Die Vorschriften sollten lokale und regionale Verschmutzungen berücksichtigen, aber nicht CO₂-Emissionen, da diese als weniger dringendes Problem und einen Ansatz jenseits der Kompetenz der ZKR erfordernd angesehen werden. Im Winter 1999 führte die ZKR eine Anhörung durch und im Frühjahr 2000 einen Workshop⁶ mit Vertretern der Verbände des Schifffahrtsgewerbes und der Motorenhersteller. Im Frühjahr 2000 verabschiedete die ZKR die ausgearbeiteten Vorschriften und ein Jahr später die Eckpunkte für eine Überarbeitung der Vorschriften mit wesentlich strengeren Grenzwerten nach sechs bis acht Jahren⁷. Schließlich beschloss die ZKR im Herbst 2001, dass mit Beginn des Jahres 2003 Dieselmotoren installiert auf Schiffen, die

den Rhein befahren, den im Jahre 2000 verabschiedeten Vorschriften entsprechen müssen.

Die Europäische Kommission, die bei der ZKR einen Beobachterstatus innehat, war eingeladen, sich an den Aktivitäten zu beteiligen. Dies ist von besonderer Bedeutung, da die Untersuchung der Schiffe auf anderen Binnenwasserstraßen der EU einer Richtlinie des Rates der Europäischen Gemeinschaften folgt.

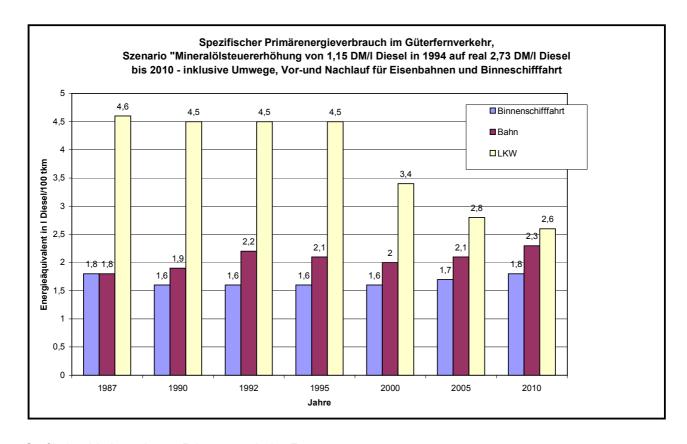
Parallel zu den Aktivitäten der ZKR führten die Mitgliedstaaten, insbesondere die Niederlande mit dem größten Anteil an Europas Binnenschifffahrtsflotte und als Land, das am meisten von deren Umweltverschmutzung betroffen ist, und Deutschland, ein führender Hersteller von Dieselmotoren, Sachverständige aus allen betroffenen Sektoren zusammen. Schiffseigner, Motorenhersteller und Importeure, Experten von Umweltbehörden und Klassifizierungsgesellschaften entwickelten zusammen Vorschläge, die dann der ZKR-Arbeitsgruppe präsentiert wurden und später Teil der abschließenden Vorschriften wurden.

Schon frühzeitig im Verfahren stellten die Vertreter der Schiffseigner und – interessanterweise – auch der Europäischen Kommission die Notwendigkeit von auf eine Begrenzung der Abgasemissionen in der Binnenschifffahrt abzielenden Maßnahmen in Frage. Sie argumentierten, dass solche Emissionen nicht reguliert werden brauchen, weil die Binnenschifffahrt ein sehr treibstoffeffizienter Verkehrsträger mit einem begrenzten Anteil am Gesamtverkehrsmarkt sei. Andere bekannte Institutionen in der Binnenschifffahrt haben ähnliche Positionen eingenommen. So stellt der Verein für Binnenschifffahrt und Wasserstraßen (VBW) fest, dass bezogen auf die erbrachte Verkehrsleistung Binnenschiffe ungefähr die Hälfte der Emissionen für Klimawandel, Versauerung oder Smog produzieren wie schwere Lastwagen⁸. In dem Bericht "Inland Waterway Vessels and Pollution"9 vertrat PIANC 1999 eine ähnliche Ansicht, die Emissionen verschiedener Verkehrsträger anhand von sechs praktischen Beispielen vergleichend und schlussfolgernd: "Concerning NO_x, it is clear that although engines for ships emit more NO_x per kWh than road vehicles, the greater energy efficiency of ships means that the emissions per amount of transported cargo is much less than for road transport". Der Bericht enthält verschiedene Empfehlungen, aber keine die spezifisch darauf abzielt, die Emissionen in der Binnenschifffahrt zu reduzieren.

PIANC und VBW gehören zu den führenden Organisationen auf dem Gebiet der Binnenschifffahrt. Daher sollten wir annehmen, dass Ihre Beurteilung zu diesem Zeitpunkt richtig war. Aber werden diese Positionen in der Zukunft noch Gültigkeit haben?

1998 publizierte die Ludwig Bölkow Stiftung eine Studie 10, die sich ausschließlich mit der Frage von CO₂-Emissionen im Verkehr befasst. Diese Studie gibt ein Szenario für den Einfluss einer CO2-Steuer wieder. Die Studie betont den enormen Vorteil der Binnenschifffahrt und der Eisenbahnen gegenüber dem Straßenverkehr. Allerdings ist ihre Hauptschlussfolgerung, dass bei einer Beaufschlagung der Kraftstoffe für den Straßenverkehr mit einer CO₂- oder Energiesteuer dieser Vorteil rasch zurückgeht, da dann der Straßenverkehr zusätzliche Anreize hat, Kraftstoff effizienter zu nutzen. Das gegebene Verhältnis von 1 zu 2,5 zugunsten der Binnenschifffahrt fällt unter den Bedingungen des gewählten Szenarios auf 1 zu 1,5. (Siehe Grafik 1.)

Davon ausgehend, dass Gasöl für die Schifffahrt auf dem Rhein weiterhin weitgehend steuerfrei bleibt, während der Kraftstoff für den Straßenverkehr in Europa hoch und zunehmend besteuert ist, scheint dieses Szenario realistisch. Gegenwärtige Trends des Treibstoffverbrauchs schwerer Lastkraftwagen folgen bereits der vorhergesagten Entwicklung, Nach einer Studie des deutschen Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen hat sich der spezifische Kraftstoffverbrauch von schweren Lastkraftwagen über einen Zeitraum von etwa 30 Jahren um ein Drittel reduziert11. Daher können wir sicher schließen, dass derzeit ein CO2-Vorteil für die Binnenschifffahrt vorhanden ist und weiterhin vorhanden sein wird, dass aber dieser Vorteil abnimmt. Das Argument der geringeren Umweltverschmutzung aufgrund eines geringeren Kraftstoffverbrauchs verliert an Bedeutung.



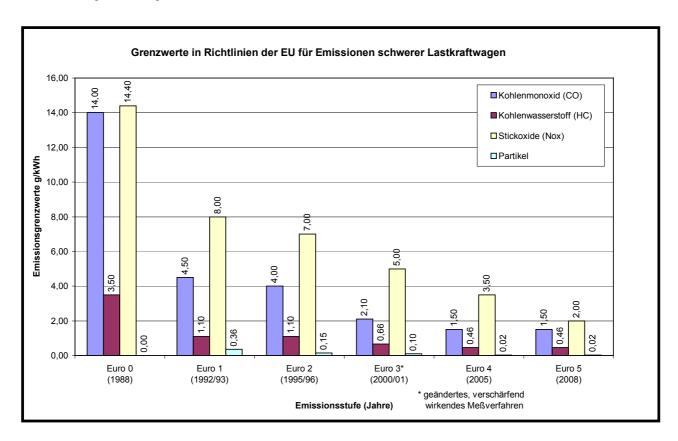
<u>Grafik 1:</u> Verbrauch von Primärenergie im Fernverkehr

Eine andere Entwicklung, die einer näheren Analyse bedarf, ist der Unterschied im technischen Fortschritt zwischen Binnenschifffahrt und Straßenverkehr. Schiffsmotoren werden in vielen Fällen immer noch entsprechend dem Entwicklungsstand der 70er und 80er Jahre des vorigen Jahrhunderts gebaut, als dass überragende Ziel die Reduzierung des Kraftstoffverbrauchs war. Im Vergleich dazu sind seit einiger Zeit die wesentlichen Entwicklungsanforderungen für Motore schwerer Lastkraftwagen durch wirtschaftliche und ökologische Ziele bestimmt. Seit 1988 hat die EU fünfmal die Grenzwerte für schwere Lastkraftwagen herabgesetzt, um deren Abgasemissionen zu reduzieren, wie Grafik 2 zeigt. Schwere Lastkraftwagen sind dramatisch sauberer geworden, während Binnenschiffe erst gerade beginnen, Verbesserungen zu zeigen.

quenz, dass wenn die gesamte Lastkraftwagenflotte erneuert und ein neuer Emissionsstandard vollständig umgesetzt ist, Veränderungen in den Gesamtemissionen der Binnenschifffahrt kaum feststellbar sind.

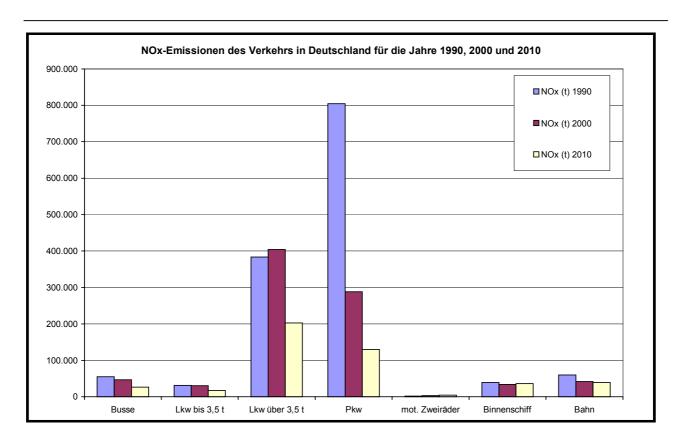
Offensichtlich müssen wir eine dynamische Vorgehensweise für die weitere Analyse wählen.

Das deutsche Umweltbundesamt (UBA) nutzt TREMOD, ein mathematisches Modell, um die Entwicklung von Abgasemissionen im Verkehrssektor in Deutschland vorherzusagen. Eine Vorhersage der NO_X-Emissionen zeigt, dass dank besserer Technologie der Personenkraftwagen die gesamten Emissionen dramatisch abnehmen werden. Im Gegensatz dazu verbleiben die Emissionen für die Binnenschifffahrt fast unverändert,

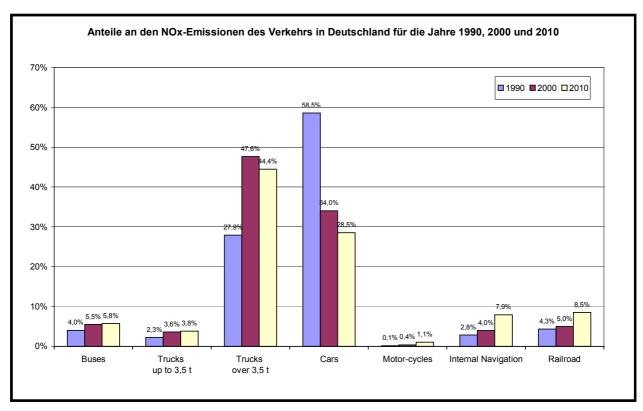


Grafik 2: Grenzwerte von Richtlinien des Rates für die Emissionen schwerer Lastkraftwagen¹²

Die Technologielücke wird noch verstärkt durch die Tatsache, dass schwere Lastkraftwagen eine Lebensdauer von fünf bis zehn Jahren aufweisen, während die der Motoren von Binnenschiffen fünfmal so lang ist. Daraus ergibt sich die Konsevon der Annahme ausgehend, dass keine Emissionsstandards vorgegeben werden. (Siehe <u>Grafik 3.</u>) Daher steigt der Anteil der NO_X -Emissionen der Binnenschifffahrt von etwa 4 % im Jahre 1990 auf etwa 8 % im Jahre 2010. (Siehe <u>Grafik 4.</u>) Die Emissionen der Binnenschifffahrt, die von der Politik in der Vergangenheit ignoriert werden konnten, werden sicherlich ein Anlass zur Besorgnis werden. In den Niederlanden beträgt der Anteil der NO_X -Emissionen der Binnenschifffahrt bereits etwa 25 $\%^{13}$.



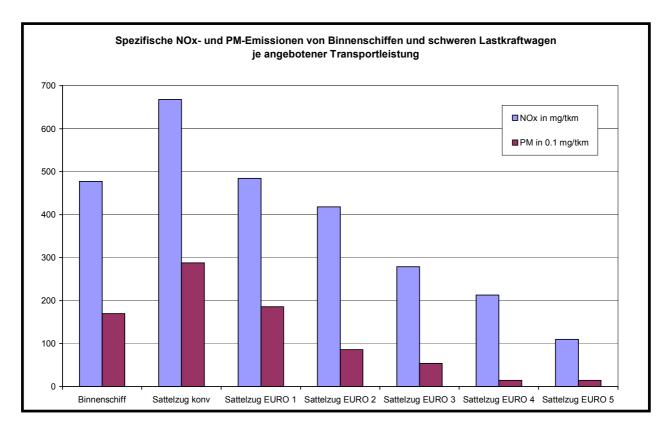
Grafik 3: NO_X-Emissionen des Verkehrs in Deutschland für die Jahre 1990, 2000 und 2010¹⁴



Grafik 4: Anteile an den NO_X -Emissionen des Verkehrs in Deutschland für die Jahre 1990, 2000 und 2010 14

Noch dramatischere Erkenntnisse ergeben sich aus einem Vergleich der Menge der Emissionen pro Tonnenkilometer. Dieser Vergleich ist in den Augen des Autors der eingängigste, da er mit größter Klarheit demonstriert, welcher Verkehrsträger ökologischer ist. <u>Grafik 5</u> zeigt, dass vis-àvis der Emissionen von größter Bedeutung für Dieselmotore, NO_X und PM, moderne Schwerlastwagen genauso sauber werden wie Binnenschiffe!

Nachdem die Schiffseigner die Ergebnisse dieses dynamischen Vorgehens anerkannt hatten, akzeptierten sie die Prämisse, dass Abgasemissionen tatsächlich ein Problem für die Umwelt darstellen und dass ein Vernachlässigen dieser Angelegenheit bald zur Reduzierung des ökologischen Vorteils, den die Binnenschifffahrt gegenwärtig noch innehat, führen wird. Der Verlust des ökologischen Vorteil würde es erschweren, öffentliche Unterstützung für lebhaft von Umweltschüt-



<u>Grafik 5:</u> Spezifische Emissionen von NO_X und PM von Binnenschiffen und schweren Lastkraftwagen¹⁵

Die oben beschriebenen Emissionsszenarien sind natürlich nur gültig unter bestimmten Bedingungen, da sie direkt auf grundlegenden Annahmen, wie der Zusammensetzung und dem technischen Standard der Schiffs- und Lastkraftwagenflotten beruhen. Allerdings scheint die grundsätzliche Entwicklung eindeutig und auf viele Teile der Welt, wo Binnenschifffahrt ein wichtiger Verkehrssektor ist und wo Anstrengungen unternommen werden, die Emissionen im Verkehr zu reduzieren, übertragbar. Weil saubere Technologien im Straßenverkehr schneller angewandt werden, nimmt der ökologische Vorteil der Binnenschifffahrt ab!

zern in Frage gestellte Infrastrukturprojekte, wie z. B. die Verbesserung der Schifffahrtsbedingungen auf der Donau, zu erhalten und die Bereitschaft der Parlamente, Haushaltsmittel für solche Projekte zur Verfügung zu stellen, mindern.

Bereits in der ersten Erörterung der ZKR-Arbeitsgruppe wurde offensichtlich, dass anstatt vollständig neuer Vorschriften zu entwickeln, es vorzuziehen ist, existierenden Vorschriften zu folgen und diese zu modifizieren, um sie den spezifischen Bedingungen der Binnenschifffahrt anzupassen. Die kleine Anzahl von Motoren, die jedes Jahr in diesem Sektor verkauft werden, rechtfertigen nicht einzigartige Vorschriften, die wiederum die Hersteller zwingen würden, besondere Motoren zu entwerfen und entwickeln. In Europa werden Binnenschiffsmotore häufig ursprünglich für Baumaschinen oder Seeschiffe, entweder als Hilfsmotore oder als Hauptmaschinen kleinerer

Schiffe, entwickelt. Daher betrachtete die Arbeitsgruppe den NO_X Technical Code der IMO und die Richtlinie 97/68/EG über mobile Arbeitsmaschinen genauer.

Das Hauptprinzip beider Vorschriften ist ein Typgenehmigungsverfahren. Während die Prüf- und Zertifizierungsanforderungen beider Vorschriften ähnlich sind, da beide auf dem internationalen Standard ISO 8187 basieren, sind die Zwecke beider Vorschriften sehr unterschiedlich. Ziel der IMO war es, dass die Seeschiffe Umweltverschmutzungen mit globalen oder zumindest regionalen Auswirkungen reduzieren. Daher reguliert der NO_X Technical Code – wie sein Name zeigt – NO_x-Emissionen. Im Gegensatz dazu stammt die Richtlinie 97/68/EG von Vorschriften über Emissionen schwerer Lastkraftwagen ab. Zusätzlich zu NO_X gibt sie Grenzwerte für CO, HC und PM vor. Die vorangegangenen Diskussionen über die grundsätzliche Notwendigkeit von Emissionsvorschriften zeigte, dass die Binnenschifffahrt in einem ökologischen Wettbewerb mit dem Straßenverkehr steht. Dies verdeutlichte der Arbeitsgruppe und den involvierten Interessengruppen die Notwendigkeit, die gleichen Emissionen wie für den Straßenverkehrssektor zu regulieren. Daher wurde die Entscheidung getroffen, die Richtlinie 97/68/EG als Blaupause für die Emissionsvorschriften der Binnenschifffahrt zu wählen.

Allerdings waren einige Änderungen der Richtlinie notwendig, um sie für die Binnenschifffahrt passend zu machen. Die Richtlinie deckt nur Motore mit einer Leistung (P_N) von bis zu 560 kW ab. Dagegen werden moderne Güterschiffe auf dem Rhein von Motoren, die über ein P_N von 750 kW oder mehr verfügen, angetrieben. Daher entwickelt die Arbeitsgruppe auch Grenzwerte für diese leistungsfähigeren Motoren. Dies sind dieselben wie für die kleineren Motoren. Für die Grenzwerte von NO_X wurden die des NO_X Technical Code der IMO eingearbeitet, da die größeren Motoren häufig auf seegehenden Schiffen verwendet werden. Tabelle 3 zeigt die von der ZKR beschlossenen Grenzwerte.

Die von der ZKR gewählten Grenzwerte sind relativ moderat. Eine aktuelle Studie 16 im Auftrag der deutschen Bundesanstalt für Gewässerkunde zeigt, dass ca. 70 % aller Motoren, die derzeit auf deutschen Binnenschiffen installiert sind und rd. 80 % aller Motoren auf niederländischen Binnenschiffen im Neuzustand diese Grenzwerte einhalten. Daher sah die Arbeitsgruppe die Notwendigkeit, striktere Grenzwerte für eine zweite Stufe festzulegen. Diese Grenzwerte sollten ehrgeizigere Ziele für einen effektiveren Schutz der Umwelt und zur Beibehaltung des ökologischen Vorteils der Binnenschifffahrt darstellen. Die Arbeitsgruppe entschied, die Grenzwerte der Stufe II der

P _N [kW]	CO [g/kWh]	HC [g/kWh]	NO _X [g/kWh]	PM [g/kWh]
$37 \le P_N < 75$	6,5	1,3	9,2	0,85
$75 \le P_N < 130$	5,0	1,3	9,2	0,70
P _N ≥ 130	5,0	1,3	$n \ge 2800 \text{ min}^{-1} = 9.2$ 0.5 $500 \le n < 2800 \text{ min}^{-1} = 45 \cdot n^{(-0.2)}$	

Tabelle 3: Die Grenzwerte der Stufe I der ZKR

P _N [kW]	CO [g/kWh]	HC [g/kWh]	NO _x [g/kWh]	PM [g/kWh]
18 ≤ P _N < 37	5,5	1,5	8,0	0,8
37 ≤ P _N < 75	5,0	1,3	7,0	0,4
75 ≤ P _N < 130	5,0	1,0	6,0	0,3
130 ≤ P _N < 560	3,5	1,0	6,0	0,2
P _N ≥ 560	3,5	1,0	$n \ge 3150 \text{ min}^{-1} = 6.0$ 0, $343 \le n < 3150 \text{ min}^{-1} = 45 \cdot n^{(-0,2)} - 3$ $n < 343 \text{ min}^{-1} = 11.0$	

Tabelle 4: Die Grenzwerte der Stufe II der ZKR

Richtlinie zu übernehmen, da diese die ehrgeizigeren Ziele enthält. Dementsprechend werden die Vorschriften für die Binnenschifffahrt fast identisch mit denen der Richtlinie sein. Allerdings war keine Vorlage für die größeren Motoren durch den NO_X Technical Code gegeben, da die IMO derzeit noch keine zweite Stufe der Grenzwerte für Motoren der Seeschiffe entwickelt hat. Einem Vorschlag der Motorenhersteller folgend einigte sich die Arbeitsgruppe auf Grenzwerte, die grob die Grenzwerte der Stufe II der Richtlinie 97/68/EG widerspiegeln. Tabelle 4 gibt die Grenzwerte der Stufe II, wie sie von der ZKR beschlossen worden, wieder.

Auch ein anderes Konzept wurde vom NO_x Technical Code übernommen. Ein Binnenschiff ist üblicherweise ein Unikat. Deshalb müssen Motoren häufig dem bestimmten Schiff angepasst werden. Das Zulassen von Spielräumen für Motorenmodifikationen macht es notwendig, jeden Motor nach seiner Installation in das Schiff zu untersuchen, um sicherzustellen, dass er immer noch mit den besonderen Designausprägungen, festgeschrieben in der Typgenehmigung, übereinstimmt. Da Binnenschiffe eine Lebenserwartung haben, die drei bis fünf mal so lang ist wie die von mobilen Maschinen, und sie für gewöhnlich während ihres langen Lebens geändert oder modernisiert werden, sind Nachuntersuchungen der Motoren ebenfalls vorgesehen.

Die letzte grundlegende Frage, die die Arbeitsgruppe zu beantworten hatte, war, ob die Emissionsvorschriften so wie die Richtlinie 97/68/EG eigenständig sein oder ob sie mit bereits existierenden Vorschriften zusammengefasst werden sollten. Die Arbeitsgruppe entschied, die Emissionsvorschriften in die RheinSchUO einzubetten und die administrativen Prozesse entsprechend anzupassen.

Derzeit entwickelt die ZKR-Arbeitsgruppe Verwaltungsverfahren zur Erteilung von Typgenehmigungen entsprechend der RheinSchUO für Motoren, die schon nach anderen Emissionsvorschriften zertifiziert sind, so z. B. gemäß der Richtlinie 97/68/EG. Typgenehmigungen entsprechend anderer Standards anzuerkennen, in Teilen oder vollständig, reduziert die Kosten für die Hersteller oder die Schiffseigner, wenn diese eine Typgenehmigung entsprechend der RheinSchUO beantragen. Gleichzeitig verstärken die ZKR und deren Mitgliedstaaten ihre Bemühungen, die Europäische Kommission zu überzeugen, die Initiative der ZKR zu übernehmen und auf alle Wasserstraßen der EU auszudehnen.

Erfolgsfaktoren

Der Autor betrachtet den Prozess und das Resultat der Initiative der ZKR zur Reduzierung der Emissionen von Dieselmotoren in der Binnenschifffahrt als einen Erfolg. In einer verhältnismäßig kurzen Zeitspanne von ungefähr drei Jahren zwischen dem ersten Treffen der Arbeitsgruppe und der Erteilung der ersten Typgenehmigung entwickelte und setzte die ZKR Emissionsvorschriften um, die jetzt im großen Umfang von den Schiffseignern und Motorenherstellern akzeptiert zu sein scheinen.

Was waren die Schlüsselfaktoren, die die Initiative der ZKR zu einem Erfolg machten oder, um es anders auszudrücken, welchen spezifischen Kriterien sollten Vorschriften, die auf die Reduzierung von Emissionen in der Binnenschifffahrt abzielen, einhalten, damit deren Implementierung erfolgreich ist.

Oft wird die Notwendigkeit für derartige Vorschriften nicht verstanden, da die Binnenschifffahrt im allgemeinen ein umweltfreundlicher Verkehrsträger ist. Dennoch gibt es tatsächlich einen ökologischen Wettbewerb zwischen Binnenschifffahrt und Straßenverkehr, und der Wettbewerbsvorteil der Binnenschifffahrt nimmt aufgrund des rapiden technischen Fortschritts bei der Herstellung von schweren Lastkraftwagen schnell ab. Diese Prozesse und ihre potenziell schädigenden politischen Auswirkungen für die Binnenschifffahrt kommunizieren zu können, wird helfen, Unterstützung für diese Vorschriften von den Motorenherstellern und – noch wichtiger – von den Schiffseignern zu erhalten.

Dieselmotoren, die in der Binnenschifffahrt genutzt werden, werden gewöhnlich ursprünglich für andere Anwendungsgebiete, wie Baumaschinen oder Seeschifffahrt, entwickelt. Deshalb sind Verordnungsgeber gut beraten, Vorschriften und insbesondere Grenzwerte dieser Sektoren zu übernehmen. Dadurch kann bereits erprobte Technologie angewandt werden, was die Verwendung von möglicherweise weniger zuverlässigen Abgasbehandlungseinrichtungen vermeidet. Außerdem können zusätzliche Kosten für die Binnenschifffahrt in einer für sie wirtschaftlich schwierigen Phase niedrig gehalten werden.

Entsprechend den ursprünglichen Verwendungszwecken von vielen Motoren, die heute in der Binnenschifffahrt eingesetzt werden, sollten die Vorschriften nicht nur mit den entsprechenden ISO-Normen übereinstimmen, sondern auch kompatibel sein mit den Test- und Zertifizierungs-

verfahren des NO_X Technical Code der IMO und anderen relevanten Vorschriften, wie die EU-Richtlinie über die Motoren für mobile Arbeitsmaschinen. Entsprechend diesen Vorschriften ausgeführte Tests sollten teilweise oder vollständig im Rahmen der Typgenehmigungsverfahren für die Binnenschifffahrt anerkannt werden.

Die erste Stufe von Maßnahmen zur Reduzierung von Emissionen sollte schnell etabliert werden um einen sofortigen Nutzen zu erzielen und zu erreichen, dass der Sektor die Idee der Reduzierung von Emissionen akzeptiert. Dies kann durch die Annahme von sehr moderaten Grenzwerten, die bereits in anderen Gebieten eingeführt sind, erlangt werden. Allerdings müssen diese Grenzwerte aufgrund der fortschreitenden und ehrgeizigen Zielsetzung des Straßenverkehrs auf diesem Gebiet weiterentwickelt werden.

Könnte die Initiative der ZKR auch als Erfolg angesehen werden, wenn die Richtlinien der OECD für EST als Referenz herangezogen werden?

Die EST-Richtlinien – Richtungweisend für künftige Tätigkeiten

Die OECD präsentierte ihre EST-Richtlinien erst im Herbst 2000. Daher kann nicht erwartet werden, dass sie schon einen wichtigen Teil der aktuellen umweltbezogenen Politik bilden. Die ZKR hat anerkannt, dass ihre Initiative, die Binnenschifffahrt ökologisch nachhaltiger zu machen, fortgesetzt werden muss. Die EST-Richtlinien präsentiert im ersten Abschnitt heranziehend, könnte die ZKR Defizite in ihrem derzeitigen Herangehen auf-

decken und wertvolle Hinweise für künftige Handlungen oder Verbesserungen erhalten.

Regierungen der ZKR-Mitgliedstaaten und verschiedener anderer Institutionen der EU haben langfristige Visionen eines wünschenswerten künftigen Verkehrs entwickelt (**Richtlinie 1**) und langfristige Entwicklungen des Verkehrs unter allen seinen Aspekten geprüft (**Richtlinie 2**). Sie haben ebenso Gesundheits- und Umweltqualitätsziele definiert (**Richtlinie 3**). Allerdings scheinen diese Ziele nicht gut dargestellt oder den Praktiken der Verkehrspolitik in dem Verkehrssektor kommuniziert worden zu sein, da die Ziele in dem Entscheidungsprozess der ZKR nicht erwähnt wurden. Die ZKR muss diese Ziele klären.

Die ZKR-Staaten und die verantwortlichen EU-Institutionen haben kein Verfahren etabliert, quantifizierte sektorspezifische Ziele zu setzen (**Richtlinie 4**). Die ZKR könnte diese Ziele für die Schiff-

fahrt auf dem Rhein entwickeln, diese den nationalen Regierungen wie auch der EU mitteilen und ihnen folgen bis vollständige und zusammenhänge Ziele für alle relevanten Sektoren vorhanden sind.

Die ZKR hat eine Strategie zur Implementierung ihrer Emissionsvorschriften identifiziert (**Richtlinie** 5). Allerdings muss diese Strategie erweitert werden, um Maßnahmen über die Verbesserung der Motorentechnologie hinaus einzuschließen.

Die ZKR hat auch die sozialen und wirtschaftlichen Implikationen in ihrer – zugegebenermaßen engen – Vision geprüft (**Richtlinie 6**). Sie hat versucht, die Kosten der implementierten Maßnahmen niedrig zu halten, um einen negativen Einfluss auf den intermodalen Preiswettbewerb und verringerte Beschäftigungsmöglichkeiten in der Binnenschifffahrt zu vermeiden. Da allerdings die erwarteten Grenzwerte der Stufe II der Vorschriften sehr viel ehrgeiziger sind und deshalb höchstwahrscheinlich deren Konsequenzen sehr viel weitgehender sein werden, ist eine breitere und systematische Prüfung der Implikationen notwendig.

Die ZKR war bisher nur auf eine Maßnahme – Verbesserung der Motorentechnologie – fokussiert. Um wahrhaftig einer ökologisch nachhaltigen Binnenschifffahrt nachzukommen, muss sie Pakete von Maßnahmen und Instrumenten schnüren (**Richtlinie 7**).

Die ZKR hat einen Implementierungsplan entwickelt (**Richtlinie 8**). Es könnte notwendig sein, diesen Plan zu erweitern, da er mögliche Interaktionen mit anderen Sektoren der Wirtschaft oder von Regierungsaktivitäten nicht berücksichtigt.

Der ZKR ist es nur möglich, die Verbreitung neuer Motorentechnologie zu verfolgen. Die ZKR muss die Implementierung intensiver beobachten, z. B. durch die Nutzung von Umweltdaten zur Evaluierung der Notwendigkeit zukünftiger Aktionen, und über ihren Teil der EST-Strategie die Öffentlichkeit unterrichten (**Richtlinie 9**).

Die ZKR war erfolgreich, breite Unterstützung und Zusammenarbeit für die Implementierung ihrer Initiative herauszubilden (**Richtlinie 10**). Da allerdings die nächste Stufe der Grenzwerte sehr viel ambitionierter sein wird, muss die ZKR ihre Anstrengungen weiterentwickeln und stärken, um den derzeitigen Stand der Unterstützung von und die Zusammenarbeit mit den für sie relevanten Kreisen zu erhalten.

- ¹ ZKR, Beschluss 2000 I 19, Zentralkommission für die Rheinschifffahrt, Straßburg, Frankreich 2000.
- ² OECD, Synthesis Report Environmentally Sustainable Transport futures, strategies and best practices (Synthesis Report of the OECD project on Environmentally Sustainable Transport EST presented on occasion of the International est! Conference 4th to 6th October in Vienna, Austria), Organisation for Economic Co-operation and Development, Austrian Federal Ministry for Agriculture, Forestry, Environment and Water Management, Vienna, Austria, 2000.
- ³ OECD, Guidelines Environmentally Sustainable Transport futures, strategies and best practices (Guidelines for environmentally sustainable transport (EST) presented and endorsed at the international conference held from 4th to 6th October in Vienna, Austria), Organisation for Economic Cooperation and Development, Austrian Federal Ministry for Agriculture, Forestry, Environment and Water Management, Vienna, Austria, 2000.
- ⁴ ZKR, Dokument RV (97) 7, Zentralkommission für die Rheinschifffahrt, Straßburg, Frankreich 1997.
- ⁵ ZKR, Beschluss 1999 II 16, Zentralkommission für die Rheinschifffahrt, Straßburg, Frankreich, 1999.
- ⁶ ZKR, Workshop 2000, Perspektiven für Anforderungen an Abgas- und Partikelemissionen aus Dieselmotoren in der Binnenschifffahrt, Zentralkommission für die Rheinschifffahrt, Straßburg, Frankreich, 2000.
- ⁷ ZKR, Beschluss 2000 I 21, Zentralkommission für die Rheinschifffahrt, Straßburg, Frankreich, 2001.
- ⁸ VBW, *Transport auf dem Wasser natürlich besser*, Broschüre, Verein für Binnenschifffahrt und Wasserstraßen, Bureau Voorlichting Binnenvaart, Donau Transport Entwicklungsgesellschaft, undatiert.
- ⁹ PIANC, *Inland waterway vessels and pollution*, Report of Working Group 14 of the Permanent Technical Committee I, International Navigation Association, 1999.
- ¹⁰ Ilgmann G, Gewinner und Verlierer einer CO₂-Steuer im Güter- und Personenverkehr, Ludwig Bölkow Stiftung, Ottobrunn, 1998.

- ¹¹ BMVBW, *Nationales Klimaschutzprogramm der Bundesregierung 2000 Verkehr* (Bericht des Arbeitskreises II Verkehr zur Bundestagsdrucksache 14/4729 vom 14.11.200), Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen, Bonn, 2000.
- ¹²Wildhage HJ, Wie LKW immer schadstoffärmer werden, *Deutsche Verkehrs-Zeitung*, 57, 2001.
- ¹³ CE, *Schoon schip in de Nederlandse* binnenvaart, Centrum voor enegiebesparing en schone technologie, Delft, Niederlande, 1997.
- ¹⁴ UBA, TREMOD mathematische Modell, unveröffentlicht, Umwelt-Bundesamt, Berlin, Deutschland, 2000.
- ¹⁵ UBA, Binnenschiff basierend auf einem durchschnittlichen Kraftstoffverbrauch von 8 g Dieselkraftstoff pro angebotenem Transportkilometer, Sattelzug größer 32 t, TREMOD - mathematisches Modell (IFEU, in Zusammenarbeit mit VDR, MWV und DB, im Auftrag des UBA), unveröffentlicht, Umwelt-Bundesamt, Berlin, Deutschland, 1999.
- ¹⁶ BfG, Erarbeitung von Verfahren zur Ermittlung von Luftschadstoffemissionen von in Betrieb befindlichen Binnenschiffsmotoren, Bundesanstalt für Gewässerkunde, Berlin, Deutschland 2001.

ZKR Binnenschifffahrt ökologisch nachhaltiger Verkehr Emissionen Umweltverschmutzung

Verfasser:

Baudirektor Dipl.-Ing. Gernot Pauli MPA, Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen, Dienstsitz Bonn Robert-Schuman-Platz 1, 53175 Bonn Tel.: 0228 300-4663

e-mail: Gernot.Pauli@bmvbw.bund.de

Informationsmanagement für die Bundeswasserstraßen in Deutschland Teil 1: Neue Informationssysteme für die Binnenschifffahrt in Deutschland

River information systems

Informationsmanagement für die Bundeswasserstraßen in Deutschland

Teil 1:

Neue Informationssysteme für die Binnenschifffahrt in Deutschland

Bauoberrätin Dipl.-Ing. Claudia Oberheim Wasser- und Schifffahrtsdirektion Südwest, Mainz

Baudirektor Dipl.-Ing. Michael Heinz Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen, Bonn

Vermessungsdirektor Dipl.-Ing. Ludwig Steinhuber Wasser- und Schifffahrtsdirektion Süd, Würzburg

Vermessungsoberrat
Dipl.-Ing. Joachim Blesenkemper
Wasser- und Schifffahrtsdirektion West, Münster

1 Einleitung

Die Bewältigung der wachsenden Verkehrsnachfrage gehört zu den großen gesellschaftlichen und technischen Herausforderungen der Zukunft und damit zur zentralen Aufgabe der Verkehrspolitik. In verkehrspolitischer Hinsicht soll die breite Einführung und Nutzung von Telematiksystemen wesentlich dazu beitragen:

- die Auslastung der Verkehrsmittel zu verbessern,
- die Kapazität der Verkehrsinfrastruktur zu erhöhen und effizienter zu nutzen,
- die Verkehrsträger besser zu verknüpfen und dabei
- die Verkehrssicherheit auf dem anerkannt hohen Niveau zu halten.

Für die Verkehrspolitik mit ihren Verwaltungen bedeutet dies, dafür rechtzeitig die rechtlichen und finanziellen Voraussetzungen zu schaffen, entsprechende Forschungen und Entwicklungen zu initiieren sowie anwendungsreife Technologien zügig einzuführen.

Für die Wasserstraßen gilt es, angepasste und bedarfsorientierte Telematikanwendungen zu entwickeln. Aufgrund der Besonderheiten der Wasserstraßen im Vergleich zu anderen Verkehrsträgern sind Telematikanwendungen aus anderen Verkehrsbereichen kaum übertragbar.

Insbesondere die nicht staugeregelten Wasserstraßen sind durch eine regional wechselnde, teilweise sogar örtlich wechselnde Charakteristik des Verkehrsweges geprägt.

Für den Einsatz von Telematikanwendungen auf Binnenwasserstraßen liegt im Hinblick auf den derzeit noch vorherrschenden Massenguttransport der Schwerpunkt in der Verbesserung der Produktivität des Schiffseinsatzes.

Da ein weiterer Ausbau von Wasserstraßen zunehmend an Grenzen stößt, gleichzeitig der Strukturwandel der Schifffahrt (leistungsfähigere, größere, besser ausgelastete und ausgerüstete Schiffseinheiten bei kaum wachsender Schiffsanzahl) sich aber kontinuierlich fortsetzt, gewinnt die Informationsbereitstellung insbesondere an den Engpässen der Wasserstraßen an Bedeutung und erzeugt Effizienzgewinne für die Schifffahrt.

Um die Einheitlichkeit der Binnenschifffahrt zu wahren, sind verstärkt Bemühungen um eine Harmonisierung der Systeme zu verzeichnen. Im Rahmen europäischer Forschungsprogramme (INDRIS) wurde in den letzten Jahren ein umfassendes Konzept für RIVER INFORMATION SER-VICES (RIS) geschaffen. Dabei wird unter RIS ein Konzept für harmonisierte Informationsdienste für die Unterstützung von Verkehrs- und Transportmanagement in der Binnenschifffahrt verstanden. Im mehr praktischen Sinne ist RIS die Summe aller Dienste. PIANC hat "Richtlinien und Empfehlungen für Flussinformationsdienste (RIS Guidelines 2002) als Bericht der Arbeitsgruppe 24 im März 2002 herausgegeben. Die RIS-Dienste werden in Deutschland zur Zeit mit folgenden Anwendungen erbracht:

RIS - Anwendungen in Deutschland

Zentraler NIF: Zentraler Nautischer Informati-

onsfunk

MIB: Melde- und Informationssystem

Binnenschifffahrt

MOVES: Mosel-Verkehrserfassungssystem

ELWIS: Elektronisches Wasserstraßen -

Informationssystem

Erste Telematikanwendungen in Form der Verkehrssicherungssysteme NIF und MIB wurden bereits 1994 in einem Beitrag zum 28. PIANC Schifffahrtskongress vorgestellt. Im Folgenden werden die in den letzten Jahren entwickelten und

Informationsmanagement für die Bundeswasserstraßen in Deutschland Teil 1: Neue Informationssysteme für die Binnenschifffahrt in Deutschland

eingeführten RIS-Anwendungen ARGO, ELWIS und MOVES beschrieben.

2 ARGO – Ein Fahrrinneninformationssystem zur Navigationsunterstützung

Anlass für die Entwicklung von ARGO waren die sehr unterschiedlichen Tiefen-. Querschnitts- und Wasserstandsverhältnisse auf der rund 700 km langen deutschen Rheinstrecke, die mit einem Verkehrsaufkommen von 30 - 140 Mio. Gütertonnen/Jahr (je nach Streckenabschnitt) zu den meistfrequentierten europäischen Wasserstraßen gehört. Die verfügbaren Fahrrinnenabmessungen werden je nach Ortskunde der Schiffsführer sehr unterschiedlich genutzt. Ziel von ARGO ist es, Informationen wie Übertiefen oder über die Fahrrinne hinaus nutzbare Fahrwasserbereiche - und dies bei aktuellen Wasserständen - allen Schiffsführern möglichst aktuell zu übermitteln, um insgesamt das Abladeverhalten zu verbessern und gleichzeitig durch Erhöhung der nautischen Umfeldinformationen den hohen Sicherheitsstandard zu erhalten.

2.1 Systemkomponenten von ARGO

ARGO besteht im Wesentlichen aus drei Komponenten:

- elektronische Wasserstraßenkarte,
- Radarbild.
- auf den aktuellen Wasserstand bezogene Tiefeninformationen.

Die erste Komponente und die visuelle Basis für das System ARGO bildet die elektronische Wasserstraßenkarte. Ausgehend von der bereits verfügbaren elektronischen Seekarte wurde die elektronische Binnenwasserstraßenkarte entwickelt. In internationaler Zusammenarbeit wurde dazu der bestehende maritime ECDIS Standard (Electronic Chart Display and Information System) um den Inland ECDIS Standard erweitert. Dabei flossen die Erfahrungen aus dem Pilotprojekt ARGO in die Standardisierung ein. Im Mai 2001 wurde der Inland ECDIS Standard von der ZKR offiziell eingeführt. Von der Donaukommission wurde der Standard ebenfalls angenommen.

Entsprechend dem Inland ECDIS Standard wird die elektronische Binnenwasserstraßenkarte als Inland ENC (Inland Electronic Navigational Chart) bezeichnet. Die Inland ENC wird aus der Digitalen Bundeswasserstraßenkarte DBWK der deutschen Wasser- und Schifffahrtsverwaltung hergestellt. Die Transformation der graphischen Elemente in die Objekte der Inland ENC läuft weitgehend automatisiert über einen Konverter. Vorher müssen

jedoch die in der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung separat geführten Sachdaten mit den einzelnen Objekten verknüpft werden.

Die zweite Komponente ist das Radarbild, mit dem die Inland ENC überlagert wird. Dadurch werden der Darstellung zusätzlich Informationen über die Verkehrssituation hinzugefügt. Das Radarbild enthält zunächst keine zur Positionsbestimmung direkt verwertbaren Informationen. Die Inland ENC wird daher nach einem von der Universität Stuttgart entwickelten Verfahren, dem sogenannten Radar-Map-Matching, mit dem Radarbild in Übereinstimmung gebracht. Das Verfahren beruht auf dem Vergleich der Konturen von radarrelevanten Objekten in der Inland ENC mit den Radarkonturen. Um die Genauigkeit in der Positionierung zu erhöhen und zuverlässig zu gewährleisten, fließen in das System zusätzlich weitere Sensordaten ein, darunter DGPS-Daten. Hierzu ist auf dem Schiff ein GPS/DGPS- Empfänger erforderlich. Die empfangenen GPS-Daten werden anhand der von Referenzstationen gesendeten Daten korrigiert. Im Ergebnis wird die Inland ENC unter dem Radarbild so positioniert und orientiert, dass auf dem Monitor das Symbol des eigenen Schiffes in Vorausrichtung jeweils der aktuellen Position in der Karte entspricht.

Die dritte Komponente von ARGO bilden die Tiefeninformationen, die für bestimmte, abladebestimmende Wasserstraßenabschnitte in die Inland ENC integriert werden. Grundlage für die Tiefeninformationen sind regelmäßige Peilungen im Fahrwasserbereich. Die Peildaten werden über ein qualitätsgesichertes Verfahren plausibilisiert, ausgewertet und in ein digitales Geländemodell überführt. Daraus werden Tiefenlinien erzeugt, die als Tiefenflächen (für einen Tiefenbereich von jeweils 10 cm) in die Inland ENC integriert werden.

Um abhängig vom aktuellen Wasserstand die tatsächliche Fahrwassertiefe darstellen zu können, muss die Tiefenfläche in Bezug zum aktuellen Wasserspiegel gesetzt werden. Hierzu wurde von der Bundesanstalt für Wasserbau ein dynamisches Wasserspiegelmodell erstellt. Mit Hilfe dieses Modells wurden für die Streckenabschnitte mit Tiefeninformationen Wasserspiegellagen errechnet. Die Wasserspiegellagen sind in Abhängigkeit von einem Bezugspegel für die jeweilige Strecke in Zentimeter-Schritten in ARGO hinterlegt. So ist es möglich, durch die interaktive Eingabe des aktuellen Pegelwerts die tatsächliche Fahrwassertiefe für jeden Punkt der Strecke zu errechnen. Bei Eingabe eines Tiefenanspruchs für das Fahrzeug wird auf dem Monitor eine Sicher-

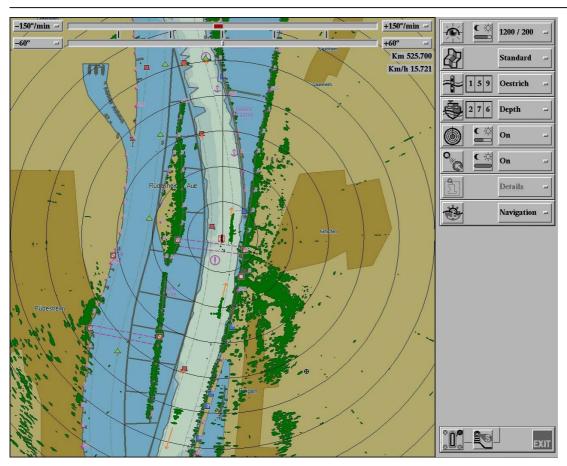


Abb. 1: ARGO Anwendung im Navigationsbetrieb

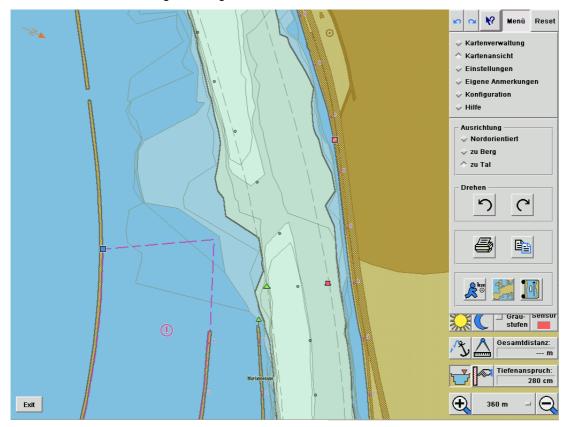


Abb. 2: ARGO Anwendung im Informationsbetrieb

heitskontur in die Inland ENC eingeblendet, die den, entsprechend den eingegebenen Parametern, sicher befahrbaren Bereich des Fahrwassers kennzeichnet.

In ARGO unterscheidet man zwei Betriebsarten: den Navigationsbetrieb und den Informationsbetrieb

Im Navigationsbetrieb (Abbildung 1) werden alle drei genannten Komponenten - elektronische Karte, Radarbild und Tiefeninformationen - auf einem Monitor dargestellt. Dadurch steht dem Schiffsführer zur Navigationsunterstützung ein vollständiges taktisches Verkehrsbild zur Verfügung.

Im Informationsbetrieb (Abbildung 2) werden nur die elektronische Wasserstraßenkarte und die auf den aktuellen Wasserstand bezogenen Tiefeninformationen dargestellt. Der Informationsbetrieb hat die Funktion eines elektronischen Atlasses. Durch den Anschluss eines GPS-Empfängers ist es möglich, die Position des eigenen Schiffes in die Inland ENC einzublenden und den Kartenvorschub entlang der Flussachse so zu steuern, dass die Inland ENC entsprechend der Fahrt des Fahrzeugs mitgeführt wird. Da alle Informationen über die Verkehrssituation fehlen, darf der Informationsbetrieb nicht für die Navigationsunterstützung eingesetzt werden.

Im Folgenden wird der Einsatz von ARGO und der damit verbundene Nutzen an den Beispielen Rhein und Donau näher erläutert.

wenn es gelingt, die Abladetiefe zu vergrößern. Für die Hauptverkehrsrelationen von den Niederlanden in den Duisburger Raum, zur Mosel, zum Main und zum Neckar bestehen in erster Linie folgende Engpassstrecken: Emmerich - Lobith (km 850-865), Nonnenwerth - Drachenfelser Grund (km 641-644), Hattenheim - Kaub (km 516-547, im Rheingau und in der sogenannten Gebirgsstrecke) und Maxau - Philippsburg (km 362-390). Eine weitere Vertiefung der Fahrrinne in diesen abladerelevanten Strecken ist aufgrund der morphologischen Gegebenheiten jedoch nur begrenzt möglich.

Beispielsweise in der Gebirgsstrecke des Rheins ist eine Vertiefung der Fahrrinne nur bei Einschränkung der Breite durchführbar; dabei droht die Strömungsgeschwindigkeit in einem für die Schifffahrt kritischen Umfang zu steigen. Umfangreiche Vertiefungsarbeiten an der felsigen Sohle könnten den Wasserspiegel wiederum so weit sinken lassen, dass der Ausbauerfolg beeinträchtigt würde.

Durch Einführung des ARGO-Navigationsbetriebs mit einer verbesserten, umfangreicheren und aktuelleren Tiefeninformation in den Engpassbereichen erwartet die Wasser- und Schifffahrtsverwaltung einen höheren Auslastungsgrad der Schifffahrt infolge einer effektiveren Disposition durch optimale Ausnutzung der Fahrrinnentiefe. Zur Quantifizierung des Nutzens wurden Wirtschaftlichkeitsberechungen unter volkswirtschaftlicher und betriebswirtschaftlicher Betrachtung durchgeführt. Der dargestellte Nutzen basiert

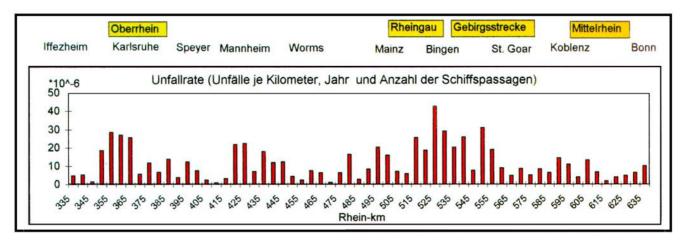


Abb. 3: Unfallstatistik des Mittelrheins der Jahre 1987 - 1996

2.2 Einsatz von ARGO am Rhein

Die Wirtschaftlichkeit des Gütertransports auf dem Rhein kann vor allem dann verbessert werden, allein auf der erwarteten tieferen Abladung. Darüber hinaus wird eine höhere Verkehrsicherheit und verringerter Unterhaltungsaufwand erwartet.

Die Analyse der Unfallstatistik des Mittelrheins der Jahre 1987-1996 (Abbildung 3) zeigt eine deutlich erhöhte Unfallrate für Engpassstellen, insbeson-

Informationsmanagement für die Bundeswasserstraßen in Deutschland Teil 1: Neue Informationssysteme für die Binnenschifffahrt in Deutschland

dere für den Rheingau und die Gebirgsstrecke. Da die häufigste Konfliktsituation Grundberührung/Auflaufen ist, wird eine Minimierung der durch Grundberührungen verursachten Unfälle prognostiziert. Dies gilt insbesondere für die Schifffahrt ohne hervorragende Kenntnis der kritischen Reviere.

Allein die Nutzung von Inland ENC ohne Tiefeninformation verspricht aufgrund der enthaltenen Zusatzinformationen einen deutlichen Gewinn für die Sicherheit und Leichtigkeit des Schiffsverkehrs für diesen Nutzerkreis mit geringer Streckenkenntnis.

Die Verwaltung erwartet aufgrund erster eigener Erfahrungen mit dem ARGO Informationsbetrieb am Rhein eine effizientere Aufgabenerledigung für den Betrieb und die Unterhaltung der Wasserstrasse durch Einsparung von schwimmenden Schifffahrtszeichen, grafische Unterstützung bei Arbeiten zur Einmessung und Dokumentation bei havarierten Fahrzeugen, Verlegung von Tonnen im Rahmen der Kartenfortführung sowie zur Visualisierung in den Revierzentralen (VTS).

2.3 Einsatz von ARGO an der Donau

An der Donau existiert zwischen Straubing und Vilshofen ein freifließender Streckenabschnitt, der im Vergleich zu den ober- und unterhalb gelegenen staugeregelten Bereichen deutlich geringere Fahrrinnentiefen aufweist. Deshalb stellt dieser Abschnitt eine Engpassstrecke für die Schifffahrt dar, die dazu führt, dass in Niedrigwasserzeiten (ca. 200 Tage im Jahr) die Schifffahrt den Abschnitt nur mit geringen Abladetiefen passieren kann. Teilweise werden die Schiffe geleichtert, im ungünstigsten Fall ist eine Fahrtunterbrechung notwendig. Auch eine Wasserstandsvorhersage, die wegen der starken Wasserspielschwankungen - insbesondere unterhalb der Isarmündung - nur einen sehr kurzen Vorhersagezeitraum zulässt, schafft hier kaum Abhilfe. Außerdem gibt es in diesem Abschnitt ständig wechselnde morphologische Zustände, welche die Kalkulation der Abladung erschweren. Insgesamt führt dieser Streckenabschnitt zu einer erheblichen wirtschaftlichen Beeinträchtigung der Schifffahrt. Durch die Einführung des ARGO Navigationsbetriebs mit Tiefeninformationen im Streckenabschnitt Straubing-Vilshofen werden der Schifffahrt Informationen zur Verfügung gestellt, die es ihr ermöglichen, in Abhängigkeit vom aktuellen Wasserstand die Wassertiefen optimal auszunutzen. Zusätzlich wird die Gefahr von Grundberührungen minimiert.

2.4 Stand der Einführung von ARGO und geplante Weiterentwicklungen

Entwickelt wurde ARGO seit 1998 im Rahmen eines Pilotprojekts am Rhein. Zur Demonstration der Praxistauglichkeit wurde Mitte des Jahres 2000 ein ARGO- Probebetrieb mit 12 Gütermotorschiffen gestartet. Ausgerüstet wurden diese Probebetriebsschiffe mit einer kommerziell nutzbaren Weiterentwicklung des ARGO Prototypen, dem Radarpilot 720°. Bislang ist der Radarpilot die einzige am Markt verfügbare Anwendung, die einen ARGO Navigationsbetrieb erlaubt. Andere Anbieter haben ihre Entwicklungen bisher auf den Informationsbetrieb beschränkt.

Ziel des Probebetriebs ist es, den nautischen und wirtschaftlichen Nutzen des ARGO Navigationsbetriebs insbesondere im Hinblick auf die Bereitstellung von wasserspiegelbezogenen Tiefeninformationen zu verifizieren und die organisatorischen und rechtlichen Voraussetzungen für einen Wirkbetrieb zu ermitteln. Aus diesem Grund wurden den Teilnehmern am Probebetrieb die Inland ENC mit Tiefeninformationen für einen rund 30 km langen Abschnitt in der Gebirgsstrecke des Rheins von der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung zur Verfügung gestellt. Nutzern außerhalb des Probebetriebs stehen bislang nur die Inland ENC ohne Tiefeninformationen zur Verfügung.

Erste Ergebnisse aus dem Probebetrieb lassen erkennen, dass der Einsatz von ARGO im Navigationsbetrieb ein Erfolg ist und dass die Schifffahrt ein starkes Interesse an der Bereitstellung von Tiefeninformationen hat. Aber auch außerhalb der Strecken mit Tiefeninformationen wird ein nautischer Nutzen in dem Navigationsbetrieb gesehen. Allein die exakte Kenntnis der Fahrrinne und die sichere Identifizierung von Hindernissen bei unsichtigem Wetter wird von den Probebetriebsteilnehmern als Vorteil und Sicherheitsgewinn gegenüber der Navigation nur mit Radar empfunden.

Die Begegnung von Fahrzeugen, die infolge ihrer Abladung auf den tieferen Bereich der Fahrrinne angewiesen sind, muss noch geregelt werden. Hierfür ist es erforderlich, dass sich diese Schiffe frühzeitig erkennen und ihre Begegnung untereinander abstimmen können. Für die Schiff-Schiff-Erkennung bietet sich der Einsatz von Transpondern (Automatic Identification System - AIS) als zusätzliche Navigationshilfe an. Für die Seeschifffahrt liegt bereits ein AIS- Standard vor, der für die Binnenschifffahrt ergänzt werden muss. Für das Jahr 2002 ist daher eine Erprobung des AIS als Ergänzung zu ARGO geplant.

Informationsmanagement für die Bundeswasserstraßen in Deutschland Teil 1: Neue Informationssysteme für die Binnenschifffahrt in Deutschland

Nach Abschluss des Probebetriebs und Auswertung der Ergebnisse ist vorgesehen, Inland ENC mit Tiefeninformationen offiziell allen Nutzern verfügbar zu machen. Hierzu sind jedoch noch die rechtlichen und organisatorischen Voraussetzungen zu schaffen. Die Bekanntgabe der Tiefeninformationen wird lediglich unter Ausschluss der Haftung möglich sein. Die Update-Häufigkeit der Tiefeninformationen muss den Erfordernissen des jeweiligen Streckenabschnitts angepasst werden. Das bisherige Verkehrssicherungskonzept der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung wird in dieser Hinsicht überprüft.

In der derzeitigen Fassung des Inland ECDIS Standards sind die wasserspiegelbezogenen Tiefeninformationen noch nicht eingebunden. Nach Vorlage der Ergebnisse des Probebetriebs ist eine Ergänzung des Inland ECDIS Standards vorgesehen.

Im Rahmen des ARGO- Pilotprojekts und in Vorbereitung eines Probebetriebs an der Donau wurden bisher Inland ENC für den Rhein von Iffezheim bis zur niederländischen Grenze, für den gesamten deutschen Streckenabschnitt der Donau und für 60 km des Mains hergestellt. Die Integration der Tiefeninformationen ist bisher nur im Bereich der Gebirgsstrecke des Rheins realisiert. Für die weiteren genannten Engpassstrecken des Rheins und für den Donauabschnitt Straubing - Vilshofen ist die Integration wasserspiegelbezogener Tiefeninformationen in Vorbereitung und wird voraussichtlich ab 2003 für den Wirkbetrieb zur Verfügung stehen.

Darüber hinaus ist beabsichtigt, schrittweise alle freifließenden und anschließend die wichtigen staugeregelten Wasserstraßen im deutschen Netz durch die Herstellung von Inland ENC für ARGO verfügbar zu machen. Durch die Erweiterung des Einsatzgebiets wird die Attraktivität des Systems für die Schifffahrt gesteigert.

Zur Sicherstellung einer qualitativ hochwertigen und hoch verfügbaren Positionsbestimmung im ARGO Navigationsbetrieb beabsichtigt die Wasser- und Schifffahrtsverwaltung, für die Aussendung des Korrekturdatensignals eigene Referenzstationen nach IALA- Standard im Mittelwellenbereich zu errichten.

Für die vollständige Abdeckung des deutschen Wasserstraßennetzes müssen hierzu in den nächsten Jahren noch insgesamt vier Sender aufgebaut werden.

3 ELWIS – Ein elektronisches Wasserstraßen-Informationssystem

Ziel der Entwicklung des Elektronischen Wasserstraßen-Informationssystem (ELWIS) war es, alle bei der Wasserstraßenverwaltung verfügbaren nautisch und betrieblich relevanten Informationen bedarfsgerecht der Schifffahrt im Internet zur Verfügung zu stellen. Dazu bedurfte es eines service- und kundenorientierten Wandels innerhalb der Verwaltung, der dazu geführt hat, dass bisher unveröffentlichte aber vorhandene und verfügbare Informationen für die Schifffahrt bereitgestellt werden. ELWIS ergänzt die vorhandenen Nachrichtenwege über Papier, Telefon, Telefax und Nautischer Informationsfunk (NIF) und wird langfristig einige dieser traditionellen Kommunikationswege ersetzen.

Im März 1999 wurde ELWIS in Betrieb genommen und steht allen Schifffahrtstreibenden und allen Interessierten unter der Internetadresse www.elwis.de zur Verfügung.

3.1 Aufbau und Inhalt von ELWIS

In ELWIS werden dem Nutzer sowohl auf statischen als auch dynamischen Internetseiten umfangreiche Informationen zur Verfügung gestellt. Die statischen Internetseiten enthalten all die Informationen, die über einen längeren Zeitraum konstant bleiben und für die keine interaktive Eingabe des Nutzers erforderlich ist. Viele der Informationen erfordern jedoch eine permanente Aktualisierung sowie den gezielten Zugriff auf eine Datenbank. Die Inhalte mit aktuellem Anlass von ELWIS werden soweit wie möglich dezentral von den zuständigen Dienststellen eingestellt und gepflegt. Dies bezieht sich vor allem auf die Nachrichten für die Binnenschifffahrt, die bei aktuellem Anlass unmittelbar in ELWIS eingestellt werden. Dazu wurde ELWIS als ein sogenanntes Content Management System eingerichtet, welches die dezentrale Eingabe von Daten in eine zentrale Datenbank erlaubt.

Folgende Informationen stehen in ELWIS u.a. zur Verfügung:

- Wasserstände, Wasserstandsvorhersagen,
- Nachrichten für die Binnenschifffahrt (NfB) (z.B. Verkehrsinformationen über Sperrungen oder Behinderungen des Schiffsverkehrs),
- Verkehrswirtschaftliche Informationen wie z.B. aktuelle Kabotageanträge,
- Klassifizierung der Binnenwasserstraßen und kennzeichnende Abmessungen der Schleusen, Brücken etc.,

Informationsmanagement für die Bundeswasserstraßen in Deutschland Teil 1: Neue Informationssysteme für die Binnenschifffahrt in Deutschland

- Verordnungen und Hinweise zum Schifffahrtsrecht und zu Schiffsuntersuchungen,
- Statistische Informationen über den Binnenschiffsverkehr in Deutschland und den Durchgangsverkehr an Schleusen,
- Hinweise und Informationen für die Freizeitschifffahrt.
- Adressen der Dienststellen der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung.

Die vorstehenden Informationen werden in ELWIS kostenfrei von der WSV zur Verfügung gestellt. Dem Nutzer entstehen nur die vertraglich festgelegten Kosten des von ihm verwendeten Onlinedienstes bzw. Internetproviders und die Einwahlkosten in das Internet (Telefongebühren).

Im Frühjahr 2002 wurde in ELWIS das neue Modul ELWIS-Abo in Betrieb genommen. Bei ELWIS-Abo handelt es sich um einen Service, bei dem der Nutzer die Möglichkeit hat, Informationen aus ELWIS zu abonnieren, um sich diese dann zukünftig automatisch anzeigen zu lassen. Die ausgewählten Informationen können dabei als E-Mail auf dem Computer oder als E-Mail auf dem Mobilfunktelefon (über SMS) des Nutzers angezeigt werden. Je nach Auswahl erfolgt die Informationsbenachrichtigung regelmäßig oder ereignisgesteuert.

Folgende Informationen stehen in ELWIS-Abo zur Verfügung:

- Wasserstände,
- Nachrichten für die Binnenschifffahrt (NfB),
- Kabotageanträge
- Fahrrinnen- und Tauchtiefen der WSD Ost (ab August 2002).

3.2 Ausblick

Ausgehend von dem Bedarf der Nutzer werden für ELWIS auch weiterhin neue Module entwickelt. Hierzu ist ein möglichst häufiger Erfahrungsaustausch mit den Nutzern von ELWIS erforderlich. Dies betrifft zum einen die Nutzer aus der Schifffahrt, zum anderen aber auch die Nutzer aus der eigenen Verwaltung, für die ELWIS in vielen Fällen ein wichtiges Werkzeug ihrer Aufgabenerledigung geworden ist. Die technischen Entwicklung erfordert die ständige Anpassung der bestehenden Module. Ziel ist dabei, die Bedienerfreundlichkeit von ELWIS zu verbessern und den Nutzungsgrad des Systems weiter zu erhöhen.

Folgende Module sind für die Weiterentwicklung von ELWIS geplant:

Standardisierung der Nachrichten für die Binnenschifffahrt (NfB)

Die Formate und Inhalte der NfBs werden mit verschiedenen europäischen Nachbarstaaten vereinheitlicht und standardisiert, damit eine problemlose Übernahme in die Informationssysteme anderer Länder und eine automatisierte Übersetzung erfolgen kann. Zur Organisation dieser Aufgabe wurde eine internationale Arbeitsgruppe als Unterarbeitsgruppe der RIS-Arbeitsgruppe der ZKR eingerichtet.

Bekanntmachungen für Seefahrer (BfS) Mit dem Modul BfS wird der Informationsdienst in ELWIS zukünftig auf die deutschen Seeschifffahrtsstraßen ausgedehnt. Der Wirkbetrieb für das Modul BfS ist für 2002 geplant.

Eislagebericht

In ELWIS wird eine graphische Auskunft über die aktuelle Eislage auf deutschen Binnenwasserstraßen aufgebaut. Auf einer Übersichtskarte von Deutschland wird für die einzelnen Binnenwasserstraßen farblich unterschiedlich dargestellt, ob eine Behinderung der Schifffahrt durch Eis besteht.

4 MIB /MOVES – Zwei Anwendungen eines Meldesystems

4.1 Entstehung des Projekts

Das Ziel bei der Entwicklung des Verkehrserfassungssystems MOVES war es, eine Grundlage für die Optimierung des Verkehrsablaufs bei der Schleusendurchfahrt zu schaffen. Auch wenn viele Wasserstraßen in Deutschland noch über Kapazitätsreserven verfügen, kommt es an einigen Schleusen an staugeregelten Flüssen und Kanälen zu Staubildung und Wartezeiten. Dies ist an der Mosel besonders während der Sommermonate in erheblichem Umfang der Fall. Weil während dieser Zeit der regionale Fahrgastschiffsverkehr einen großen Teil der Schleusenkapazität belegt, entstehen für die durchgehende Güterschifffahrt lange Wartezeiten, die einen wirtschaftlichen Verlust darstellen.

Durch MOVES werden die Verkehrsdaten einer Wasserstraße erstmalig so erfasst, dass daraus ein strategisches Verkehrsbild im Sinne der RIS-Guidelines abgeleitet werden kann. Die momentane und die vorhersehbare Verkehrssituation an den Schleusen soll auf diese Weise den Verkehrsteilnehmern mitgeteilt werden, damit sie ihr Verhalten darauf einstellen können.

Informationsmanagement für die Bundeswasserstraßen in Deutschland Teil 1: Neue Informationssysteme für die Binnenschifffahrt in Deutschland

In der technischen Realisierung von MOVES bediente man sich der Software des zuvor für den Rhein entwickelten und im Wirkbetrieb befindlichen Gefahrgutmeldesystems MIB. Es lag daher nahe, für das Pilotprojekt an der Mosel beide Systeme trotz ihrer unterschiedlichen Zielrichtungen zusammenzufassen.

Ziel von MIB ist die Steigerung der Sicherheit im Schiffstransport; Ziel von MOVES ist die Verbesserung des Verkehrsablaufs. Für beide Zwecke müssen Schiffs- und Reisedaten zu Beginn einer Reise erfasst und reisebegleitend aktualisiert werden.

Das Projekt wurde an der Mosel in Zusammenarbeit mit der luxemburgischen und der französischen Wasserstraßenverwaltung realisiert. Ein grenzüberschreitender Datenaustausch wurde vereinbart.

4.2 Aufbau und Funktion des Systems an der Mosel

Die Grundlage von MIB/MOVES bilden untereinander vernetzte Computer auf jeder Schleuse und den Revierzentralen am Rhein. Vor den Schleusen sind im Abstand von einigen Kilometern sowohl in Berg- als auch in Talrichtung Meldepunkte markiert, an denen der Schiffer über Funk eine Meldung abgeben muss. Jeweils bei der ersten Meldung einer Fahrt teilt der Schiffer die festen Schiffsdaten (Fahrzeugidentifizierung und Fahrzeugabmessungen) sowie Reise- und Ladungsdaten mit. Fahrzeuge, die der Gefahrgutmeldepflicht unterliegen, müssen dabei umfangreichere Angaben zu Fahrtroute, Ladung, Gefahrstoffen und Personenanzahl machen. Bei allen anderen Fahrzeugen genügt die Angabe des Beladungszustands (beladen/leer).

Diese Daten werden entsprechend dem Reiseverlauf der Schiffe von einer Schleuse zur nächsten weitergeleitet. Bezogen auf MIB stehen so im Falle einer Havarie die notwendigen Informationen insbesondere über Gefahrguttransporte unmittelbar zur Verfügung und können an die zuständigen Einsatz- und Rettungskräfte weitergegeben werden.

Für MOVES werden jedem Datensatz an jeder Schleuse zusätzliche zeitliche Daten hinzugefügt:

- die geplante Ankunftszeit im Schleusenbereich (ETA),
- die tatsächliche Ankunftszeit im Schleusenbereich.
- die Einfahrtszeit in die Schleuse.
- die Ausfahrtszeit aus der Schleuse.

Aus der Ausfahrtszeit der vorangegangenen Schleuse lässt sich wiederum eine geplante Ankunftszeit an der nächsten Schleuse errechnen. Fahrtunterbrechungen müssen den Schleusen von den Schiffern über Funk mitgeteilt werden und werden in MIB/MOVES ebenfalls aufgezeichnet. Dadurch hat jede Schleuse einen genauen Überblick über den auf sie zukommenden Verkehr und ist in der Lage, die Belegung der Schleusenkammer bestmöglich auszunutzen.

Die Daten aller Schleusen können online in den jeweiligen Schifffahrtsbüros abgerufen werden. Dies dient der Analyse und Archivierung der Verkehrsdaten, ermöglicht aber auch einen Gesamtüberblick über die Verkehrssituation auf der Wasserstraße. In besonderen Fällen, wie der Sperrung der Wasserstraße bei Hochwasser oder einer Havarie, kann damit eine gezielte Verkehrslenkung (z.B. Belegung der Liegeplätze) unterstützt werden.

4.3 Ausblick

Die Rückmeldung der momentanen und vorhersehbaren Verkehrssituation an die Verkehrsteilnehmer ist bis jetzt noch nicht realisiert. Hierzu ist in diesem Jahr der nächste Schritt des Proiektes vorgesehen. An der Eingangsschleuse vom Rhein in die Mosel sollen die geplanten Ankunftszeiten von allen Fahrzeugen bereits aus einer größeren Entfernung (ca. 50 km) gemeldet und auf der Fahrtstrecke bis zur Moselmündung mehrfach aktualisiert werden. Die momentane und vorhersehbare Verkehrssituation, die sich aus diesen Meldungen ergibt, wird den Verkehrsteilnehmern beispielsweise über ELWIS bekannt gegeben. Der wirtschaftliche Vorteil, der sich aus einer der Verkehrssituation angepassten Fahrweise ergibt, ist für die Zufahrt auf die Eingangsschleuse besonders groß, weil auf einer relativ langen Strecke durch Reduzierung der Fahrgeschwindigkeit eine beachtliche Kraftstoffersparnis erzielt werden kann.

Langfristig ist es das Ziel, über die unverbindliche Rückmeldung der geplanten Ankunftszeiten (ETA) hinaus den Schiffern die erforderlichen Ankunftszeiten (RTA) an der Schleuse verbindlich zuzuweisen. Dies wäre ein wichtiger Schritt für eine zuverlässige Reiseplanung.

Hiezu müssen jedoch noch die schifffahrtspolizeilichen Voraussetzungen geschaffen werden. Außerdem müssen für die Zuweisung von RTA die gemeldeten ETA möglichst zuverlässig geschätzt werden können. Aus diesem Grund wird überlegt, in das strategische Verkehrsbild, das aus den

Informationsmanagement für die Bundeswasserstraßen in Deutschland Teil 1 : Neue Informationssysteme für die Binnenschifffahrt in Deutschland

Schiffsanmeldungen abgeleitet wird, eine Verkehrssimulation einzubeziehen. Ansätze zu geeigneten Verkehrssimulationen gibt es bereits von verschiedenen Universitäten und von der Bundesanstalt für Wasserbau.

Ein weiterer Aspekt, mit dem sich die Fortentwicklung von MIB/MOVES beschäftigen wird, ist die technische Übermittlung der Schiffsmeldung. Derzeit werden die Meldungen überwiegend über Funk abgegeben. Es besteht aber auch die Möglichkeit, die Erstmeldung, bei der teilweise umfangreiche Reise- und Ladungsdaten angegeben werden müssen, auf elektronischem Weg zu übertragen. Voraussetzung hierfür ist die Ausstattung an Bord mit einem PC und einem GSM-Modem sowie eine geeignete Software. Auch wenn derzeit noch nicht sehr viele Schiffe mit der hierfür erforderlichen Kommunikationstechnik ausgestattet sind, kann im Hinblick auf die anstehenden Verbesserungen durch GPRS/UMTS ein rascher Anstieg der Ausstattung erwartet werden.

Da auch in den europäischen Nachbarländern für unterschiedliche Zwecke (Statistik, Abgabenerhebung, Gefahrgutmeldungen etc) Daten von den Schiffen abgefragt werden, bemühen sich die Verwaltungen der betroffenen Länder. Schiffsmeldesysteme zu harmonisieren und die Grundlage für einen grenzüberschreitenden Datenaustausch zu schaffen. Zu diesem Zweck wurde eine Expertengruppe zu dem Thema "Ship Reporting Systems" eingerichtet. Sie wird einen Bericht für die Zentralkommission für die Rheinschifffahrt (ZKR) ausarbeiten.

Verfasser:

Bauoberrätin Dipl.-Ing. Claudia Oberheim Wasser- und Schifffahrtsdirektion Südwest Brucknerstraße 2, 55127 Mainz

Tel.: 06131 979-290

e-mail: C.Oberheim@wsd-sw.wsv.de

Baudirektor Dipl.-Ing. Michael Heinz Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen, Dienstsitz Bonn Robert-Schuman-Platz 1, 53175 Bonn Tel.: 0228 300-4211

e-mail: Michael.Heinz@bmvbw.bund.de

Vermessungsdirektor Dipl.-Ing. Ludwig Steinhuber Wasser- und Schifffahrtsdirektion Süd Wörthstraße 19, 97082 Würzburg Tel.: 0931 4105-420

e-mail: L.Steinhuber@wsd-s.wsv.de

Vermessungsoberrat Dipl.-Ing. Joachim Blesenkemper Wasser- und Schifffahrtsdirektion West Cheruskerring 11, 48147 Münster Tel.: 0251 2708-481

e-mail: Blesenkemper@wsd-w.wsv.de

Informationsmanagement für die Bundeswasserstraßen in Deutschland

Teil 2:

WaGIS - das Geoinformationssystem für die **WSV**

Dr-Ing. Manuela Osterthun

WaGIS-Gesamtprojektleiterin und Dezernentin im Dezernat Neubau der WSD Mitte

Dipl.-Ing. Michael Seifert

Stellvertretender WaGIS-Gesamtprojektleiter und Dezernat Neubau der WSD Mitte

Zusammenfassung

WaGIS (Wasserstraßen-Geoinformationssystem) stellt die Umsetzung der GIS-Konzeption für die Aufgabenerledigung der WSV dar. Ziel des Projektes WaGIS ist die Entwicklung eines Systems zur einheitlichen Nutzung raumbezogener digitaler Grundlageninformationen zu Objekten an den Bundeswasserstraßen. Den Anwendern der WSV sollen alle Informationen aus verschiedenen Fachbereichen in einer einheitlichen Form zur Verfügung stehen. Neben einer reinen Auskunft kann der Anwender auch Daten analysieren und in Form von Karten präsentieren oder in seine eigenen IT-Systeme übernehmen. WaGIS ist ein eigenständiges, übergeordnetes Informationssystem mit eigenen Recherche- und Auswertemöglichkeiten. Die WaGIS-Basisversion ist so konzipiert, dass ausgehend von der zukünftigen IT-Strategie und sich verändernden Nutzeranforderungen eine Anpassung und Weiterentwicklung möglich ist.

Die vorhandenen IT-Verfahren (sie entsprechen Fachinformationssystemen) dienen auch weiterhin der Bewältigung konkreter Fachaufgaben. Die Datengrundlagen für WaGIS werden von den IT-Verfahren geliefert, die Aktualisierung der Daten ist ebenfalls Aufgabe der IT-Verfahren, ebenso die IT-unterstützte technische Bearbeitung (Berechnungen, Planung,...) durch Fachanwender.

Das System setzt auf Standardprodukten der Firmen Informix, ESRI und Bentley auf und wird mit Standard-Entwicklungswerkzeugen und grammiersprachen entwickelt. Bei der Umsetzung des Anforderungen auftretende kritische Aspekte bei der Umsetzung werden beleuchtet.

1 Verwaltung der Bundeswasserstraßen in **Deutschland**

Die Bundesrepublik Deutschland ist Eigentümerin eines Bundeswasserstraßennetzes von Binnenwasserstraßen 7.300 km und 17.800 km² Seewasserstraßen. Hiervon entfallen ca. 6.500 km auf Binnenschifffahrtsstraßen und ca. 750 km auf Seeschifffahrtstraßen ohne Außenbereiche der seewärtigen Zufahrten. Etwa 35 % der Netzlänge sind frei fließende bzw. geregelte Flussstrecken, 41 % staugeregelte Flussstrecken und 24 % künstliche Wasserstraßen (Kanäle) [1]. Über 5.000 km davon sind Binnenwasserstraßen von internationaler Bedeutung als Bestandteil des transeuropäischen Netzes. Die Bundeswasserstraßen werden durch eigene Behörden – die Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV) - verwaltet. Das Güterverkehrsaufkommen auf den Binnenwasserstraßen entsprach mit 242 Mio. Gütertonnen in 2000 (bzw. einer Verkehrsleistung von 66,5 Mrd. Tonnenkilometer) etwa 90 % der Eisenbahn in Deutschland.

Die WSV ist dem Bundesministerium für Verkehr. Bau- und Wohnungswesen (BMVBW) nachgeordnet und gliedert sich in Mittel- und Unterinstanz. Die Mittelinstanz besteht aus sieben Wasser- und Schifffahrtsdirektionen (WSD) mit insgesamt 39 Wasser- und Schifffahrtsämtern (WSA) mit ca. 140 Außenstellen, acht Wasserstraßenneubauämtern (WNA/NBA) sowie Sonderstellen für Maschinenwesen, Kartenwesen, Fernmeldetechnik und Informationstechnik [1]. Zur WSV gehören außerdem als Oberbehörden die Bundesanstalten für Wasserbau (BAW) und für Gewässerkunde (BfG) sowie das Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH).

2 Aufgaben der WSV

Nach dem Bundeswasserstraßengesetz obliegen den etwa 17.000 Mitarbeitern der WSV die Unterhaltung der Bundeswasserstraßen und der Betrieb der bundeseigenen Schifffahrtsanlagen. Dies umfasst die Erhaltung eines ordnungsgemäßen Zustands des Wasserabflusses und der Schiffbarkeit. Zur Unterhaltung gehören Räumung, Freihaltung, Schutz und Pflege des Gewässerbetts mit seinen Ufern, Setzen und Betreiben von Schifffahrtszeichen, Wasserstands- und Hochwassermeldedienst, verkehrsbedingte Wasserbewirtschaftung sowie Eisbekämpfung. Darüber hinaus gehören der Aus- und Neubau der Bundeswasserstraßen zu den Aufgaben der WSV. Um die Zulässigkeit der Baumaßnahmen zu begründen, sind behördliche Verfahren und Verwaltungsakte erforderlich. Bei all diesen Maßnahmen sind die Anforderungen der Fischerei, des Naturhaushalts sowie Bild und Erholungswert der Gewässerlandschaft zu berücksichtigen, so dass die natürlichen Lebensgrundlagen bewahrt werden [1]. Im Rahmen der rechtlichen Absicherung der Baumaßnahmen werden technische Planungen, Grunderwerbsunterlagen, Umweltverträglichkeitsuntersuchungen, landschaftspflegerische Begleitpläne und verschiedenste Gutachten von Ingenieurbüros oder durch die WSV selbst erstellt [1].

In jüngerer Zeit gewinnt die Informationsbereitstellung für die Schifffahrt zunehmende Bedeutung in der WSV. Dies wird insbesondere durch die heute verfügbaren elektronischen Medien rasant gefördert. Neue Anforderungen hinsichtlich eines internetbasierten Informationsaustausches durch die WSV werden durch die eGovernment-Initiative des Bundes, BundOnline 2005 definiert [2].

3 Informationen in der WSV

All diese Aufgaben der WSV benötigen und erzeugen Information, die ein unerlässlicher Grundstock sind. Die Informationen können in analoger Form (z.B. Photos, Protokolle, Notizen, Handskizzen, Akten, Plankammermappen, (thematische) Karten, Statistiken) und/oder in zunehmendem Ausmaß als digitale Informationsträger (z.B. Datenbanken, Textdateien, digitale Zeichnungsdateien) verstreut oder auch gesammelt zu einem Fall oder Thema vorliegen [3].

5.1 Digitale Informationen

Im Zuge der technischen Entwicklung wurden auch in der WSV in den vergangenen Jahren zahlreiche rechnergestützte Werkzeuge zur Informationserzeugung und -verwaltung entwickelt. Um diese zu systematisieren und zu vereinheitlichen wurden WSV-weite IT-Verfahren eingeführt, beispielsweise

- auf der Basis der CAD-Software MicroStation
 [4] die
 - digitale Bundeswasserstraßenkarte (DBWK) in verschiedenen Maßstäben
 - digitalen Bauwerkskonstruktionszeichnungen (DBauKon)
 - digitale Anlagenkarte (DAK)
 - digitale Herstellung von Planunterlagen (DHP)
 - Fahrrinnentrassierung (TRASS)
 - Leitungsdokumentation (LDOKU)
 - Maschinenwesen (MES)
- die Wasserstraßendatenbank (WaDaBa)
- die Hydrologische Datenbank (HyDaBa)

- die Peildatenbank (PDB)
- das Liegenschaftsinformationssystem (LIS) usw.

Da diese Verfahren jedoch bei weitem nicht den Bedarf nach Datenhaltung und –verarbeitung abdecken, wurden in den letzten Jahren auch örtliche Verfahren aufgebaut und eingeführt sowie zur Effektivitätssteigerung unter Nutzung vorhandener Werkzeuge eigene Anwendungen entwickelt. Beispiele für diesen Komplex wären:

- EVDAT (Eigentümerverzeichnis-Datenbank) im Neubaubereich der WSD Mitte
- Leuchtfeuer-Datenbank im WSA Hamburg
- digitales Bestandswerk des WSA Regensburg.

5.2 Informationsverwaltung gestern und noch heute

Alle diese Informationen liegen verstreut vor, eine Verknüpfung der unterschiedlichen Datenbasen ist meistens nicht gegeben, die Informationen wissen nichts voneinander. Zudem ist der direkte Zugang zu den Informationen aus organisatorischen und technischen Gründen meist nur einem kleinen Nutzerkreis vorbehalten. Teilweise werden Fachinformationen zu denselben WSV-Objekten in Abhängigkeit von den zuständigen Fachbereichen in mehreren Verfahren erhoben und geführt, so dass möglicherweise redundante Daten mit unterschiedlicher Aktualität, Genauigkeit und Bezug zu eigentlich gleichen Fachinhalten vorliegen. Einen umfassenden Überblick, worüber welche Informationen wo tatsächlich vorliegen, gibt es nicht.

5.3 Gemeinsame Informationsnutzung gestern und noch heute

Bei der Aufgabenerledigung in den unterschiedlichen Fachbereichen werden zahlreiche interdisziplinäre Daten aus anderen IT-Verfahren am Arbeitsplatz benötigt.

So sind z.B. für die Aufgaben der Gewässerkunde vielfältige Daten erforderlich, wie z.B. der morphologische Zustand des Gewässers (Gewässerquerschnitte, Form und Beschaffenheit der Gewässersohle, Geschiebebewegungen), hydrologische Daten (Zeitreihen von Pegelaufzeichnungen, aktuelle Pegeldaten, Gefälle, Abflussprofile, Wasserstände, Fließgeschwindigkeiten, Abflussmengen, hydrometeorologische Daten) und Windwarnungen (Windstärke, -richtung und –stau).

Für Neubauplanungen oder auch Unterhaltungsmaßnahmen werden aktuelle Informationen z.B.

über den Zustand der in die Maßnahme einzubeziehenden Bauwerke, das vorhandene Gewässerbett, die Liegenschaftsverhältnisse, Planungen Dritter, ökologische Randbedingungen und u.a. auch gewässerkundliche Informationen benötigt, wobei diese Zusammenstellung keinen Anspruch auf Vollständigkeit erhebt.

Ebenso werden zahlreiche aktuelle Informationen über Bauwerke und Anlagen für die Weitergabe an Dritte benötigt, wie z.B. an das neu entwickelte Navigationssystem für die Schifffahrt - ARGO (Advanced River NaviGatiOn), wo bei der Erzeugung der elektronischen Flusskarte Inland ECDIS z.B. die Digitale Bundeswasserstraßenkarte oder Informationen über Schifffahrtszeichen usw. eingepflegt werden müssen.

Bei diesen drei beispielhaften Aufgabenfeldern war man bisher gezwungen, alle relevanten Fachinformationen bei den verschiedenen Verantwortlichen für die jeweiligen lokalen oder zentralen Fachanwendungen von sowohl der eigenen als auch anderen WSV-Dienststellen, von den Ländern oder von Ingenieurbüros und Fachgutachtern zu sammeln. Dabei werden oftmals lokale Datensammlungen in analoger oder digitaler Form angelegt, die üblicherweise Anderen aber nicht für weitere Aufgaben zur Verfügung stehen, so dass es häufig noch zu unnötigen Mehrfachsammlungen, -auswertungen und -bearbeitungen kommt. Zusätzliche Schwierigkeiten bei der Bearbeitung entstehen häufig durch nebeneinander existierende unterschiedliche IT-Verfahren mit unterschiedlichen Betriebsystemen und Parametern, durch erforderliches Expertenwissen bei der Nutzung der IT-Verfahren, durch fehlende definierte Schnittstellen zwischen den IT-Verfahren und für den direkten Zugriff auf Raumdaten Dritter, durch die Mehrfacherhebung gleicher Informationen mit unterschiedlicher Aktualität, durch die fehlende Durchgängigkeit für die Überführung der Daten in die MS-Office-Welt und durch den nicht vorhandenen übergeordneten Zugriff auf die Daten und zugehörige Metainformationen.

Geoinformationssysteme zur übergreifenden Nutzung und Verarbeitung von Geodaten

5.1 Geoinformationen

Bei den oben dargestellten Daten handelt es sich überwiegend um Geoinformationen. Diese bilden einen wesentlichen Teil des in der modernen Informations- und Kommunikationsgesellschaft vorhandenen Wissens und stellen somit ein Wirtschaftsgut ersten Ranges mit zunehmender Bedeutung dar. Ziel muss es daher sein, den Zugang zu Geodaten durch eine verbesserte Koordinierung sowie Ausschöpfung der Möglichkeiten der modernen Informationstechnologie für Verwaltung, Wirtschaft, Wissenschaft und den Bürger wesentlich zu erleichtern [5]. Diese Zielsetzung spiegelt sich wider in der Realisierung eines bundesweiten effizienten Datenmanagements für Geodaten, das Verwaltungen, Wirtschaft und Bürgern ermöglichen wird, Grundlagendaten als Basis für weitreichende wirtschaftliche und gesellschaftliche Entscheidungsfindungen aufzufinden [6].

Der Einsatz moderner Informationstechnik in den Bundesverwaltungen ist eine Grundvoraussetzung für das Wissensmanagement und die flächendeckende Bereitstellung von Geoinformationen und erlaubt eine Steigerung der Wirksamkeit von Verwaltungsabläufen sowie eine stärkere Kooperation zwischen den Verwaltungsebenen und den Bürgern [7].

Für die WSV bedeutet dies, dass eine einheitliche Nutzung raumbezogener digitaler Grundlageninformationen zu Objekten an Bundeswasserstraßen ermöglicht werden muss, indem Informationen aus verschiedenen Fachbereichen für alle Anwender der WSV in einheitlicher Form bereitgestellt werden mit dem Ziel der interdisziplinären Auskunft, Datenanalyse, Daten- und Ergebnispräsentation in Karten, Datenübernahme, Informationen über in der WSV verfügbare Datenbestände, Optimierung des Zugriffs auf Daten aller Fachbereiche, Verbesserung der Verwaltung, Auswertung und Darstellung raumbezogener Daten, Verbesserung der Integration von Geo-Daten externer Stellen, Unterstützung bei der Bearbeitung von querschnittsorientierten Fragestellungen und Arbeitsabläufen und der Langzeitarchivierung von Datenbeständen.

5.2 Geoinformationssysteme

Die beschriebenen Geoinformationen werden in einem Geoinformationssystem (GIS) objektbezogen zusammengeführt und hinsichtlich Aktualität, ausreichender Genauigkeit und Redundanzfreiheit abgeglichen. Damit sind die verfügbaren Daten unterschiedlichster Herkunft für den Nutzer über ein Werkzeug zugänglich.

Dabei entstehen Möglichkeiten, die über die der analogen Welt hinausgehen, wie z.B. das Zusammenspielen und Verknüpfen unterschiedlichster Informationen, um Übersichtstabellen zu erzeugen, Statistiken als Diagramme darzustellen, thematische Karten abzuleiten oder Photodokumentationen zu hinterlegen. Dies wird ermöglicht über Analyse- und kartographische Werkzeuge, die die gemeinsame Verarbeitung und Verknüpfung der unterschiedlichen Informationen erlauben, also eine Optimierung der Bearbeitung auch durch interdisziplinäre Arbeitsweisen.

BILL kommt daher zu der Definition: "Ein Geoinformationssystem ist ein rechnergestütztes System, das aus Hardware, Software, Daten und den Anwendungen besteht. Mit ihm können raumbezogene Daten digital erfasst und redigiert, gespeichert und reorganisiert, modelliert und analysiert sowie alphanumerisch und grafisch präsentiert werden" [8].

Ein Geoinformationssystem verwaltet im Unterschied zu einem klassischen Informationssystem Geodaten und Sachdaten. Diese Daten sind inhaltlich und räumlich selektierbar und auswertbar. Die Ableitung unterschiedlicher Ausgabeformen (Graphiken, Karten, Tabellen usw.) ist möglich. Der Begriff "Geo" (griech.: ge, gäa = Erde) verdeutlicht dabei, dass die Informationen einer an einem bestimmten Ort vorhandenen Sache, einem "Geoobjekt" zugeordnet werden, der Pegelwert also einem in einer Karte dargestellten Pegel. Unter einem Obiekt ist eine abgeschlossene Einheit unserer Welt zu verstehen, beispielsweise ein Schifffahrtszeichen, ein Flurstück, ein Bauwerk, ein Profil. In welche Objekte unsere Welt "zerlegt" wird, ist im "Objektartenkatalog" eines Geoinformationssystems festgeschrieben [3].

Ein Geoinformationssystem enthält somit

Geo(metrie)daten, die Objekte hinsichtlich Lage und Form darstellen und den Objekten einen Raumbezug geben. Sie enthalten Informationen über räumliche Ausschnitte der Erde und beschreiben (Geo-)Objekte hinsichtlich ihrer räumlichen Lage (Geometrie), ihrer Lagebeziehungen zu anderen Geoobjekten (Topologie) ihrer fachlich relevanten Eigenschaften (Thematik) und ihrer zeitlichen Veränderungen (Dynamik). Die Geometrie umfasst alle Angaben zur absoluten räumlichen Lage und Ausdehnung von Geoobjekten auf der Basis eines räumlichen Bezugssystems (Koordinatensystems).

Geodaten der WSV sind z.B. die DBWK in ihren verschiedenen Maßstäben, Vermessungspunkte mit Koordinaten, Lage von Querprofilen usw,

Sachdaten, die alle weiteren Informationen zu den Objekten darstellen (technische Werte, Texte, Bilder, Zeichnungen, Statistiken usw.).

Diese werden in der WSV z.B. durch Bauwerksdaten (Material, Baujahr), hydrologische Daten, Peildaten usw. repräsentiert.

5 WaGIS - Entwicklung eines verwaltungseigenen Informationssystems

5.1 WaGIS-Entwicklung

Um die neuen erweiterten Möglichkeiten, die die GIS-Technologie bietet, und um die zunehmenden Forderungen nach einem fachübergreifenden Wissensmanagement auch für die WSV nutzbar zu machen, wurden Mitte der 90er Jahre die ersten Vorarbeiten zum Aufbau eines verwaltungsei-Wasserstraßen-Geoinformationssystems (WaGIS) geleistet. In der Verwaltung wurden auch unter Einschaltung einer Beratungsfirma die bestehenden Informationsstrukturen untersucht und Anforderungen für WaGIS erhoben.

Auf dieser Grundlage erfolgte 1998/1999 eine europaweite Ausschreibung und schließlich die Vergabe an ein Firmenkonsortium unter Leitung der CSC Ploenzke AG mit den Konsortialpartnern con terra und ESRI zur Realisierung von WaGIS auf ESRI-Technologie.

5.2 WaGIS als Geodaten-Warenhaus

In der Konzeptphase entstand das nunmehr umgesetzte Modell von WaGIS als Geodaten-Warenhaus (siehe Abb. 1). Die in der WSV aufgebauten Datenbasen sollten dabei nicht vollständig mit allen Funktionalitäten Bestandteil von WaGIS werden, sondern vorerst als eigenständige Quellverfahren weiter existieren.

Für mehrere WSV-weite IT-Verfahren wurden Migrationskonzepte entwickelt, die die erstmalige und anschließend fortlaufende Übernahme der Daten sicherstellen. Da die Verfahren sehr unterschiedlich strukturiert und realisiert sind, konnten keine Migrationslösungen "von der Stange" genutzt werden. Die Daten werden je nach Quellverfahren automatisiert oder manuell den Datenbasen entnommen, in einem "Extraktor" in eine einheitliche Form gebracht und schließlich mit dem "Integrator" in die WaGIS-Import-Datenbank überführt.

WaGIS speichert sowohl Graphik- als auch Sachdaten mit ihren Verknüpfungen und Verweisen in einer Datenbank. Gewählt wurde die GIS-Software "Spatial Data Engine" (SDE) von ESRI auf einer INFORMIX-Datenbank. Damit wird eine GIS-Infrastruktur geschaffen, die auch für künftige IT-Verfahren zur Verfügung steht, so dass *WaGIS* damit eine Schlüsselstellung als Datendrehscheibe der WSV erhält [9].

Sowohl Migrationswerkzeuge als auch der Importund der zentrale Auskunftsserver befinden sich in der Fachstelle für Informationstechnik (F-IT) der Bundesanstalt für Wasserbau in Ilmenau / Thüringen, eine Oberbehörde der WSV.

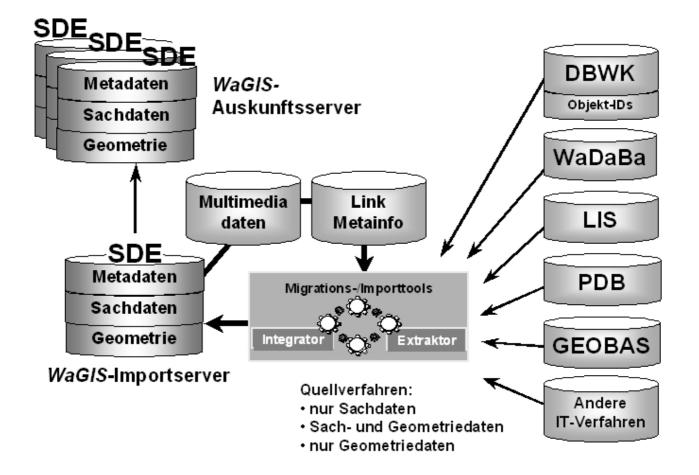


Abb. 1: WaGIS als Geodaten-Warenhaus

Lese-Nutzung sowie Datenpflege -fortführung zu entkoppeln, steht diese Datenbank zweimal zur Verfügung: einmal auf einem Importserver und einmal auf einem zentralen Auskunftsserver. Das Konzept sieht jedoch die Möglichkeit vor, aus Leistungs- oder Administrationsgründen weitere Auskunftsserver - entweder zentral oder auf weitere Dienststellen verteilt - vorzuhalten. Über ein Replikationskonzept werden diese Server auf dem gleichen "Wissensstand" wie der zentrale Informationsserver gehalten. Ob diese Auskunftsserver eingerichtet werden müssen, werden die Erfahrungen hinsichtlich Zugriffsanforderungen und Leistungsauslastung, aber auch die laufenden technischen Fortschritte zeigen.

Die F-IT ist zuständig für den Aufbau, die Pflege und die Administration von *WaGIS* aus IT-Sicht, die Zuständigkeit für die Bereitstellung der Daten verbleibt bei den jeweiligen Dienststellen, geregelt über die verschiedenen Quell-IT-Verfahren.

5.3 Zugriff auf WaGIS

Die Bereitstellung der Daten erfolgt bundesweit über das behördeneigene WSV-Intranet. Damit ist prinzipiell von jeder angeschlossenen Dienststelle der Zugriff auf alle in *WaGIS* gespeicherten Daten möglich. Der Zugriff auf die Daten ist über mehrere unterschiedlich ausgerichtete leistungsfähige und komplexere Werkzeuge möglich (s. Abb. 2).

WaGIS-Web

WaGIS-Web als komplette Neuentwicklung repräsentiert das untere Ende der Skala. Zur Nutzung sind keinerlei Installationen auf dem Rechner des Nutzers nötig, ein Intranet-Anschluss und Browser reichen aus. Schon mit WaGIS-Web können Kartenausschnitte ausgewählt werden, Vergrößerung und Visualisierung der verschiedenen Kartenwerke unterschiedlichen Basismaßstabs und Abruf der zu Objekten zugehörigen Sachdaten sind möglich. Recherchen können über eine Palette von Standardabfragen durchgeführt werden. Allerdings werden alle Karten – am Auskunftsserver generiert – lediglich als Raster (Bitmap)-Karten bereitgestellt.

ohne Vorwissen, welche Informationen in welcher Struktur in den WSV-IT-Verfahren gespeichert werden, schwierig.

WaGIS-Explorer

Ein aufwändigeres Werkzeug ist der *Wa-GIS-*Explorer. Dieser (hervorgegangen aus dem Arc-Explorer von ESRI) erlaubt schon komplexere Analysen und ermöglicht auch die Erzeugung und den Ausdruck einfacher thematischer Karten. Da die WSV-weite Vernetzung qualitativ noch sehr unterschiedlich ist und häufig die für die Übertragung von GIS-Vektordaten erforderlichen Anforderungen nicht erfüllt, enthält der *WaGIS*-Explorer drei unterschiedliche Funktionsmodi:

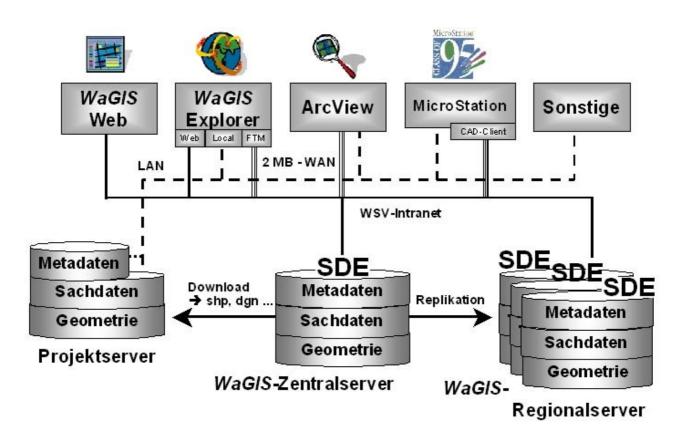


Abb. 2: WaGIS Zugriffswerkzeuge

Als Besonderheit enthält *WaGIS*-Web auch die Möglichkeit, Graphik- und Sachdaten nach räumlicher und inhaltlicher Vorauswahl in verschiedenen Formaten vom Zentralserver auf lokale Rechner oder Server zur Nutzung mit weiteren Werkzeugen herunterzuladen. *WaGIS*-Web wurde bewusst als einfaches, leicht bedienbares Werkzeug mit reduziertem Funktionsumfang konzipiert und kann prinzipiell ohne oder mit geringer Schulung genutzt werden. Allerdings ist die Nutzung völlig

- Der Web-Modus ähnelt WaGIS-Web, enthält jedoch mehr Möglichkeiten und ist für die Nutzung bei schwachen Datenleitungen gedacht.
- Der FTM-Modus (Fachthemenmanager) erlaubt sehr viele Analysen auf Vektorbasis, benötigt jedoch eine starke Anbindung (> 8 MB-Leitung) an einen Wa-G/S-Auskunftsserver.

Der Lokal-Modus schließlich ermöglicht, die zuvor mit WaGIS-Web auf den lokalen Rechner heruntergeladenen Vektor-GIS-Daten zu nutzen und bietet ähnliche Möglichkeiten wie der FTM-Modus.

Ein für die Zukunft vielleicht wesentlicher Punkt des WaGIS-Explorers ist die Möglichkeit, lokale Graphik-, Sach- oder GIS-Daten gemeinsam mit Daten des zentralen Auskunftsservers zu nutzen und auszuwerten. Damit werden die vielfältigen Informationen "vor Ort" auf den Rechnern, die nicht in den bundesweiten IT-Verfahren sondern beispielsweise in lokalen Tabellenkalkulationen oder lokalen Datenbanken geführt werden, bei entsprechender Vorstrukturierung echt (Wa) GIS -

ArcView mit WaGIS Extension

Am oberen Ende der Skala steht die Standard-Software ArcView, die für die effektive Nutzung der WaGIS-strukturierten Daten im zentralen Auskunftsserver um eine Erweiterung GIS-Extension" vervollständigt wurde. ArcView, ein weithin bekanntes Werkzeug, erlaubt schon anspruchsvollere GIS-Anwendungen, ist für eine allgemeine Verbreitung an jedem Arbeitsplatz jedoch zu kostenintensiv und zu komplex (Schulung) und ist daher für spezielle Aufgabenbereiche mit umfangreicheren GIS-Anforderungen vorgesehen.

5.4 Hypermediaanwendungen

Hypermediaanwendungen werden in WaGIS einerseits im WaGIS-Web, das als HTML-Anwendung beliebig erweiterbar ist, und andererseits durch eine universelle Lösung realisiert, so dass für jedes WaGIS-Objekt durch einen Link eingestellte Dokumente, Detailzeichnungen z.B. einer Brücke, Profilzeichnungen eines Gewässerprofils oder die Homepage eines Hafenbetreibers bereitgestellt werden können. Sofern es sich um eine HTML-Seite handelt, können auf dieser Seite wiederum Links auf diverse weitere Dokumente (Texte, Fotos, CAD-Zeichnungen, Filme ...) enthalten sein.

5.5 WaGIS als offenes System

Da WaGIS mit weltweit eingeführten Marktprodukten unter Berücksichtigung diverser Standards (OGC, ...) entwickelt wurde, ist auch der Zugriff durch weitere Werkzeuge offen. Hier wird die Zukunft zeigen, welche weiteren Anforderungen die breite Nutzung von WaGIS mit sich bringt (realisiert wurde ja zunächst nur eine "Basisversion") und welche Produkte diese Anforderungen optimal auch in wirtschaftlicher Hinsicht erfüllen.

Weiterhin herrscht Offenheit hinsichtlich der Migration weiterer Datenquellen. Passen diese Informationen in die WaGIS-Objektwelt, und sind die Anforderungen hinsichtlich Aktualität. Vollständigkeit, Qualität usw. erfüllt, kann nach Erstellen eines geeigneten Migrationswerkzeuges die Einbindung dieser Daten in WaGIS erfolgen? Damit lässt sich WaGIS theoretisch beliebig erweitern (z.B. für Umweltdaten [10], verkehrstechnische Daten, usw.).

Schwierigkeiten der Umsetzung

Selbstverständlich verläuft die Umsetzung eines solch umfangreichen und komplexen Vorhabens wie WaGIS nicht ohne Probleme und Überraschungen. Einige wesentliche Schwierigkeiten sind im Folgenden zusammen getragen.

Datenbasen

WaGIS wurde unter Berücksichtigung der Vorgabe realisiert, dass keine eigenen Datenbestände aufgebaut und in WaGIS gepflegt werden, sondern dass die in der WSV vorhandenen Datenbasen (unverändert) genutzt werden sollen. Im Laufe der Realisierung des Systems stellte sich jedoch heraus, dass keine einheitlich gute Datengrundlage vorliegt.

Einige Datenbestände der Quell-IT-Verfahren weisen hinsichtlich Vollständigkeit, Aktualität und Qualität Mängel auf, so dass sie keine flächendeckend nutzbare Basis für WaGIS darstellen können. Auch sind die inhaltlichen Strukturen häufig nicht auf den GIS-Nutzer ausgerichtet.

Eine weitere zu lösende Aufgabe ist der Umstand, dass als Basisgeometrie für WaGIS die Digitale Bundeswasserstraßenkarte (DBWK) in verschiedenen Maßstäben genutzt wird. Diese ist auf einem CAD-Software-Produkt (MicroStation) basierend zwar vektorbezogen strukturiert, aber nicht objektorientiert. Hier ist ein Übergang auf Objektorientierung vorzunehmen.

Statt in den zuständigen IT-Verfahren werden umfangreiche Datenbestände nutzer- oder dienststellenindividuell in lokalen Dateien unter Nutzung von Office-Produkten geführt. Eine WSV-weite Einheitlichkeit ist nicht gegeben.

Unterschiedliche Objektdefinitionen

Die WaGIS zugrunde liegenden IT-Verfahren wurden ursprünglich für einen begrenzten Fachnutzerkreis entwickelt. Die Objektdefinitionen der verschiedenen Verfahren unterscheiden sich. Für ein GIS ist jedoch wesentlich, dass es übergreifend nur eine Objektbedeutung inhaltlich und räumlich gibt. Beheben lässt sich dieser Mangel nur durch verfahrensübergreifende Vereinheitlichungen.

Bezugssysteme

Alle geometrischen Informationen liegen als Koordinaten vor. Der Bezug zwischen einem Punkt in der Welt und einem Koordinatenpaar oder tripel wird über ein einheitliches Bezugssystem hergestellt. Beschrieben wird dies durch ein geodätisches Datum und für die Möglichkeit der ebenen Darstellung durch eine Projektion, repräsentiert durch Funktionen und Parameter. Aus hoheitlichen und historischen Gründen gibt es in Deutschland kein einheitliches Bezugssystem. Dies fängt schon damit an, dass die frühere DDR und BRD unterschiedliche Ellipsoide zugrunde legten. Aber auch innerhalb und zwischen den einzelnen Ländern sind nicht einfach alle Koordinaten "zusammenspielbar".

WaGIS sollte als ein bundesweit nutzbares System jedoch durchgängige Daten bereitstellen können, also auf einem Bezugssystem aufbauen.

Weiterhin sollte der Zugriff auf die Originalkoordinaten weiterhin gewährleistet sein. Dieses nichttriviale Problem wird mit einem mehrstufigen Konzept gelöst, dessen erste Stufe inzwischen realisiert wurde. Die Lösung basiert auf einer Verspeicherung der Geometrie im künftigen europaweit einheitlichen Bezugssystem ETRS 89 und der Implementierung der notwendigen Transformationen, in der ersten Stufe noch stark vereinfacht.

Diese Lösung konnte nicht von anderen GIS-Systemen "abgeschaut" werden, da WaGIS als bundesweites System bis in Kataster-Maßstabsbereiche eine Neuheit darstellt.

Schnittstellen, Standards

WaGIS wurde als Geo-Daten-Warenhaus realisiert [11], es nutzt die Daten bestehender IT-Verfahren und stellt als Datendrehscheibe wieder Daten für andere Verfahren bereit. Hier waren und sind sehr unterschiedliche in der WSV vorhandene Standards und Schnittstellen zusammenzuführen. Dadurch verlangt jedes zusätzlich zu migrierende IT-Verfahren ein eigenes Migrationskonzept und eine eigene technische Lösung.

Extrem unterschiedliche Anforderungen

Fachinformationssysteme können hinsichtlich ihrer Struktur, Bedienung und Ausgabemöglichkeiten für einen speziellen Nutzerkreis ausgelegt werden. Ein GIS für alle Disziplinen kann hier natürlich nur Kompromisse eingehen. Die jetzt fertig gestellte Basisversion geht daher von einem Standardnutzer aus. Ein erster fachspezifischer Ansatz ist das Angebot der Auswahl von "Fachthemen", die fachbezogene Sichten auf die Daten ermöglichen. Fachanwender werden bei speziellen Dingen häufiger Enttäuschungen erleben. Dies ist durch die für weitere Entwicklungsstufen vorgesehenen Fachschulungen und Fachapplikationen behebbar.

Netzkapazität

WaGIS ist als Intranet-basiertes graphisches Informationssystem auf die Qualität der Datenleitungen angewiesen. Diese wird sich naturgemäß in den kommenden Jahren erheblich verbessern. Bis dahin sind für schlechter angebundene Dienststellen Probleme zu erwarten. Bei der Realisierung wurde dieser Problematik Rechnung getragen, indem unterschiedliche (Vektor- bzw. rasterbasierte) Visualisierungsmöglichkeiten angeboten werden und zudem ein Download als Mini-WaGIS für komplexere lokale GIS-Operationen, freilich dann mit einem abgekoppelten Datenbestand, vorgesehen ist. Für Dienststellen mit einem hohen Anteil an datenintensiven Anwendungen ist zudem die Einrichtung eines lokalen WaGIS-Servers mit Kopie des zentralen WaGIS-Server-Datenbestandes möglich.

Vorteile des Einsatzes von WaGIS

WaGIS kann und wird nicht spezifische Fachinformationssysteme und Fachsoftware (z.B. Statik, Ausgleichungs-, Verwaltungsprogramme) ersetzen. Diese sind für ihren begrenzten Anwendungsbereich viel effektiver und lassen sich häufig "von der Stange" preiswert beschaffen.

WaGIS hat seine großen Vorteile bei der Information, wo welche Daten vorliegen:

- bei der kombinierten Nutzung von Daten unterschiedlicher Systeme und Herkunft
- bei der GIS-bezogenen Arbeit mit Daten
- bei der Erzeugung thematischer Karten.

Dazu einige Beispiele/Fragestellungen (Voraussetzung: Daten liegen vor, dies ist zurzeit meist noch nicht gegeben):

Informationsmanagement für die Wasserstraßen in Deutschland Teil 2: WaGIS - das Geoinformationssystem für die WSV

Fachaufgaben:

- Wo grenzen Wasserstraßen mit einem speziellen Deckwerk und Profil an Naturschutzgebiete?
- In welchen Abschnitten mit in den letzten Jahren steigendem Grundwasserstand existieren keine digitalen Geländemodelle?
- Welche Flächen/Eigentümer drohen bei einer Kanalundichtigkeit betroffen zu sein, da die Flächen unter einer bestimmten Höhenkote liegen?
- Welche Festpunkte für Bauwerkskontrollen liegen nicht auf Flächen im Eigentum der WSV?

WaGIS unterstützt also sowohl bei der Erledigung von Fachaufgaben, bei denen man bisher mühsam die Daten zusammensammeln und zusammenführen musste, als auch bei der Erstellung von Ergebnisdarstellungen in Form von Tabellen, thematischen Karten, Übersichten,

Auch die Feststellung, dass <u>keine</u> oder nur alte Daten vorliegen, kann wertvoll sein. Zu erwarten sind daher positive Effekte hinsichtlich

- Datengualität
- Datenaktualität
- · Wirtschaftlichkeit bei der Datennutzung
- Verfügbarkeit der von verschiedenen Bearbeitern und Dienststellen gepflegten Daten.

8 Stand der Systemeinführung

Die Basissoftware, bestehend aus GIS-Datenbank, Migrationswerkzeugen für die wichtigsten IT-Verfahren, verschiedenen Nutzerapplikationen für die Dienststellen und Verwaltungswerkzeugen für die Systempflege wurde im September 2001 abgenommen.

Seither werden die Nutzungs- und Umsetzungsmöglichkeiten in verschiedenen Pilotvorhaben weiterentwickelt. Die daraus abgeleiteten Anforderungen werden beim weiteren Systemaufbau berücksichtigt.

Parallel hat die mühsame Arbeit der Daten-Migration begonnen. Das bereits beschriebene Problem der mangelhaften Datenhaltung und –pflege in mehreren IT-Verfahren muss mit Nachdruck gelöst werden.

Der momentane Pilotbetrieb wird zurzeit durch Hinzunahme der Datenbestände weiterer Dienststellen und Aufbau eines Nutzer - Betreuungssystems gleitend in den Wirkbetrieb überführt.

9 Erweiterte Nutzungsmöglichkeiten

Ein umfassend aufgebautes System *WaGIS* stellt einen großen Wert dar, wenn es darum geht, neue Anforderungen hinsichtlich der Bereitstellung komplexer Datenbestände zu erfüllen. Einige wenige in Konzeption befindliche Beispiele mögen dies illustrieren:

• WaGIS / ARGO:

ARGO benötigt als Informationssystem für die Schifffahrt umfangreiche objektorientierte GIS-Daten. Ziel ist es, die WSV-Standardverfahren so anzupassen, dass diese Daten möglichst ohne großen Zusatzaufwand gepflegt und über *WaGIS* für ARGO bereitgestellt werden können.

Bund Online 2005:

Am 18. September 2000 hat Bundeskanzler Schröder die eGovernment-Initiative Bund Online 2005 gestartet. Durch sie hat sich die Bundesregierung verpflichtet, alle internetfähigen Dienstleistungen der Bundesverwaltung bis 2005 online bereitzustellen. Auch Informationen zwischen Behörden sollen digital ausgetauscht werden.

Mit WaGIS verfügt die WSV über ein Werkzeug, das hervorragend geeignet ist, technische Informationen über die WSV und die Wasserstraßen anderen Behörden oder Dritten bereitzustellen. Da WaGIS-Web internetfähig ist und keine weiteren Softwareinstallationen beim Nutzer verlangt, könnte ein spezieller Datenbestand ohne größeren Entwicklungsaufwand auch allgemein bereitgestellt werden.

Vom Bundesamt für Geodäsie und Kartographie wird als Bund Online 2005-Projekt ein Metainformationssystem als Übersicht über alle wesentlichen Geoinformationen des Bundes, das GeoMIS.Bund aufgebaut Dazu werden zurzeit Konzepte erstellt, wie solche Metainformationen zu WSV-Datenbeständen über WaGIS erfasst und bereitgestellt werden können.

Diese Beispiele verdeutlichen, dass die Nutzungsmöglichkeiten von WaGIS weit über das ursprüngliche Konzept hinausgehen. Voraussetzung ist allerdings, dass es gelingt, "über den Berg" zu kommen und einen notwendigen Mindestbestand an objektorientierten Daten einzusammeln und über Pflegekonzepte auch dauerhaft zu verwalten. Da alle Privatunternehmen und Firmen mit ähnlich inhomogenen Datenbeständen zu kämpfen haben, wird WaGIS als erfolgreiches Konzept sicher Vorbildcharakter haben.

Informationsmanagement für die Wasserstraßen in Deutschland Teil 2 : WaGIS - das Geoinformationssystem für die WSV

10 Schrifttum

- [1] WSD Mitte (Red.): Informationen 1996/97, Drucksachenstelle der WSV, Hannover, 1997.
- [2] BUNDESMINISTERIUM DES INNERN: BundOnline 2005, Umsetzungsplan für die eGovernement-Initiative. Berlin, 2001.
- [3] OSTERTHUN, M.; SEIFERT, M.: WaGIS das Geoinformationssystem für die WSV. Informationen 2000/2001, Wasser- und Schifffahrtsdirektion Mitte (in Vorbereitung).
- [4] SEIFERT, M.; TIESELER, M.; OSTERTHUN, M.: CAD-gestützte Planung in der WSV. Informationen 1998, Wasserund Schiffahrtsdirektion Mitte, S. A140 - A147, Hannover, 1998/99.
- [5] BUNDESMINISTERIUM DES INNERN: Bericht zur Verbesserung der Koordinierung auf dem Gebiet des Geoinformationswesens. Verabschiedet vom Bundeskabinett am 17.06.1998.
- [6] Antwort der Bundesregierung auf eine Große Anfrage der CDU/CSU-Fraktion des Deutschen Bundestages (9/2000).
- [7] BUNDESREGIERUNG: Moderner Staat Moderne Verwaltung – Leitbild und Programm der Bundesregierung. Kabinettsbeschluss vom 1.12.1999.
- [8] BILL: Grundlagen der Geo-Informationssysteme. Bd. 1, Wichmann, Karlsruhe, 1991.
- [9] OSTERTHUN, M.; SEIFERT, M.: WaGIS -Datendrehscheibe für die Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes. Jahrbuch der Hafenbautechnischen Gesellschaft e.V., Bd. 53, Schiffahrts-Verlag "Hansa", Hamburg, 2002 (in Vorbereitung).
- [10] BLUHM, M.; OSTERTHUN, M.; SEIFERT, M.; VAHRENKAMP, B.: Wasserstra-ßen-Geoinformationssystem (WaGIS). In: GI-Fachausschuß 4.6 "Informatik im Umweltschutz" (Hrsg.): Hypermedia im Umweltschutz, 3. Workshop, Ulm 2000. Umwelt-Informatik aktuell, Bd. 24, S. 282 288, Metropolis, Marburg, 2000.
- [11] STAHL, R.; OSTERTHUN, M.; SEIFERT, M.; BLUHM, M.: Das Wasserstraßen-Geo-Informationssystem WaGIS - Informationsportal und Geo-Data-Warehouse für die Wasser- und Schifffahrtsverwaltung. ESRI Arc Aktuell, Nr. 2/3, S. 27 - 28, 2000.

Keywords: Wasserstraßenmanagement

Informationsmanagement
Wissensmanagement
Geodata Warehouse
Geoinformationssystem

Verfasser:

Dr-Ing. Manuela Osterthun Wasser- und Schifffahrtsdirektion Mitte Am Waterlooplatz 5, 30169 Hannover Tel.: 0511 9115-3188 e-mail: Manuela.Osterthun@wsd-m.wsv.de

Dipl.-Ing. Michael Seifert Wasser- und Schifffahrtsdirektion Mitte Am Waterlooplatz 5, 30169 Hannover Tel.: 0511 9115- 3490

e-mail: Michael.Seifert@wsd-m.wsv.de

Baggerungen und Handhabung von Baggergutmaterialien

Verminderung von Sedimentation in Hafenbecken

Robert Kirby
Ravensrodd Consultants Ltd.

Dr.-Ing. Hermann Christiansen, Strom- und Hafenbau Hamburg

1. Zusammenfassung

Bei Hafenbecken an sedimentreichen Gewässern, gibt es bei der Festlegung der erforderlichen Einfahrtsbreite seit langem einen Interessenkonflikt: Einerseits benötigt man eine möglichst breite Zufahrt, damit Schiffe sicher einlaufen können, andererseits sollte die Öffnung möglichst klein sein, um den Eintrag von Sedimenten und damit den ständigen Aufwand für Unterhaltungsbaggerungen gering zu halten.

Zur Entschärfung dieses Interessenkonfliktes wird ein System vorgestellt, bei dem mit konstruktiven Maßnahmen die "Strömungsverhältnisse" verändert werden. Die veränderten Strömungen führen zu einer deutlichen Sedimentationsverminderung und begünstigen außerdem die Schiffsmanöver, so daß geringfügige räumliche Einschränkungen infolge dieser Maßnahmen kompensiert werden können. Im Englischen werden diese Maßnahmen sehr treffend als "Entrance Flow Optimisation Structures = EFOS" bezeichnet. Diese Maßnahmen zur Optimierung der Strömungen an Hafeneinfahrten bestehen im Kern aus einer Strömungsumlenkwand (Current Deflecting Wall = CDW) sowie Grundschwellen bzw. Bermen außerhalb der Hafeneinfahrt. Es handelt sich hierbei nicht um Vertiefungs- sondern um "Anti-Verlandungs-Vorrichtungen."

Beispielhaft wird über Erfahrungen berichtet, die über einen Zeitraum von mehr als 10 Jahren mit einer CDW am Köhlfleet im Süßwasser- Tidegebiet der Elbe, im Hamburger Hafen gewonnen wurden. Die Sedimentation im gesamten Köhlfleet verminderte sich um mehr als 40%, ohne dass Sedimentationsanreicherungen an anderer Stelle festzustellen waren.

In den vergangenen Jahren wurden mit EU-Mitteln unterstützte Forschungsprojekte bei Delft Hydraulics durchgeführt, mit dem Ziel, die Physik der Strömungsverhältnisse bei der Verwendung von EFOS/CDW-Vorrichtungen genauer zu unter-

suchen. Diese Forschungen wurden jüngst dahingehend erweitert, dass Hafenbecken in Brackwasserbereichen mit einbezogen wurden. Modifizierte EFOS/CDW-Systeme haben sich auch dabei sehr gut bewährt.

Da die Sedimentation in Hafenbecken dieser Regionen, in denen sich Salz- und Süßwaser mischen, oft um eine Größenordnung höher sind als im reinen Süßwasser-Tidegebiet, haben Beiträge zur Sedimentationsverminderung hier eine noch höhere wirtschaftliche Bedeutung.

Für einige Häfen können sich durch EFOS/CDW-Systeme auch neue Perspektiven zukünftiger Entwicklungen eröffnen. Gemeint sind Häfen mit derzeit abgeschleusten Hafenbecken, die zwar weniger Sedimentationsprobleme aufweisen, dafür aber einen Wettbewerbsnachteil haben, wegen der zeitaufwendigeren Schiffsabfertigung infolge zweifacher Schleusungsvorgänge. Der Bau neuer, tideoffener, "schnellerer Hafenbecken" kann sich heute für diese Standorte rechnen, wenn es gelingt, die hohen Unterhaltungsaufwendungen für Baggerungen durch Minderungsmaßnahmen drastisch zu reduzieren.

EFOS/CDW-Syteme können an bestehenden Hafeneinfahrten in der Regel nachgerüstet werden. Ideal sind natürlich die Verhältnisse bei neu anzulegenden Becken, weil es dann möglich ist, Einfahrtsgeometrie und EFOS/CDW System bereits in der Planungsphase aufeinander abzustimmen.

Verminderungen von Sedimentablagerungen "am Ort" leisten auch einen wichtigen Beitrag für die Fernwirkung dadurch, dass sie dem natürlichen Sedimenttransport im Gewässer, so wenig wie möglich an Material entziehen. Im Rahmen des Integrierten Küstenzonen Management spielt dieser Gesichtspunkt besonders bei erosionsgefährdeten Küstenbereichen eine wichtige Rolle.

Nach den Ergebnisse mit der Umlenkwand der "ersten Generation" am Köhlfleet, führten jetzt Weiterentwicklungen an Modellen zu noch leistungsfähigeren Vorrichtungen der "zweiten Generation". Entscheidende Beiträge haben dabei neben weiterführenden wissenschaftlichen Erkenntnissen, vor allem auch neueste Untersuchungstechniken bei den hydraulischen Modellversuchen in Delft geliefert.

2. Einleitung

Seit dem es Häfen mit den entsprechenden Zufahrten an sedimentreichen Gewässern gibt, werden Versuche unternommen Ablagerungen von Sand und Schlick möglichst gering zu halten. Die bisherigen Ergebnisse waren meist wenig erfolgreich

Durch den zunehmenden Tiefgang von Tankern, Massengutfrachtern und Containerschiffen und die entsprechenden Anpassungen der Fahrwasserverhältnisse in den Häfen und Zufahrten haben sich auch die Sedimentationsmengen in der Regel weiter erhöht. Da Unterhaltungsbaggerungen mit fortschreitender Entwicklung der Baggertechnologie über lange Zeit zunächst noch finanziell beherrschbare Verhältnisse brachte, hat jedoch nach der Feststellung, dass Baggergut vielfach zu stark kontaminiert ist, das Problem der Baggergutunterbringung die gesamte Situation deutlich verschärft. Damit verstärkte sich der Druck, Technologien zur Minimierung des notwendigen Ausbaggerns zu entwickeln, um Kosten einzusparen und gleichzeitig Umweltbelastungen möglichst gering zu halten.

Bei Fahrrinnen in schwebstoffreichen und schlickigen Gewässern hat die Anwendung des Konzeptes der nautischen Tiefe (Kirby & Parker 1974; Kirby, Parker & van Oostrum 1980) erhebliche Kostenersparnisse gebracht. In Hafenbecken an Gewässern mit geringerer Trübung haben sich Bauwerke zur Optimierung der Strömungsverhältnisse im Zufahrtsbereich (EFOS) bewährt, und können zukünftig verstärkt eingesetzt werden.

Zu einem EFOS-System gehören Strömungsumlenkwände und Grundschwellen oder Bermen, die den Austausch von Wasser und Sedimenten im Beckenzufahrtsbereich minimieren.

Die vorliegende Arbeit beinhaltet eine Zusammenfassung der bisherigen Erfahrungen mit dem Betrieb von EFOS. Es soll herausgestellt werden, dass die beschriebenen Vorrichtungen die Vorteile besitzen, passiv und

quasi im Dauerbetrieb zu funktionieren, den Aufwand an Unterhaltungsbaggerungen und der damit verbundenen Entsorgung erheblich zu reduzieren und dabei insgesamt die Umwelt deutlich zu schonen.

Hafenbecken entstehen z.B. durch den Bau von Wellenbrechern, die von der Küste aus in die See hinausragen, oder etwa dadurch, dass sie als seitliche Abzweigungen von Flüssen oder Tidekanälen künstlich ausgebaggert werden.

Von Beginn an, ob es sich nun um den Hafen Alexandria in Ägypten oder um noch frühere Bauwerke handelt, stellte an sedimentreichem Gewässer die Hafenzufahrt einen "Interessenskonflikt" dar. Die Zufahrt sollte einerseits weit genug sein, um die gefahrlose Durchfahrt der Schiffe zu erlauben, andererseits brachte jede zu breite Zufahrt in Gewässern mit vielen Schwebstoffen eine Zunahme des Sedimenteintrages mit sich und damit dessen Ablagerung in den ruhigeren Gewässerzonen des Hafens. Im Laufe der Zeit, insbesondere in den letzten Jahrzehnten, wurde durch verschiedene Maßnahmen versucht, den Sedimenteintrag in Häfen zu verringern, allerdings mit bislang sehr mäßigem Erfolg (Röhr 1934; Vollmers 1963; Jenkins 1987; Krone 1987; Müller & Schwarze 1987).

Wie der Name schon sagt, beruht das Wirkungsprinzip der EFOS/CDW darauf, die natürlichen Strömungsverhältnisse so zu nutzen, dass der gewünschte Effekt einer Sedimentationsverminderung durch Verminderung der Austauschprozesse erreicht wird. Im Allgemeinen kennt man drei Hauptmechanismen, die den Austausch von Wasser und Sedimenten im Zufahrtsbereich zu abzweigenden Beckens bewirken (s. Abb. 1):

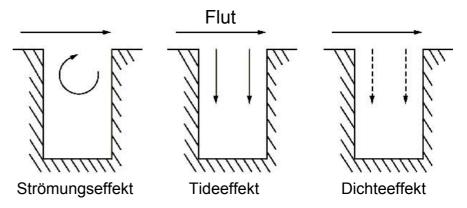


Abb. 1: Austauschprozesse zwischen Gewässer und Hafenbecken

Der Strömungseffekt allein kommt nur in einseitig gerichteten Flußsystemen vor. Strömungs- und Tideeffekt treten in Gezeitengewässern mit homogenem Wasserkörper auf d.h. in reinem Süßoder Salzwasser. Alle drei Austauschvorgänge finden in nicht- homogenen Wasserkörpern statt, wie z.B. im unteren Brackwasser- Abschnitt eines Ästuars, wo sich Salz- und Süßwasser mischen. Viele der größten Häfen der Welt liegen in genau dieser Zone. Neben dem starken Austausch aufgrund des unterschiedlichen Salzgehalts, können auch unterschiedliche Trübung oder entsprechende Temperaturdifferenzen die unter Nr.3 aufgeführten Effekte hervorrufen.

Man hat nun festgestellt (Christiansen & Kirby 1991; Christiansen 1997; Crowder u.a. 1999: Kirby, Christiansen & Smith 1999; Smith Kirby & Christiansen 2000; Crowder u.a., in Vorbereitung), dass sich EFOS-Systeme für alle Hafenbecken eignen, an denen einer oder mehrere der o.a. Effekte auftreten, wobei die Anordnung der einzelnen EFOS-Elemente natürlich jeweils verschieden ist. Derzeit sind die Vorrichtungen insbesondere dort wirtschaftlich sinnvoll, wo durch das Baggern und die Baggergutbehandlung und Unterbringung von z.T. kontaminierten Sedimenten hohe Kosten entstehen. Das ist überwiegend in großen Häfen gegeben. Hier rentieren sich EFOS/CDW- Systeme einschließlich der Kosten für die Vorunter-

suchungen (z.B. Modellversuche) sehr schnell. Für kleinere Häfen, z.B. Yachthäfen, bei denen die Voruntersuchungskosten bereits einen wesentlichen Anteil ausmachen, wird gegenwärtig untersucht, preisgünstigere Verfahren zu entwickeln.

Bisher zeigten sich zwei Anwendungsbereiche für das EFOS- System. Der häufigste Fall ist der nachträgliche Einbau im Zufahrtsbereich eines bestehenden Beckens. Dies ist nach Prüfung der Randbedingungen grundsätzlich möglich, egal ob einer, zwei oder alle drei der o. g. Aus-

tauschmechanismen vorhanden sind. In Anbetracht der beinahe unerschöpflichen Vielfalt der Beckenzufahrten müssen die Vorrichtungen jedoch individuell auf die Strömungsverhältnisse in

den jeweiligen Einfahrtsbereichen abgestimmt werden.

Entsprechend einfacher ist natürlich die Situation beim Bau eines neuen Hafenbeckens, wenn das EFOS- System von Anfang an mit eingeplant werden kann. Die Anordnung einer CDW und die geometrische Ausformung der gegenüberliegenden Hafeneinfahrtsseite können dann bei verringertem Kostenaufwand für die Herstellung gleich optimal aufeinander abgestimmt werden.

Eine zusätzliche, unvorhergesehene Anwendung zeichnet sich möglicherweise an Standorten ab, wo aufgrund großer Tidehübe und starker Sedimentbelastung, Hafenbecken in der Vergangenheit hinter Schleusen angeordnet wurden. Infolge des schärferen Wettbewerbs beginnen die Hafenbetreiber nun auch dort über "zeiteinsparende" Alternativen nachzudenken und tideoffene Hafenbecken anzulegen. Früher war man der Meinung, dass es keinen Sinn mache, Tidebecken an solchen Standorten zu errichten, da sie ohne häufige Ausbaggerung zwangsläufig schnell verlanden würden. Baut man jedoch ein Tidebecken mit optimierter Zufahrt, bei der die Unterhaltungsaufwendungen im finanziell beherrschbaren Rahmen bleiben, so kann der gewonnene Zeitvorteil durch schnellere Schiffsabfertigung den Ausschlag für eine Realisierung geben.

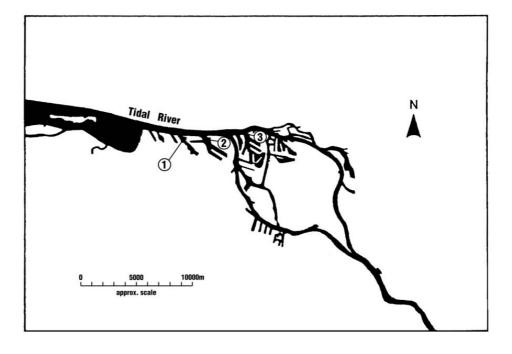


Abb. 2: Der Hamburger Hafen mit den drei größten Hafenbecken (1) Köhlfleet (2) Parkhafen und (3) Vorhafen

3. Bisherige Ergebnisse

3.1 Erfahrungen in Hamburg (Tide, Süßwasser)

Die Elbe bei Hamburg weist Schwebstoffkonzentrationen auf, die i.M. bei rd 100mg/l liegen. Das Fahrwasser besteht aus Sand. Feines, schlickreiches Sediment findet sich in Ablagerungsbereichen, die durch die angelegten Hafenbecken gebildet werden (Abb. 2).

Aufgrund der in Hamburg auftretenden Strömungs- und Tideeffekte setzen sich bis zu 80% des gesamten Feinsedimenteintrags im Zufahrtsbereich der Becken ab und bilden dort sogenannte "Linsen" (Abb. 3).

Durch die hohen Sedimentationsraten ergeben sich entsprechend hohe Ablagerungsmengen (Tab. 1).

Da der Hafenschlick z.T. immer noch zu stark kontaminiert ist, muss ein entsprechender Anteil des Baggergutes aufbereitet und an Land entsorgt werden. Folglich stellt dies hohe und unvermeidbare Fixkosten für den Hafenbetreiber dar.

Die erste Strömungsumlenkwand wurde im Hamburger Hafen als Prototyp an der Zufahrt zum Köhlfleet zwischen August und November 1990 gebaut. Hamburg ist in dreierlei Hinsicht der ideale Testort:

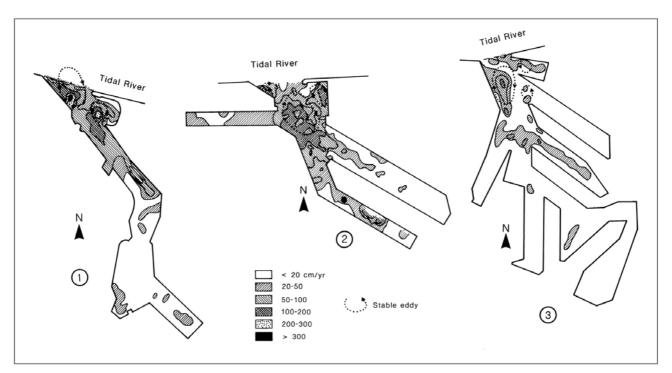


Abb. 3: Mittlere jährliche Sedimentation in (cm/a) von 1979 bis 1984 in den 3 größten Hafenbecken in Hamburg. Lage von Strömungswalzen und Sedimentlinsen in den Einfahrten. Vor Bau der Umlenkwand betrug die max. Sedimentation in der Einfahrt zum Köhlfleet (1) > 3m/a.

 Das Elbwasser ist im Bereich des Hamburger Hafens zwar den Gezeiten ausgesetzt aber dennoch Süßwasser. Daher speisen sich die Sedimenteintrags- Mechanismen allein aus den zwei Effekten von Strömung und Tide eine relativ einfache Situation.

Tabelle 1 Hafen Hamburg Mittlere Sedimentation und gemessenen bzw. erwartete Verminderung beim Einsatz von EFOS/CDW-Systemen					
Standort	Mittlere Verlandung x 1000 m³/Jahr Ist	Mittlere Reduzierung x 1000 m³/Jahr Gemessen / erwartet			
Köhlfleet	350 (vor 1990)	140 (seit 1991, gemessen)			
Parkhafen	450 (1991-1995)	180 (erwartet)			
Vorhafen (ohne Zuschüttung des Vulkanhafens in 1997)	570 (1991-1995)	230 (erwartet)			
Sandauhafen	140 (1991-1995)	60 (erwartet)			

Baggerungen und Handhabung von Baggergutmaterialien

Verminderung von Sedimentation in Hafenbecken

 Der Hamburger Hafen verfügt über zahlreiche Hafenbecken. Wenn eines davon in der Absicht verändert wird, die Verlandungsrate zu beeinflussen, so gibt es genug andere Becken in unterschiedlicher Entfernung vom Testort, die für "Kontrollzwecke" herangezogen werden können. Entfernung vom Ufer der westlichen Einfahrtsseite angeordnet ist (Abb. 4).

Ufer und Wand bilden dadurch einen Kanal. Dort wo der Flutstrom in den Kanal eintritt (auf Abb. 4 von links her), ist eine bogenförmige Unterwassersohlschwelle von 3m Höhe angeordnet.



Abb. 4: Strömungsumlenkwand (CDW) am Köhlfleet nach Fertigstellung im Dez. 1990

3. Es gibt langjährige und gute Erkenntnisse über das Sedimentationsverhalten im Hafen. Die Kenntnis über den Zusammenhang zwischen Oberwasserführung der Elbe und den Sedimentationsraten in den Hamburger Hafenbecken war in diesem Zusammenhang sehr hilfreich, um bei den sehr unterschiedlichen Oberwasserabflüssen in der Elbe nach 1990 die Sedimentationsverminderungen durch die Umlenkwand jeweils richtig zuordnen zu können.

Die Umlenkwand am Köhlfleet besteht aus einer 150 m langen, gebogenen Wand, die in etwa 70m

Der Prototyp wurde zunächst zwecks zweijähriger Erprobung installiert, wobei nicht ausgeschlossen war, dass evtl. eine ähnliche Vorrichtung zu einem späteren Zeitpunkt an der der Ebbe zugewandten Ecke des Beckens (flussaufwärts) benötigt würde. Dies war, wie sich dann später ergab, jedoch nicht notwendig.

Nach Einbau der Umlenkwand wurden die Nahund Fernwirkungen laufend überwacht und detailliert protokolliert. Durch die lange Beobachtungsdauer wurde auch erreicht, dass ein breites Spektrum unterschiedlicher Oberwasserabflüsse der Elbe erfaßt wurden, die ja sehr unterschiedlichen Einfluß auf das Sedimentationsgeschehen

im Hamburger Hafen haben. Dabei zeigte sich, dass im Jahresmittel die Verlandungs- und damit Baggermengen im Vergleich mit der Zeit vor Bau der Umlenkwand um 45% geringer ausfielen (140.000 m³/Jahr; s. Abb. 5). Im Verlauf der Jahre stellte sich auch heraus, dass die Sedimentationsverminderung im Köhlfleet nicht zu Lasten entsprechender Sedimentationserhöhungen an anderer Stelle, z. B. in anderen Hafenbecken, gegangen ist. Das liegt vor allem daran, dass im Sedimenttransportgeschehen natürlichen Elbe, die Verminderungsmenge im Köhlfleet letztlich nur einen Anteil von 0,3% ausmacht und ein solch geringer Anteil als Zusatzbelastung an anderer Stelle nicht nachweisbar ist.

Aufbauend auf diesem Erfolg soll die nächste Strömungsumlenkwand am Parkhafen installiert werden, dem wichtigsten Hafenbecken für den Containerumschlag in Hamburg. Nach umfangreichen Modellversuchen bei Delft Hydraulics wird es jedoch eine fortentwickelte Konstruktion der sogenannten zweiten Generation sein. Sie wird aus zwei versetzt zueinander angeordneten, strömungstechnisch sehr harmonisch geformten Elementen bestehen. Das insgesamt verbesserte Wirkungsprinzip diese Wandtyps beruht darauf, die Strömungsumlenkung möglichst ohne Ablösungserscheinungen an der Wand und Turbulenzen hinter der Wand im Bereich der Hafeneinfahrt zu realisieren.

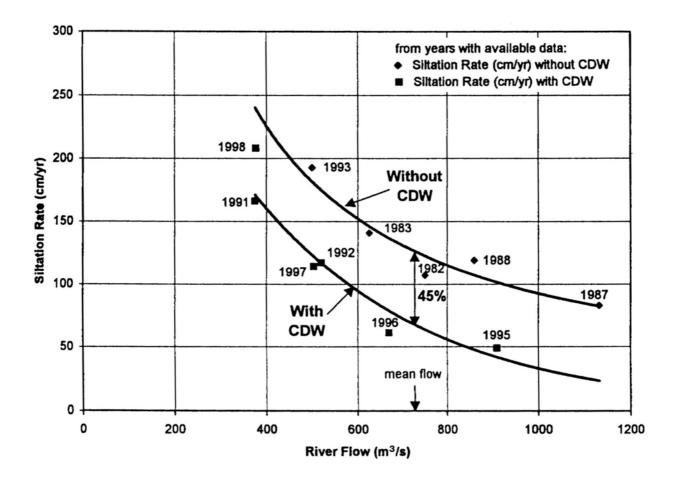
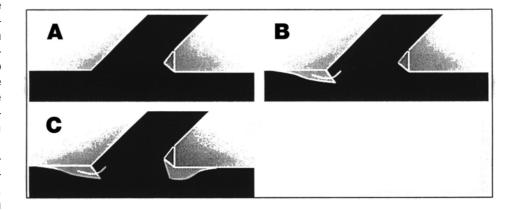


Abb. 5: Sedimentation im Köhlfleet in Abhängigkeit vom Oberwasserabfluß der Elbe, vor und nach Bau der Umlenkwand; Verminderung i.M. 45%. Höchste Sedimentationsraten bei geringem Abfluß als Folge der sich stromauf verlagernden Trübungszone.

Eine ausführliche Beschreibung der vorgesehenen Umlenkwand am Parkhafen ist Gegenstand einer gesonderten, in Vorbereitung befindlichen Veröffentlichung.

3.2 Modellversuche für Brackwasserverhältnisse (Tide, Salz-/ Süßwasser) B gelungen, eine optimierte Form für die stromabwärtsgerichtete Ecke (Flut) zu entwickeln. Für die endgültigen Tests wurden dann letztlich beide Beckenecken optimiert (Konfiguration C) und die Wirkung in vollständigen Tidezyklen untersucht.

In letzter Zeit wurde eine Hauptfrage zunehmend wichtig für den Fortgang der Entwicknämlich lungen, οh EFOS auch für solche Häfen ähnliche Vorteile bringen können, die wie in vielen Fällen - im Brackwasserbereich schlickreicher Tidegewässer liegen. Um dieser Frage nachzugehen, wurden die ersten EFOS/CDW-Untersu-



chungen dieser Art im Rahmen eines von der EU finanzierten Projekts LIP-III unternommen, und zwar im Tideströmungskanal für Salz- und Süßwasser bei Delft Hydraulics (Hofland, u.a., 2001).

Die Arbeiten zu diesem Forschungsproiekt wurden von Studenten der Technischen Universität Delft und der Universitäten Bradford und Cardiff unter der Leitung eines Expertenteams durchgeführt. Bei diesen Untersuchungen wurde als Standard ein im 45-Grad Winkel zur Hauptströmung liegendes Hafenbecken betrachtet. Als denkbar ungünstigster Fall wurde darüber hinaus ein in der Vertikalen homogener Wasserkörper gewählt, dessen Salzgehalt jedoch ein Gefälle in Längsrichtung, d.h. über den zeitlichen Verlauf der Tide aufweist. Für den Fall, dass mit diesen Vorgaben keine deutliche Reduzierung des Austausches an der Gewässersohle erreicht würde, war geplant, mit weniger komplexen Randbedingungen zu experimentieren. Dies war jedoch letztlich nicht nö-

Durchgeführt wurde eine streng kontrollierte Versuchsreihe, wobei jeweils nur ein Parameter pro Test geändert wurde, um die zweifelsfreie Feststellung von Ursache und Wirkung zu ermöglichen. Nach jeder Testkonfiguration wurde auch eine Wiederholungsreihe durchgeführt, um die Reproduzierbarkeit zu garantieren. Es wurden drei Konfigurationen untersucht (Abb. 6). Die Bezugsanordnung (Konfiguration A) war ein Becken im 45-Grad Winkel, dessen stromaufwärtsgerichtete (Ebbe) Ecke abgeschrägt wurde. Nach langem Experimentieren ist es mit der Konfiguration

Abb. 6: Untersuchte Hafeneinfahrtsformen im Rahmen der EU geförderten LIP III Versuche in der Salz- Süßwasser- Tiderinne bei Delft Hydraulics. A zeigt die Ausgangssituation, B die Situation mit CDW und sohlnahem Stromabweiser am seeseitigen Ufer zur Hafeneinfahrt und C, die mit zusätzlichem sohlnahem Stromabweiser an der gegenüberliegenden Seite

Verschiedene Parameter wurden gemessen:

- Der Süßwasserzufluß in den Tideströmungskanal
- Die Wasserstände an 10 verschiedenen Orten entlang der Versuchsrinne und an 2 Stellen im abzweigenden Hafenbecken
- Die horizontale Fließgeschwindigkeit in zwei Richtungen an verschiedenen Stellen der Hafeneinfahrt mit entsprechenden Meßgeräten .
- Die Geschwindigkeit an der Oberfläche im Hafenmündungsbereich und im Hafen mit Hilfe der PTV- Technik (Particle Tracking Velocimetry).
- Die Leitfähigkeit und Temperatur im vertikalen Profil (wg. der Dichte) an verschiedenen Stellen entlang der Rinne und im Hafenbecken.
- Die Richtung der Strömungsgeschwindigkeit in der Hafenmündung, an der Gewässersohle mittels kurzer Wollfäden und oben mit Schwimmkügelchen, die durch transparente

Baggerungen und Handhabung von Baggergutmaterialien

Verminderung von Sedimentation in Hafenbecken

Fäden am Bett des Strömungskanals gehalten wurden.

 Der Wasseraustausch im maßgebenden sohlnahen Bereich mit Hilfe injizierter Farbstoffe und eines besonderen optischen Verfahren zur quantitativen Auswertung.

Unter Simulation von vollständigen Tidezyklen und dem Einsatz der oben beschriebenen Techniken wurden die Austauschvorgänge zwischen Versuchsrinne (Fluß) und abzweigendem Becken quantifiziert, wobei die Austauschvorgänge in der bodennahen Wasserschicht den Schwerpunkt bildeten (Abb. 7). Man geht bislang davon aus, dass dies wesentliche Hinweise dafür liefert, inwieweit sich eine Reduzierung des Sedimentaustausches im Zufahrtsbereich erreichen lässt (Crowder u.a. 1999; Kirby, Christiansen & Smith 1999). Es stellte sich heraus, dass eine vollkommen optimierte Zufahrt (Konfiguration C) die Austauschvorgänge zwischen Rinne und Becken um fast 90% reduzierte. Dies ist ablesbar an der Abnahme der Anfangssteigungen ("tangent") der Funktionen auf Abb. 7a (Konfiguration A) auf die, dargestellt auf Abb. 7c für die optimierte Konfiguration C. Diese enorm hohe Verminderung wurde verschiedene durch Wiederholungsversuche bestätigt.

Im Zeitraum um den Kenterpunkt nach Hochwasser reicht die Strömung nicht aus für die o.g. fast vollständigende Unterbindung der Austauschvorgänge. In dieser Zeit ist der Austausch dann sogar leicht stärker als bei Konfiguration A. Da in Ästuarien diese Zeiträume nur von kurzer Dauer sind, schränkt dieser unerwünschte Nebeneffekt die zuvor beschriebenen Vorteile nur in kleinerem Umfange ein.

Die Ergebnisse der Modellversuche können als klarer Hinweis darauf gewertet werden, dass eine Reduzierung des Wasser- und Sedimentaustauschs bei entsprechender Optimierung der Beckenzufahrten (EFOS) möglich ist, und das bei allen drei im Abschnitt 2 genannten Austauschmechanismen. Dies gilt in gleicher Weise für bestehende als auch für neu anzulegende Hafenbecken, Schleusenzufahrten oder andere seitliche Abzweigungen.

4. Modelle und Messungen in der Natur

Bislang wurden alle Untersuchungen zur Optimierung von Hafenbeckeneinfahrten an maßstabsgetreuen physikalischen Modellen durchgeführt, wobei die LIP-III Versuche in einem Salzwasser-Strömungskanal stattfanden. Modelle dieser Art sind z.T. sehr kostenaufwendig und daher ein

Grund mit dafür, dass bisher in diesen Modellen nur "große Hafenbecken" untersucht wurden, bei denen im Kosten- Nutzen- Vergleich, die Modellkosten von geringerer Bedeutung sind.

Man kann im physikalischen Modell die Strömungsverhältnisse optimieren und geht dann davon aus, dass der Sedimentaustausch entsprechend minimiert wird. Wünschenswert wäre es wenn zukünftig auch verwendbare mathematische Modelle zur Verfügung stünden, um neben den Strömungsverhältnissen auch die Sedimentaustauschvorgänge zu optimieren. Grundsätzlich ist das Arbeiten mit mathematischen Modellen preiswerter. In Zukunft könnte man auf diese Weise sowohl die Mengenreduzierung des Schlickeintrags in große Becken berechnen als auch Optimierungsuntersuchungen für kleine Häfen und Marinas durchführen.

Das immer noch lückenhafte Wissen um physikalische Abläufe beim Sedimenttransport und darüber hinaus der Umfang der zu bewältigenden Datenmengen zeigen die Grenzen der aktuellen Generation der mathematischen Modelle zur EFOS-Optimierung deutlich auf.

Sollte sich das in hoffentlich naher Zukunft ändern, könnte das mathematische Modell zum geeigneten Werkzeug der EFOS- Designer werden.

Messungen vor Ort sind ein wichtiger Bestandteil bei der Entwicklung von EFOS-Systemen. Beim Einsatz von physikalischen oder mathematischen Modellen müssen diese Modelle traditionell mit Hilfe von Meßdaten aus der Natur geeicht werden.

Messungen, ausgeführt mit modernen Techniken der Datenerhebung, haben aber darüber hinaus eine besondere Bedeutung. Sie geben einen unmittelbaren Einblick in die physikalischen Vorgänge in der Natur, real und ohne vereinfachende Einschränkungen, wie sie bei Modellen immer zwangsläufig erforderlich sind.

Besonders gut haben sich RDI ADCP- Messungen der Wasserbewegungen und des damit einhergehenden Sedimenttransports bewährt, die unter Verwendung der "Sediview"-Software während ganzer Tidezyklen durchgeführt wurden (Abb. 8, Smith, Kirby & Christiansen 2000). In wiederholten Durchläufen tastet das ADCP in voller Tiefe und Breite Strömungsprofile ab. Im Computer werden die gewonnenen Daten zu einem Querschnittsprofil der Sedimentransportes zusammengesetzt. Die Daten können aber auch zur Abbildung der in Abhängigkeit von der Tiefe variierenden Schwebstoffkonzentration herangezogen werden. Zur Erfassung sehr hoher Kon-

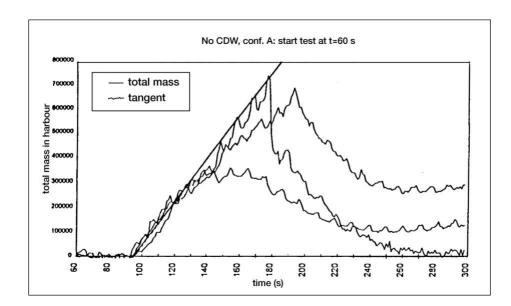


Abb. 7a:
Wasseraustausch
Tiderinne / Hafenbecken beim Ausgangszustand **A**(DigitalkameraAuswertungen von
Wasserfärbversuchen)
(3 Versuche)

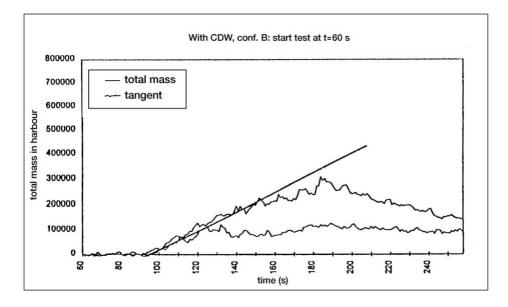


Abb. 7b: Wasseraustausch Tiderinne / Hafenbecken für Konfiguration **B** (2 Versuche)

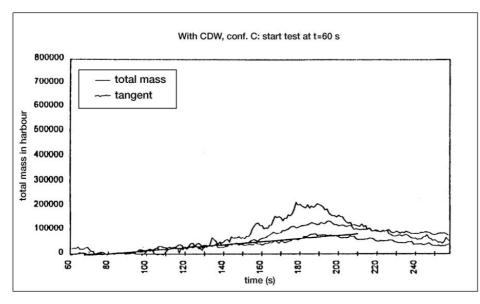


Abb. 7c: Wasseraustausch Tiderinne / Hafenbecken für Konfiguration **C** als optimales "EFOS" (3 Versuche)

Abb. 7: Verminderung des Wasseraustausches durch EFOS gemäß Konfiguration C

zentrationen in Sohlnähe, wie etwa Fluid Mud, ist ein besonderes Messgerät, das sog. "Siltmeter" als Ergänzung zum ADCP mit Sediview entwickelt worden. Die Systeme werden zusammen eingesetzt (Land, Kirby & Massey 1997). Für die drei Hauptmechanismen des Wasser- und Sedimentaustausches (Strömung, Tide, Dichte) sind Konstruktionskriterien für EFOS entwickelt worden.

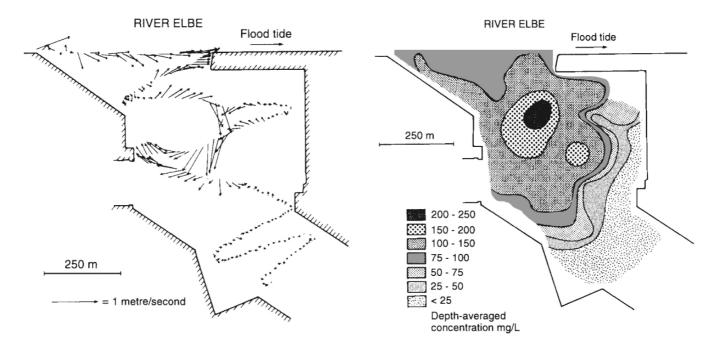


Abb. 8: Verteilung der Strömung und Schwebstoffkonzentration in der Einfahrt zum Parkhafen, Hamburg. Darstellung eines halbstündigen Zeitabschnitts aus einer Volltidemessung vom 21.10.1997 mit einem RDI- ADCP und Sediview- Auswertung der Fa. DRL, England

Erkenntnisse, die aus derart ausgewerteten Messungen gewonnen werden sind wichtig z.B. bei der Festlegung, wo der Eingang eines CDW- Kanales positioniert werden soll und wie hoch die Sohlschwelle sein muß, um möglichst wenig Sedimente in den Umlenkwandkanal eintreten zu lassen. Insofern ergänzen diese Daten die CDW-Optimierungsarbeiten an Modellen und sind ihnen gleichwertig.

5. Schlussfolgerungen

Seit Mitte der 80er Jahre sind die Systeme zur Optimierung der Strömungsverhältnisse im Zufahrtsbereich (EFOS), d.h. Strömungsumlenkwände, Bermen und Grundschwellen, soweit entwickelt und verbessert worden, dass sie praktische bauliche Lösungen bieten. Es hat sich gezeigt, dass mit strömungsverändernden bzw. – optimierenden konstruktiven Maßnahmen erhebliche Verminderungen der Sedimentation in Hafenbecken erreicht werden können.

Die Systeme sind einsetzbar in bestehenden oder neu zu bauenden Hafenbecken oder Schleusenzufahrten an Flüssen, und im Tidegebiet bei Süßwasser-, Meereswasser- oder komplexen Brackwasserverhältnissen.

Das erste CDW-System wurde in einem Becken im Hamburger Hafen installiert, der mehrere Eigenschaften aufweist, die zur Entwicklung dieses grundlegend neuen Systems ideal waren. Eine zweite Wand wird in naher Zukunft gebaut. Weiterführende Untersuchungen haben gezeigt, dass auch im Brackwasserbereich modifizierte Systeme einen wesentlichen Beitrag zur Sedimentationsverminderung liefern können.

Aller Voraussicht nach werden die gewonnenen Erfahrungen in Verbindung mit der weiteren technischen Entwicklung zu einsatzfähigen Vorrichtungen auch für kleine Häfen und Marinas führen. Zur Entwicklung dieses Sediment- Managementsystems zur Optimierung von Hafenbecken gehören naturgemäß nicht nur das eigentliche Konzept sondern auch die für den Entwurf notwendigen

Baggerungen und Handhabung von Baggergutmaterialien

Verminderung von Sedimentation in Hafenbecken

Spezialtechnologien. Da die Vorrichtungen dauerhaft Vorteile bringen sollen, und zwar für die gesamte Nutzungsdauer der Anlage, kommt dem sorgfältigen Entwurf eine wichtige Rolle zu. Die Planer tragen eine außerordentlich hohe Verantwortung bezüglich der Realisierung einer höchst effizienten Anordnung des EFOS.

6 Literatur

Christiansen H & Kirby R 1991 Fluid mud intrusion & evaluation of a passive device to reduce mud deposition. CEDA-PIANC Conference "Accessible Harbours" E1-E14.

Christiansen H 1997 Erfahrungen mit der Strömungsumlenkwand. Hansa. International Maritime Journal No 12, p70-73.

Crowder RA, Hofland B, van Leeuwen S, Kirby R, Christiansen H, Falconer RA,

Smith TJ & Winterwerp JC 1999 Study of the design and operation of Current Deflecting Walls to reduce siltation in harbours. End-of-Programme Workshop LIP-III, Delft Hydraulics, p1-14.

Crowder RA, Smith TJ, Christiansen H, Winterwerp JC, Kirby R, Falconer RA & Schwarze H (in prep.) Flow control in the entrance to river harbours, embayments and irrigation canals. J. Hydraulic Research.

Hofland B, Christiansen H, Crowder RA, Kirby R, van Leeuwen CW & Winterwerp JC 2001 The Current Deflecting Wall in an estuarine harbour. Proc. XXIV Congress, Beijing.

Jenkins SA 1987 Passive remedial sedimentation control in parallel berths and channels. In: Sedimentation control to reduce maintenance dredging of navigational facilities in estuaries. National Academy of Sciences, Washington DC, p153-176.

Kirby R, Parker WR 1974 Seabed density mesurements related to echo sounder records. Dock & Harbour Authority, Vol. LIV, No.641, p423-424.

Kirby R, Parker WR & van Oostrum WHA 1980 Definition of the seabed in navigation routes through mud areas. Int. Hydrographic Review, LVII (1), p107-117.

Kirby R, Christiansen H & Smith TJ 1999 Sediment Management Systems to Minimise Dredging Need. Transportation Research Board, Marine Transportation System R & D

Co-ordination Conference. Interagency Committee on Waterways Management. National Academy of Sciences, Washington DC, 11pp.

Krone RB 1987 Reducing sedimentation rates in harbour facilities. In: Sedimentation control to reduce maintenance dredging of navigational facilities in estuaries. National Academy of Sciences, Washington DC, p128-140.

Land JM, Kirby R & Massey JB 1997 Developments in the combined use of ADCPs and profiling siltmeters for suspended solids monitoring. Fourth Nearshore & Estuarine Cohesive Sediment Transport Conference, "Intercoh 94", Chapter 12, p187-196. Eds. Burt N, Parker WR & Watts J. In: Cohesive Sediments, John Wiley & sons, 458pp.

Muller KD & Schwarze H 1987 Studies to reduce sedimentation in a port on a tidal river. Conference on Coastal & Estuarine Pollution. Kyushu University IAWPRC/JSWPR, p393-401.

Röhr F 1934 Wasser und Sinkstoff-Bewegungen in Fluss- und Seehäfen. Flussbaulaboratorium der Technichen Hochschule zu Karlsruhe, 52pp.

Smith TJ, Kirby R & Christiansen H 2000 Entrance flow control to reduce siltation in tidal basins. Proceedings of Intercoh Conference 1998. Eds: W H McAnally & A J Mehta.

In: Coastal & Estuarine Fine Sediment Transport Processes, Elseviers, pp. 459-484.

Vollmers H-J 1963 Systematik der Maßnahmen zur Verringerung der Schwebstoff-ablagerungen in Binnenhafenmündungen. Technische Hochschule Karlsruhe, 54pp.

Verfasser:

Robert Kirby, Ravensrodd Consultants Ltd, 6 Queens Drive, Taunton, Somerset, TA1 4XW, United Kingdom

Dr.-Ing. Hermann Christiansen Strom u. Hafenbau Hamburg, Dalmannstrasse 1-3, 20457 Hamburg,

Tel.: 040 42847-3136

e-mail: Hermann.Christiansen@ht.hamburg.de

Einsatz von Pflanzen zur Befestigung von Böschungen und künstlichen Riffen

Stabilisierung von steilen Böschungen mit Pflanzen

Dr.-Ing. Bernd SchuppenerBundesanstalt für Wasserbau, Karlsruhe

1 Einleitung

Bei Böschungssicherungen aus Buschlagen und/oder Heckenlagen (SCHIECHTL, 1987), im Folgenden *Lebend Bewehrte Erde* genannt, wird durch die Verbindung von Boden mit Pflanzenteilen ein Stützkörper hergestellt (siehe Bild 1).



Bild 1: Schematische Darstellung einer Böschungssicherung mit *Lebend Bewehrter Erde*

Dieser Stützkörper gewährleistet die Standsicherheit des Geländesprungs. Die eingelegten Zweige und Äste von adventivwurzelbildenden Pflanzen - meistens Weiden - verrotten nicht, sondern bleiben am Leben, indem sie sich bewurzeln. Damit sorgen sie für die Dauerhaftigkeit der Konstruktion. Der oberirdische Teil der Pflanzen treibt im Frühjahr aus. Sein Laub sorgt für einen Schutz gegen Erosion durch Wind und Niederschläge, aber auch gegen ein Austrocknen des Bodens.

Der erste Ansatz zur Berücksichtigung des Beitrags von Pflanzen bei der Stabilisierung von Böschungen beschrieb die Bewehrungswirkung Pflanzen mit einem Coulombschen Reibungsansatz (SCHUPPENER, 1994). In der Zwischenzeit sind eine Reihe von Modell- und Feldversuchen Bestimmuna zur des Tragverhaltens durchgeführt worden, die im Folgenden dargestellt werden. Sie zeigen, dass man mit hinreichender Genauigkeit Verbundfestigkeit zwischen Pflanzen und Boden mit einem konstanten Wert beschreiben kann. Auf dieser Grundlage wird ein Bemessungsmodell entwickelt, mit dem eine ingenieurbiologische Böschungssicherung im Hinblick auf die Zahl, die Länge und die Dicke der einzulegenden Pflanzen bemessen werden kann. Dabei wird das Teilsicherheitskonzept der neuen DIN 1054 (2000) verwendet.

2 Tragverhalten von ingenieurbiologischen Böschungssicherungen

Bei Stützbauwerken sind

- der Nachweis der Äußeren Standsicherheit und
- der Nachweis der Inneren Standsicherheit

führen. Beim Nachweis der Äußeren Standsicherheit wird gezeigt, dass der gesamte Geländesprung mit dem Stützbauwerk standsicher ist, d. h. dass z.B. kein Geländebruch auftritt. Beim Nachweis der Inneren Standsicherheit wird gezeigt, dass der Stützkörper in der Lage ist, die in seinem Inneren auftretenden Spannungen aufzunehmen, die die äußeren Kräfte und sein Eigengewicht in ihm erzeugen. Dieser Nachweis dient dazu, den Stützkörper Lebend Bewehrte Erde hinsichtlich der Zahl, Länge und Dicke der einzulegenden Pflanzen zu dimensionieren.

Bei einem Verlust der Inneren Standsicherheit gibt es zwei Versagensmöglichkeiten (siehe Bild 2). Im ersten Fall reicht die Festigkeit des Holzes der Pflanze nicht aus, die Pflanzen reißen an der Bruchfuge oder in der Nähe ab oder werden abgeschert. Ein solches Versagen ist möglich, wenn die Pflanzen im Boden sehr stark bewurzelt sind und dadurch ein sehr guter Verbund zwischen der Pflanze und dem Boden erreicht worden ist.

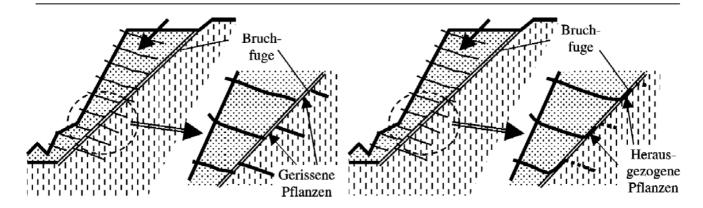


Bild 2: Versagensmechanismen bei einer Böschungssicherung mit Pflanzen, bei der die Pflanzen reißen oder herausgezogen werden

Es kann aber auch der Fall eintreten, dass die eingelegten Pflanzen beim Rutschvorgang aus dem Boden herausgezogen werden. Dieser Versagensmechanismus ist kurz nach Herstellung der Böschungssicherung möglich, wenn die Pflanzen noch nicht bewurzelt sind und der dadurch erzeugte gute Verbund zwischen Pflanze und Boden noch fehlt. Dieser Zustand nach Herstellung der Böschung ist für die Standsicherheit maßgebend. Wesentlicher Parameter für ein Bemessungsmodell ist daher wirklichkeitsnahe Erfassung Ausziehwiderstandes von Pflanzen.

3 Versuche zur Überprüfung des Bemessungsmodells

Zur Ermittlung des Ausziehwiderstands

wurden seit dem Frühjahr 1995 bei der Bundesanstalt für Wasserbau (BAW) in Berlin gezielte Forschungen durchgeführt, die in vegetationskundlichen Fragen durch das Büro Prof. Neumann + Prof. Hoffmann begleitet wurden. Die Untersuchungen umfassen Ausziehversuche in einem Versuchskasten im Labor und in Probeböschungen, an denen das Wachstum der Pflanzen und die Entwicklung ihrer Tragfähigkeit als Bewehrungs-

Der Versuchskasten für die Ausziehversuche besteht aus einer Stahlkiste, die schichtweise mit Sand gefüllt wird, wobei eine Pflanze eingebaut wird (siehe Bild 3). Unter dem Stahldeckel

element untersucht wurden.

befindet sich ein Druckkissen, mit dem man über Luftdruck eine festgelegte Normalspannung auf den Boden und damit auch auf die Umfangsfläche der Pflanze aufbringen kann. An den Enden schaut die Pflanze aus dem Kasten heraus. An einem Ende wird die Pflanze über eine Klemmvorrichtung und ein Drahtseil mit einem Getriebe auf Zug belastet und dabei die Verschiebung und die Diese Versuchseinrichtung Kraft gemessen. entspricht im wesentlichen den Vorgaben des Entwurfs der DIN EN 13738 (2000), die ein Prüfverfahren festlegt, mit dessen Hilfe Laboratorium unter Verwendung eines Ausziehkastens der Widerstand bestimmt werden kann, den Geotextilien gegen Herausziehen aus dem Boden besitzen.

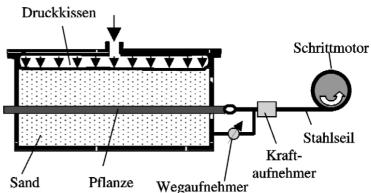


Bild 3: Versuchskasten für Ausziehversuche

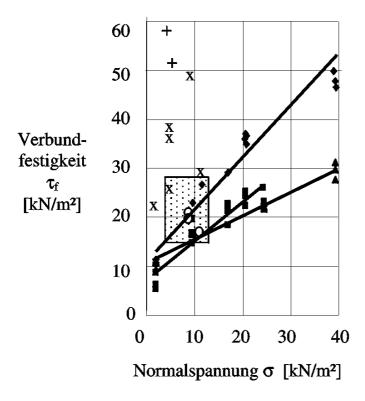
Neben den Ausziehversuchen im Labor wurden auf dem Gelände der BAW in Berlin Probeböschungen aus einem schwach schluffigen, schwach feinkiesigen Sand mit einer Proctordichte von $D_{\text{Pr}}\approx 92$ % hergestellt und dabei Pflanzen eingelegt. Die Böschungen erreichten Höhen zwischen 2,50 m und 3,0 m, die

Böschungsneigungen lagen bei β = 45° und β = 60°. Die Pflanzen hatten einen Durchmesser von etwa 2 cm und eine Länge von etwa 2,0 m. Sie wurden mit einer Neigung von α = 10° in Lagen eingebaut, deren vertikaler Abstand 0,5 m betrug. Bei diesen Probeböschungen sollte neben vegetationskundlichen Problemen folgenden bodenmechanischen Fragen nachgegangen werden:

- Wie eng und in welcher Länge darf man Pflanzen legen, ohne dass sie auf Dauer an Vitalität verlieren oder gar absterben?
- Wie entwickelt sich die Tragfähigkeit der Pflanzen im Laufe der Jahre?

kleineren Kräfte handlicher und kleiner. Bei den Zugversuchen an der Probeböschung konnten auch die 2 m langen Pflanzen aus dem Boden gezogen werden. Maßgebend ist im unbewurzelten Zustand der Pflanzen damit nicht die Zugfestigkeit des Holzes sondern die Verbundfestigkeit zwischen Boden und Pflanze.

Die Ergebnisse der ersten Ausziehversuche sind zusammen mit den Ergebnissen der Modellversuche im Bild 4 dargestellt, in dem die maximal mobilisierbare Verbundspannung $\tau_{\rm f}$, die Verbundfestigkeit zwischen Boden und Pflanze über der auf die Umfangsfläche der Pflanze wirkenden mittleren Normalspannung σ aufgetragen ist. Man erkennt drei wesentliche Ergebnisse:



Model Versuche:

- ♦ Sand 1 $D_{Pr} \approx 93 \%$
- Sand 1 $D_{Pr} \ge 91.5 \%$
- ▲ Sand $2 D_{Pr} = 90 \%$

Ausziehversuche an der Probeböschung nach Herstellung

- x nach einer Vegetationsperiode
- + nach vier Vegetationsperioden

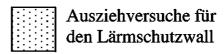


Bild 4: Ergebnisse der Versuche im Modellkasten und der Versuche an der Probeböschung

Es wurden daher gleich nach der Herstellung der ersten Probeböschung im Mai 1995 Ausziehversuche an den eingelegten Pflanzen durchgeführt, die ganz ähnlich wie bei Pfählen oder Ankern im Grundbau ablaufen, nur sind die verwendeten Geräte wegen der erheblich

- Ausgehend von einem Anfangswert nimmt die Verbundfestigkeit τ_{f} proportional zur Normalspannung σ zu.
- Die Verbundfestigkeit τ_{f} nimmt mit der Proctordichte D_{Pr} des Bodens zu.

Stabilisierung von steilen Böschungen mit Pflanzen

- Die Verbundfestigkeit τ_f der noch unbewurzelten Pflanzen unmittelbar nach Herstellung der Probeböschung (offene Kreise) stimmt gut mit denen der Modellversuche im Versuchskasten überein.

Nach der ersten Vegetationsperiode wurden erneut Zugversuche durchgeführt. Man erkennt deutlich den Zuwachs an Verbundfestigkeit $\tau_{\rm f}$ durch die Bewurzelung der eingelegten Pflanzen. Im Bild 4 sind nur die Ergebnisse von den 6 Versuchen dargestellt, bei denen es möglich war, die Pflanze aus dem Boden zu ziehen. Bei 4 Versuchen riss das Holz unmittelbar hinter der Krafteinleitungsstelle. Hier war durch die Bewurzelung die aufnehmbare Verbundspannung so groß geworden, dass nun die Zugfestigkeit des Holzes für die Tragfähigkeit maßgebend wurde.



Bild 5: Auslegen und Einerden von Pflanzen auf einer Berme und Verdichten mit einer Vibrationswalze

Weitere 7 Zugversuche wurden nach 4 Vegetationsperioden im Sommer 1998 durchgeführt. Ein Herausziehen der Pflanzen gelang lediglich bei den zwei Pflanzen, die am oberen Rand der Böschung eingebaut worden waren und eine Überdeckung von nur 0,5 m hatten. Man erkennt, dass die maximal mobilisierbare Verbund-

spannung noch einmal ganz beträchtlich angestiegen war.

Dieser Zuwachs der Tragfähigkeit durch die Bewurzelung der Pflanzen während der ersten Vegetationsperioden stellt eine durchaus nutzbare Reserve für den Fall dar, dass Teile der eingelegten Pflanzen im Laufe der Zeit ausfallen. Die verbleibenden Pflanzen sind durch den Zuwachs an Tragfähigkeit dann in der Lage, die Funktion der ausgefallenen Pflanzen zu übernehmen.

Neben den Zugversuchen wurden systematische pflanzenkundliche Untersuchungen durchgeführt. Obgleich keinerlei Pflegemaßnahmen vorgenommen wurden, blieben die Ausfälle unter 10 %. Wesentliches Ergebnis für die Funktion als Stützbauwerk war, dass im Boden über die gesamte



Länge der Pflanzen von etwa 2,0 m eine Bewurzelung festgestellt werden konnte (SCHUPPENER, B. & HOFFMANN, J., 1999). Damit ist sichergestellt, dass die Pflanzen auf voller Länge überleben.

Mittlerweile ist die Bauweise *Lebend Bewehrte Erde* auch bei Erdbaumaßnahmen in der Praxis

angewandt worden. So an der Autobahn A 113 bei Berlin, wo die steilen Böschungen eines Lärmschutzwalls mit dieser Bauweise gesichert wurden. Dabei wurden 4 bis 6 cm dicke und 3 m lange Weiden verwendet, die auf Bermen verlegt, mit einem schwach tonigen, schluffigen und schwach feinkiesigen Sand eingeschüttet wurden. Anschließend wurde der Boden mit einer Vibrationswalze auf eine Proctordichte von $D_{Pr} \approx 97$ %. verdichtet (Bild 5).

Auch hier wurden Zugversuche an gerade eingebauten, also noch unbewurzelten Pflanzen durchgeführt, die eine Überdeckung von 0,4 m bis 0,7 m hatten, was einer mittleren Normalspannung σ von 5 kN/m² bis 10 kN/m² entspricht. Die Ausziehversuche ergaben bei 8 Zugversuchen eine mittlere Verbundfestigkeit von τ_f = 24 kN/m², die etwas höher ist als an Probeböschung in Alt Stralau, was auf die ebenfalls höhere Proctordichte zurückzuführen ist. Zusammenfassung aller bisherigen Versuchsergebnisse zeigt Bild 4. Man erkennt große verhältnismäßig Streuung Verbundfestigkeit, was auf die unregelmäßige und von Pflanze zu Pflanze immer wieder andere Geometrie zurückzuführen ist. Eine guantitative Auswertung der Versuche zeigt, dass der Einfluss der Normalspannungen σ auf die Verbundfestigkeit τ_f in der Streuung der Versuchsergebnisse untergeht. Bei einer Böschungsneigung von 1:1 und Pflanzenlängen von 2 m sind die auf den Pflanzenumfang wirkenden Normalspannungen σ immer kleiner als 25 kN/m². In Anbetracht der großen Streuung der Verbundfestigkeit liegt es daher nahe, bei einer Bemessung einer Böschungssicherung mit Pflanzen von einem konstanten Wert für die Verbundfestigkeit τ_f auszugehen. Auf Grundlage der bisher durchgeführten Versuche kann bei einer Proctordichte von D_{Pr} ≥ 93 % der Bemessungswerte der Verbundfestigkeit auf der sicheren Seite liegend zu $\tau_{f,k}$ = 15 kN/m² angesetzt werden.

4 Bemessungsmodell

Grundlage des Bemessungsmodells für ingenieurbiologische Böschungssicherungen der Bauweise *Lebend Bewehrte Erde* ist das Teilsicherheitskonzept. Danach ist nachzuweisen, dass im Grenzzustand der Tragfähigkeit der Bemessungswert der Widerstände W_d größer

oder gleich dem Bemessungswert E_d der Einwirkungen ist:

$$W_d \ge E_d$$
 (1)

Bei der Ermittlung der Einwirkungen und Widerstände werden folgende vereinfachende und auf der sicheren Seite liegende Annahmen getroffen (siehe Bild 6):

- Der für die Bemessung maßgebende Bruchzustand ist - ähnlich wie bei der Erddruckberechnung nach COULOMB – durch eine gerade Bruchfläche gekennzeichnet.
- Bei einer Gleichgewichtsbetrachtung an diesem Bruchkörper bilden das Eigengewicht G des Bruchkörpers und die Verkehrslast q bzw. ihre parallel zur Bruchfläche wirkenden Komponenten T_{G,d} und T_{Q,d} die Einwirkungen.
- Die Widerstände setzen sich zusammen aus den Bemessungswerten der Reibung R_d und der Kohäsion K_d des Bodens sowie aus der Tragfähigkeit Z_d der Pflanzen.

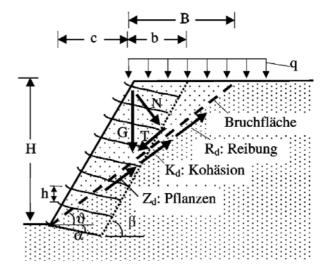


Bild 6: Böschungssicherung mit Bruchkörper und Kräften

Damit ergibt sich für die Grenzzustandsgleichung (1):

$$R_d + K_d + Z_d \ge T_{G,d} + T_{Q,d}$$
 (2)

Löst man dann die Gleichung (2) nach Z_d auf, so erhält man den Bemessungswert der Tragfähigkeit Z_d der Pflanzen, der erforderlich ist, um eine ausreichende innere Standsicherheit der Böschung zu gewährleisten.

$$Z_d \ge T_{G,d} + T_{Q,d} - (R_d + K_d)$$
 (3)

Die Bemessungswerte $T_{G,d}$ und $T_{Q,d}$ der Einwirkungen werden ermittelt, indem zunächst das Eigengewicht G des Bruchkörpers mit der Wichte γ ermittelt wird:

G = H · B/2 ·
$$\gamma$$
 = H² · γ · (ctg ϑ - ctg β) / 2

Mit der Verkehrslast q ergeben sich dann die charakteristischen Werte (Index "k"):

$$T_{G,k} = G \cdot \sin \vartheta$$

$$T_{Q,k} = B \cdot q \cdot \sin \vartheta = H \cdot (\operatorname{ctg} \vartheta - \operatorname{ctg} \beta) \cdot q \cdot \sin \vartheta$$

die dann zur Bestimmung der Bemessungswerte (Index "d") mit den entsprechenden Teilsicherheitsbeiwerten für die ständigen und veränderlichen Lasten γ_G und γ_Q zu multiplizieren sind:

$$T_{G,d} = T_{G,k} \cdot \gamma_G$$

$$T_{O,d} = T_{O,k} \cdot \gamma_O$$

Die Teilsicherheitsbeiwerte können dem Eurocode 7 (2001) oder der DIN 1054 (2000) entnommen werden, wobei die Werte der DIN 1054 in ihrer Größe vom Lastfall abhängen.

Die Bemessungswerte der Widerstände des Bodens werden aus der Böschungsgeometrie und dem Eigengewicht des Bruchkörpers mit den Bemessungswerten der Scherparameter ϕ_d und c_d ermittelt, die sich aus den charakteristischen Werten der Scherparameter ϕ_k und c_k durch die Einführung von Teilsicherheitsbeiwerten γ_ϕ und γ_c ergeben:

$$\tan \varphi_d = (\tan \varphi_k) / \gamma_{\varphi}, c_d = c_k / \gamma_c$$

Daraus ergeben sich die Bemessungswerte des Bodens R_d and K_d zu:

$$R_d = N \cdot \tan \varphi_d = G \cdot \cos \vartheta \cdot \tan \varphi_d$$

$$K_d = c_d \cdot H / \sin \vartheta$$

Die Ausziehversuche im Labor und an der Probeböschung haben gezeigt, dass man die zwischen Pflanze und Boden mobilisierbare Verbundfestigkeit $\tau_{f,k}$ in hinreichend genauer Näherung mit einem konstanten Wert beschreiben kann. Damit ergibt sich der Ausziehwiderstand P_k der einzelnen Pflanzen zu:

$$P_k = \pi \cdot D \cdot I \cdot \tau_{f,k}$$

mit dem Pflanzendurchmesser D und ihrer Verankerungslänge I im Boden (siehe Bild 7).

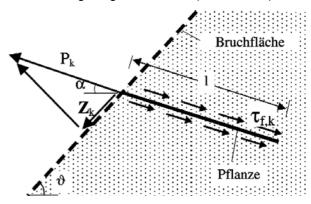


Bild 7: Prinzipskizze zum Tragverhalten de Pflanzen

In dem Nachweis der inneren Standsicherheit wird lediglich die parallel zur Bruchfläche mobilisierbare Komponente Z_k des Ausziehwiderstandes aller mitwirkenden Pflanzen angesetzt. Mit der Neigung ϑ der Bruchfläche, der Neigung α der Pflanze und der gesamten Verankerungslänge L = ΣI_i aller beanspruchten Pflanzen ergibt sich:

$$Z_{k} = \Sigma P_{k,i} \cdot \cos (\alpha + \vartheta)$$

$$Z_k = \pi \cdot D \cdot L \cdot \tau_{f,k} \cdot \cos (\alpha + \vartheta)$$

Mit dem Teilsicherheitsbeiwert γ_P für die Tragfähigkeit der Pflanzen ist dann der Bemessungswert der Tragfähigkeit der Pflanzen:

$$Z_d = Z_k / \gamma_P = \pi \cdot D \cdot L \cdot \tau_{f,k} \cdot \cos(\alpha + \vartheta) / \gamma_P$$
 (4)

So lange die untersuchte Bruchfläche in einem Abstand $B \le b/2$ von der Oberkante der Böschung austritt (siehe Bild 6), sind die Verankerungslängen der einzelnen Pflanzen luftseitig von der Bruchfläche kleiner als auf der gegenüberliegenden Seite der Bruchfläche. Bei einem Bruch auf solchen Bruchflächen werden sich also die Pflanzen aus diesem markierten Bereich aus dem Boden herausziehen, so dass dieser Verankerungsbereich für die Dimensionierung der Zahl der einzulegenden Pflanzen maßgebend wird. Da in der Regel α <10° ist, ergibt sich die mittlere Verankerungslänge der einzelnen Pflanzen in hinreichender Näherung zu

$$I_m = B/2$$
.

Bei einer Anzahl von N eingelegten Pflanzen pro laufenden Meter Böschung ist dann die gesamte Verankerungslänge

Einsatz von Pflanzen zur Befestigung von Böschungen und künstlichen Riffen

Stabilisierung von steilen Böschungen mit Pflanzen

 $L = N \cdot B/2$

so dass sich mit (4) der Bemessungswert der Tragfähigkeit aller Pflanzen zu

$$Z_{d} = \pi \cdot D \cdot N \cdot B/2 \cdot \tau_{f,k} \cdot \cos(\alpha + \vartheta) / \gamma_{P}$$
 (5) ergibt.

der Böschungsoberkante austritt, ergibt die erforderliche Zahl der einzulegenden Pflanzen zu:

$$N = \frac{Z_{d} \cdot \gamma_{P}}{(z_{w} \cdot I_{o}/H + (H - z_{w}) \cdot I_{u}/H) \cdot \pi \cdot D \cdot \tau_{f,k} \cdot \cos(\vartheta + \alpha)}$$
(7)

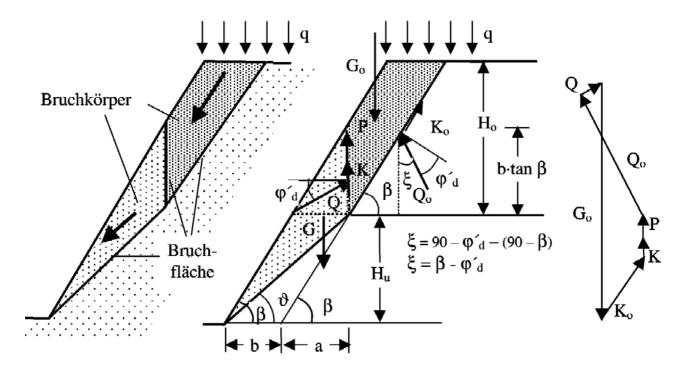


Bild 8: Bruchmechanismus mit zwei Bruckkörpern

Aus der Gleichgewichtsbetrachtung am potenziellen Bruchkörper wird mit Gleichung (3) der Bemessungswert der statisch erforderlichen Tragfähigkeit Z_d ermittelt, so dass man für den Fall von Bruchflächen mit $B \le b/2$ die Gleichung (5) nach N, der Zahl der erforderlichen Pflanzen, auflösen kann:

$$N = \frac{2 \cdot Z_{d} \cdot \gamma_{P}}{\pi \cdot D \cdot B \cdot \tau_{f,k} \cdot \cos(\vartheta + \alpha)}$$
(6)

In ähnlicher Weise können die Formeln für andere Neigungen ϑ der Bruchfläche entwickelt werden (SCHUPPENER, 2001). Für den Fall, dass die Bruchfläche in einem Abstand von b/2 < B \leq b von

Für den Fall, dass die Bruchfläche zum Teil außerhalb des Stützkörpers liegt (B > b) ergibt sich

$$N = \frac{2 \cdot Z_{d} \cdot \gamma_{P} \cdot H}{(H - Z_{w}) \cdot b \cdot \pi \cdot D \cdot \tau_{f,k} \cdot \cos(\vartheta + \alpha)}$$
(8)

In dem Fall, wo die Böschungen höher und steiler werden und das Verhältnis von Stützkörperhöhe zu Stützkörperbreite H/b > 2 wird, können auch gebrochene Bruchflächen maßgebend werden (siehe Bild 8), wobei die obere Bruchfläche an der Grenzfläche zwischen der Böschungssicherung und dem anstehenden Boden hinter den Enden der eingelegten Pflanzen verläuft. An dieser Grenzfläche kann im Bruchzustand haltend nur Reibung und Kohäsion mobilisiert werden, die

möglicherweise nicht ausreichen, um diesen Teil des Stützkörpers im Gleichgewicht zu halten. Der obere Bruchkörper gibt daher auf den unteren Bruchkörper eine zusätzliche Schubbelastung ab.

Zur Herleitung eines Bemessungsalgorithmus für die erforderliche Zahl von Pflanzen wird ein Zwei-Körper-Bruchmechanismus zugrunde (siehe Bild 8), bei dem eine vertikale Bruchfläche zwischen den beiden Bruchkörpern angenommen wird. Im Grenzzustand der Tragfähigkeit wirken an den Bruchfugen zwischen den Bruchkörpern dem anstehenden Boden folgende Bemessungswerte der Widerstände Einwirkungen:

- In der senkrechten Bruchfuge zwischen dem oberen und unteren Bruchkörper wirkt senkrecht die Kohäsionskraft K_d und die Scherkraft P_d der geschnittenen Pflanzen sowie die aus Reibung und Normalkraft resultierende Kraft Q_d, die eine Neigung von φ'_d gegenüber der Normalen auf die vertikale Bruchfuge (siehe Bild 8) hat. Die Scherkraft P_d der geschnittenen Pflanzen wird auf der sicheren Seite liegend aus der Querschnittsfläche der Pflanzen und ihrer Scherfestigkeit quer zur Faser bestimmt.
- Zwischen dem oberen Bruchkörper und dem anstehenden Boden wirkt die Kohäsionskraft K_{o,d} und die zur Normalen auf die Bruchfläche um den Winkel φ´_d geneigte resultierende Kraft Q_{o,d}.

Aus der Gleichgewichtsbedingung am oberen Bruchkörper können die Größen der Kräfte Q_d und $Q_{o,d}$ ermittelt werden, die zunächst nur der Richtung nach bekannten sind. Dies kann graphisch über ein Krafteck oder analytisch geschehen. Für die einzelnen geometrischen Größen ergeben sich folgende Beziehungen:

$$H_u = b \cdot \tan \vartheta / (1 - \tan (90 - \beta) \cdot \tan \vartheta)$$

$$H_o = H - H_u$$

Damit ermitteln sich die Eigengewichtskraft $G_{\text{o,d}}$ des oberen Bruchkörpers, die auch die mit dem Teilsicherheitsbeiwert γ_{Q} faktorisierte Verkehrslast p enthält, zu:

$$G_{o,d} = (H_o - 0.5 \cdot b \cdot \tan \beta) \cdot \gamma \cdot b \cdot \gamma_G + p \cdot b \cdot \gamma_Q$$

$$K_{o,d} = c_{c,d} \cdot H_o / \sin \beta$$

$$K_d = c_{c,d} \cdot b \cdot \tan \beta$$

Mit der Scherkraft P_d der Pflanzen ergibt sich aus den Gleichgewichtsbedingungen:

$$\Sigma V: G_{o,d} - K_d - P_d - Q_d \cdot \sin \phi'_d - K_{o,d} \cdot \sin \beta - Q_{o,d} \cdot \cos(\beta - \phi'_d) = 0$$
(9)

ΣH:
$$Q_d \cdot \cos \phi'_d + K_{o,d} \cdot \cos \beta - Q_{o,d} \cdot \sin (\beta - \phi'_d)$$

= 0 (10)

aus (10) ergibt sich:

$$Q_{o,d} = (Q_d \cdot \cos \varphi'_d + K_{o,d} \cdot \cos \beta) / \sin (\beta - \varphi'_d)$$

Eingesetzt in (9):

$$Q_d = (G_{o,d} - K_d - P_d - K_{o,d} \cdot \sin\beta - K_{o,d} \cdot \cos\beta / \tan(\beta - \phi'_d)) / (\sin\phi'_d + \cos\phi'_d / \tan(\beta - \phi'_d))$$

Mit dem Gewicht G_d des unteren Bruchkörpers

$$G_d = 0.5 \cdot b \cdot (b \cdot \tan \beta + H_u) \cdot \gamma \cdot \gamma_G$$

ergeben sich die zur Bruchfläche zwischen dem unteren Bruchkörper und dem Boden parallelen (Index Z) und senkrechten (Index N) Komponenten von Q_d , G_d , K_d und P_d zu:

$$Q_{N,d} = Q_d \cdot \sin (\phi'_d - \vartheta)$$

$$Q_{Z,d} = Q_d \cdot \cos(\phi'_d - \vartheta)$$

$$G_{N,d} = G_d \cdot \cos \vartheta$$

$$G_{Z,d} = G_d \cdot \sin \vartheta$$

$$K_{N,d} = c_{c,d} \cdot b \cdot \tan \beta \cdot \cos \vartheta$$

$$K_{Z,d} = c_{c,d} \cdot b \cdot \tan \beta \cdot \sin \vartheta$$

$$P_{N,d} = P_d \cdot \cos \vartheta$$

$$P_{Z,d} = P_d \cdot \sin \vartheta$$

Mit den Bemessungswerten der in der Bruchfläche zwischen dem unteren Bruchkörper und dem anstehenden Boden wirkenden Kräfte

- Kohäsionskraft $K_{u,d} = c_{c,d} \cdot H_u / \sin \vartheta$,
- Reibungskraft $R_{u,d}$ = $(Q_{N,d} + G_{N,d} + K_{N,d} + P_{N,d}) \cdot \tan \phi'_d$ und
- Tragfähigkeit Z_{u,d} der Pflanzen

ermittelt sich der Bemessungswert W_d des Widerstands in der unteren Bruchfläche zu:

$$W_d = (Q_{N,d} + G_{N,d} + K_{N,d} + P_{N,d}) \cdot \tan \phi'_d + K_{u,d} + Z_{u,d}$$

Der Bemessungswert E_d der Einwirkungen als der Summe der abtreibenden Kräfte ergibt sich zu:

$$E_d = Q_{Z,d} + G_{Z,d} + K_{Z,d} + P_{Z,d}$$

Setzt man R_d und E_d in die Grenzzustandsgleichung (2) ein und löst man nach $Z_{u,d}$ auf, dann ergibt sich für den Bemessungswert der erforderlichen Tragfähigkeit der Pflanzen:

$$Z_{u,d} \ge Q_{Z,d} + G_{Z,d} + K_{Z,d} + P_{Z,d} - ((Q_{N,d} + G_{N,d} + K_{N,d} + P_{N,d}) \cdot \tan \varphi_d + c_{c,d} \cdot H_u / \sin \vartheta)$$
 (11)

Bei der Ermittlung der erforderlichen Zahl N von Pflanzen für den unteren Bruchkörper kann die mittlere Verankerungslänge der Pflanzen in hinreichender Näherung zu

$$I = b/2$$

angenommen werden, so dass sich die erforderliche Zahl N der Pflanzen für den unteren Bruchkörper mit Gleichung (6) zu

$$N = \frac{Z_{u,d} \cdot \gamma_{Pf}}{\pi \cdot D \cdot b/2 \cdot \tau_{f,k} \cdot \cos(\vartheta + \alpha)}$$
(12)

errechnet.

Da zu Beginn der Bemessung noch nicht feststeht, welcher Bruchmechanismus und welche Bruchflächenneigung ϑ für die Bemessung maßgebend ist, muss zur Bestimmung der erforderlichen Zahl der Pflanzen eine Variationsrechnung durchgeführt werden. Dazu müssen beide Bruchmechanismen untersucht, jeweils die Neigung der Bruchfläche ϑ variiert und für jede Bruchflächenneigung die Zahl der erforderlichen Pflanzen bestimmt werden. Für die Bemessung maßgebend ist dann die Bruchflächenneigung, für die sich die größte Zahl der Pflanzen ergibt.

5 Zusammenfassung und Ausblick

Die Untersuchungen zum Beitrag von Pflanzen auf die Standsicherheit von Böschungssicherungen der Bauweise Lebend Bewehrte Erde zeigen, dass nicht die Festigkeit des Pflanzenmaterials sondern der Ausziehwiderstand der Pflanzen bzw. die Verbundfestigkeit τ_f zwischen Pflanzen und Boden der maßgebende Parameter ist. Die Verbundfestigkeit nimmt mit der Dichte des Bodens zu. Durch die Bewurzelung der Pflanzen steigt die Verbundfestigkeit im Laufe der Jahre auf den vier- bis fünffachen Wert an. Diese Steigerung der Tragfähigkeit stellt eine durchaus nutzbare Reserve für den Fall dar, dass Teile der eingelegten Pflanzen im Laufe der Zeit ausfallen. Wegen der unregelmäßigen Geometrie der

Pflanzen streut die Verbundfestigkeit verhältnismäßig stark, so dass der Einfluss der Normalspannung auf die Verbundfestigkeit darin untergeht. Aus diesem Grund wird abweichend von dem ursprünglichen Reibungsansatz (SCHUPPENER, 1994) vereinfachend eine konstante Verbundfestigkeit $\tau_{\rm f}$ beim Bemessungsmodell angesetzt.

Zwei Bemessungsmodelle werden untersucht: ein Starr-Körper-Bruchmechanismus mit einer geraden Bruchfläche und ein Zwei-Körper-Bruchmechanismus. Daraus werden auf Grundlage des Teilsicherheitskonzepts Formeln zur Bemessung der Böschungssicherung im Hinblick auf die Zahl, Länge und Dicke der einzulegenden Pflanzen abgeleitet. Damit steht ein durch Versuche abgesichertes bodenmechanisches Bemessungsverfahren zur Verfügung, mit dem die stabilisierende Wirkung der Pflanzen Böschungssicherung berücksichtigt werden kann.

Neben einer Verbreiterung der Datenbasis zur sicheren und wirklichkeitsnahen Festlegung der in der Bemessung anzusetzenden Verbundfestigkeit τ_f muss in weiteren Felduntersuchungen der Frage nachgegangen werden, welche Lebensbedingungen die Pflanzen vorfinden müssen, damit der Geotechniker auch auf Dauer auf sie rechnen kann.

6 Bemessungsbeispiel

Es soll eine Böschung mit einer Höhe von H = 4 m und einer Böschungsneigung von β = 50° mit der Bauweise *Lebend Bewehrte Erde* gesichert werden, die auf dem horizontalen Gelände oberhalb der Böschung mit einer Verkehrslast von p = 5 kN/m² belastet wird. Dazu ist geplant, Pflanzen mit einem mittleren Durchmesser von D = 0,02 m in Lagen in einem vertikalen Abstand von h = 0,5 m mit einer Neigung gegen die Horizontalen von α = 5° in einer Länge einzulegen, dass ein Stützkörper von b = 2,0 m Breite entsteht.

Der Boden für den Stützkörper ist auf eine Proctordichte von $D_{Pr}=93\%$ zu verdichten, so dass bei den erdstatischen Berechnungen ein Reibungswinkel von $\phi'_k=32,5^\circ$ und einer Kapillarkohäsion von $c_{c,k}=2$ kN/m² angenommen werden können. Der Boden bzw. der Stützkörper hat eine Wichte von $\gamma=18$ kN/m³. Es wird

angenommen, dass unmittelbar nach der Herstellung der *Lebend Bewehrten Erde* zwischen Pflanzen und Boden eine Verbundfestigkeit von mindestens $\tau_{f,k}=15~\text{kN/m}^2$ wirken. Das ist ggf. durch Zugversuche bei der Herstellung nachzuweisen. Die Böschungssicherung wird mit den Teilsicherheitsbeiwerten des Lastfalls 1 nach DIN 1054-neu bemessen (siehe Tabelle 1), wobei für die Pflanzen die Teilsicherheitsbeiwerte für flexible Bewehrungselemente angesetzt wurden.

Zur Ermittlung des Bemessungswerts der Tragfähigkeit Z_d der Pflanzen bei Ansatz gerader Bruchflächen mit Gleichung (3) wird eine Variationsrechnung durchgeführt (siehe Tabelle 2), indem die Neigung ϑ der Bruchflächen beginnend ϑ = 48° in Schritten von $\Delta\vartheta$ = 2° bis auf ϑ = 30° vermindert wird. Dann wird je nach Lage der Bruchfuge mit den Gleichungen (6) (7) und (8) die Zahl der erforderlichen Pflanzen N pro laufenden Meter Böschung bzw. n pro laufenden Meter Einbauberme ermittelt.

Neigung der Bruch- fläche ϑ	Z _d kN/m	z _w m	B m	N	n
42	4,9	0,3	1,1	18	2,5
40	6,4	1,1	1,4	21	2,9
38	7,2	1,7	1,8	24	3,3
36	7,0	2,2	2,2	27	3,7
34	5,7	2,4	2.6	25	3,5
32	3,2	2,7	3,0	15	2,2
30	-0,8	-	3,6	0	0

Tabelle 2: Bemessungsergebnisse bei geraden Bruchflächen

Bei einer Bemessung unter Annahme eines 2-Körper-Bruchmechanismus wird eine analoge Variationsrechnung durchgeführt, die um Bruchflächenneigung ϑ des unteren Bruchkörpers zu ermitteln, für die größte Zahl von Pflanzen erforderlich wird (siehe Tabelle 3). Zunächst wird mit Gleichung (11) die erforderliche Tragfähigkeit Zd der Pflanzen ermittelt. Für die Ermittlung der Scherkraft der Pflanzen in der vertikalen Bruchfuge zwischen den beiden Bruchkörpern wurde hier angenommen, dass 5 Pflanzen pro Ifd Meter Einbauberme notwendig werden. Bei einem Böschungswinkel von β = 50° und einem vertikalen Abstand der Pflanzenlagen von h = 0,5 m werden immer 5 Pflanzenlagen geschnitten, so dass insgesamt 25 Pflanzen zur Scherkraft beitragen. Setzt man nach Niemz (1993) eine Scherfestigkeit von Holz quer zur Faser an, die bei $\sigma zul \approx 1 \text{ N/mm}^2 = 1.000 \text{ kN/m}^2 \text{ liegt und schon}$ eine Sicherheit enthält, so ergibt sich der Bemessungswert für die Scherkraft von 25 Pflanzen zu: Pd = $25 \cdot \pi \cdot D^2/4 \cdot \sigma zul = 7.9 \text{ kN/m}.$ Im letzten Schritt wird dann für die erforderliche Tragfähigkeit der Pflanzen mit der Gleichung (12) die Zahl der erforderlichen Pflanzen bestimmt.

Die Variationsrechnungen ergeben, dass der Zwei-Körper-Bruchmechanismus bei einer Neigung der Bruchfuge von ϑ = 19° eine größere Zahl von Pflanzen erfordert als bei Ansatz geraden Bruchflächen, wo bei einer Bruchflächenneigung von ϑ = 36° die meisten Pflanzen erforderlich sind. Maßgebend für die Bemessung der Böschungssicherung ist die Bruchfläche, für die sich das Maximum der erforderlichen Pflanzen ergibt. Im vorliegenden Fall ist damit der Zwei-Körper-Bruchmechanismus für die Bemessung maßgebend.

Neigung der Bruchfläche ϑ	Z _d kN/m	H _U m	N	n	Bemerkung
7	- 1,2	0,28	0	0	
11	1,5	0,46	2,9	2,9	
15	3,9	0,70	6,6	4,8	
19	5,7	0,97	9,8	5,0	Maßgebend für die Bemessung
23	6,9	1,31	12,0	4,5	
27	6,7	1,77	12,6	3,5	

Tabelle 3: Bemessungsergebnisse beim Zwei-Körper-Bruchmechanismus

Einsatz von Pflanzen zur Befestigung von Böschungen und künstlichen Riffen

Stabilisierung von steilen Böschungen mit Pflanzen

7 Literatur

DIN 1054 (2000) Baugrund; Sicherheitsnachweise im Erd- und

Grundbau, Entwurf Dezember, 2000

DIN EN 13738 (2000) Geotextilien und geotextilverwandte Produkte;

Bestimmung des Widerstandes gegen Auszug aus

dem Boden, Entwurf Februar, 2000

Eurocode 7 (2001) prEN 1997-1, Geotechnical design – part 1 General

rules, final draft October 2001

Niemz, P. (1993) Physik des Holzes und der Holzwerkstoffe, DRW-

Verlag

Schiechtl, H. M. (1987): Böschungssicherung mit ingenieurbiologischen

Bauweisen, Grundbautaschenbuch, 3. Auflage, Teil 3,

Seiten 217 - 315

Schuppener, B. (1994): Die statische Berechnung der Bauweise Lebend

Bewehrte Erde, GEOTECHNIK 4

Schuppener, B. & Living Reinforced Earth – an ecological method of stabilizing steep slopes, Proc. XIIth ECSMGE, Vol. 1,

Amsterdam, 1999

B. Schuppener (2001) Bemessung von Böschungssicherungen mit Pflanzen,

geotechnik 24 (2001), Nr. 3

Verfasser:

Dr.-Ing. Bernd Schuppener Bundesanstalt für Wasserbau Kußmaulstr. 17. 76187 Karlsruhe

Tel.: 0721 9726-3800

e-mail: bernd.schuppener@baw.de

Schifffahrt und Navigation

SHIPS: Eine neue Methode zur effizienten Naturmessung des Schiffs-Squat

Prof. Dr. Alexander Härting

Fachhochschule Oldenburg / Ostfriesland / Wilhelmshaven

Prof. Dr.-Ing. Jörg Reinking

Fachhochschule Öldenburg / Ostfriesland / Wilhelmshaven

1 Einleitung

Aktuelle Experimente zur Messung des Squat von Seeschiffen basieren auf der Nutzung von differentiellen kinematischen GPS-Messungen, bei denen die Änderung der ellipsoidischen Höhen zwischen GPS-Empfängern an Bord des Seeschiffes und landfesten Referenzstationen gemessen werden. [1]. Bei den meisten dieser Experimente war es notwendig, die gemessenen Höhen um die Höhenänderungen der ungestörten Wasseroberfläche zu korrigieren. Dazu ist es notwendig, alle verfügbaren Pegeldaten heranzuziehen und die Tidewelle so zu modellieren, dass der Wasserstand am Schiffsort zum Messzeitpunkt aus einer räumlich-zeitlichen Interpolation berechnet werden kann. Einige Autoren [2] räumen ein, dass eine Genauigkeit von ca. 6 cm nur erreicht werden kann, wenn für die Messkampagne zusätzliche Pegel ausgelegt werden. Trotzdem ist es zweifelhaft, ob Wasseroberflächentopographie und Windeinfluss vernachlässigbar sind.

In diesem Artikel wird die SHIPS-Methode (SHore Independent Precise Squat observation) zur Naturmessung des Squat von Seeschiffen vorgeschlagen, die den mühsamen und fehleranfälligen Gebrauch von Pegeldaten vollständig vermeidet. Daneben bietet die SHIPS-Methode den Vorteil, den Squat unabhängig von landfesten Einrichtungen zu messen. Das Verfahren basiert ebenfalls auf GPS und wird an dieser Stelle ausführlich erläutert. Die SHIPS-Methode wurde in verschiedenen Experimenten auf deutschen Wasserstraßen getestet, die Ergebnisse und Erfahrungen dieser Experimente werden präsentiert und diskutiert.

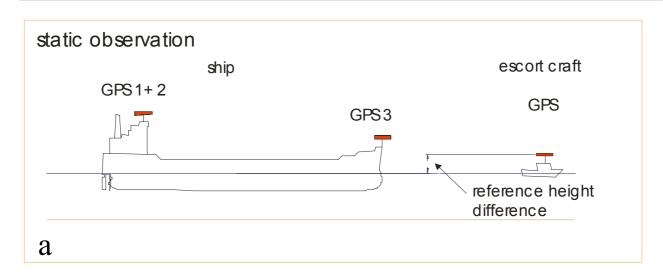
2 SHIPS-Methode: Das Grundprinzip

Die Grundidee der SHIPS-Methode besteht darin, während der Revierfahrt den Wasserstand am Ort

des zu untersuchenden Seeschiffes durch ein kleineres Begleitboot an Stelle von Pegelmessungen zu repräsentieren (Abb. 1). Das Verfahren nutzt GPS-Trägerphasenmessungen als Instrument zur Messung der Höhenänderungen zwischen dem zu untersuchenden Schiff und dem Begleitboot. An Bord des Seeschiffes werden drei hochgenaue, geodätische GPS-Empfänger möglichst weit voneinander so installiert, dass eine gute Satellitensichtbarkeit gewährleistet ist. Für die meisten Frachtschiffe bedeutet dies, dass zwei GPS-Empfänger an der Backbord- und Steuerbordseite der Brücke und ein Empfänger auf dem Vordeck angebracht werden. Ein vierter GPS-Empfänger wird an Bord des Begleitbootes installiert. Während des Experimentes fährt das Begleitfahrzeug in einer Entfernung von 200 bis 500 m voraus. Dabei werden die Höhendifferenzen der GPS-Antennen an Bord des Seeschiffes relativ zum Begleitfahrzeug gemessen.

Die Positionen der GPS-Antennen an Bord des zu untersuchenden Schiffes werden mit Standard-Messverfahren in das Koordinatensystem des Seeschiffes eingemessen. Für kleine, quasi-statische Änderungen von Trimm und Krängung ist die Annahme gerechtfertigt, dass die Rotationsachsen durch den Wasserlinienschwerpunkt (LCF: longitudinal centre of floatation) verlaufen, der den hydrostatischen Unterlagen des Schiffes entnommen werden kann. Aus den mit GPS gemessenen 3D-Koordinatendifferenzen im lokalen Koordinatensystem können die Höhenänderungen des Referenzpunktes (ergo des LCF) bezogen auf das Begleitboot sowie Roll- und Stampfwinkel berechnet werden. Für Untersuchungen der Kielfreiheit ist man an dem Punkt der größten Tiefgangszunahme interessiert. Abhängig von der jeweiligen Rumpfform und dem Trimmwinkel liegt dieser Punkt häufig in der Nähe des vorderen Lotes; die Ergebnisse der Messung werden dann als Bug-Squat ("bow squat") bezeichnet.

Der statische Höhenunterschied zwischen dem LCF und der GPS-Antenne an Bord des Begleitbootes, der im Ruhezustand bestimmt wird, was in einem Hafen durchgeführt werden könnte, wird benutzt, um den Null-Punkt der Squat-Skala zu definieren. Werden die beobachteten Höhenänderungen um diese statische Höhendifferenz reduziert, dann ergeben sich die Tiefgangsänderungen für jede Messepoche. Unter der Annahme, dass das Begleitboot die ungestörte Wasseroberfläche beschreibt, werden dadurch Wasserstandsänderungen während des Experimentes eliminiert.



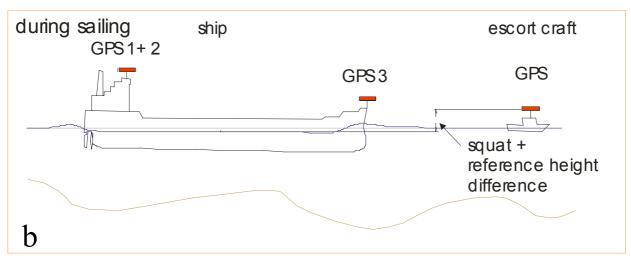


Abb. 1: Grundidee der SHIPS-Methode: Die Tiefgangsänderung zwischen einem Seeschiff und einem Begleitboot wird mit Hilfe von GPS-Höhenänderungen bestimmt. Messungen im Ruhezustand ergeben den Referenz-Höhenunterschied (a). Die Tiefgangszunahme ergibt sich aus den beobachteten Höhendifferenzen, die um den Referenz-

3 Verhalten des Begleitbootes

Höhenunterschied reduziert werden (b).

Die resultierenden Höhenunterschiede sind stark beeinflusst durch das Verhalten des Begleitbootes. Aus verschiedenen Gründen bleibt die Höhe der GPS-Antenne über der ungestörten Wasseroberfläche nicht konstant. Obwohl die Höhenänderungen normalerweise klein sind, ist ihre Kenntnis entscheidend, um aus den rohen Beobachtungen der Höhendifferenzen den Squat des Seeschiffes genau zu bestimmen.

Die Höhenänderung der GPS-Antenne auf dem Begleitboot in Abhängigkeit der Geschwindigkeit kann in einem separaten Kalibrations-Experiment bestimmt werden. Zur Vereinfachung bezeichnen wir diese Höhenänderungen als "squat" des Begleitbootes, obwohl sie für ein kleineres Boot in Gleitfahrt auch eine Höhenzunahme sein kann und ihr Wert durch systematische Roll- und Stampfbewegungen am Ort der Antenne beeinflusst ist. Für Kalibrationszwecke ist die Information ausreichend, solange die GPS-Antenne während der Begleitfahrt an der selben Position installiert wird. Unter den genannten Voraussetzungen ist die Messung des Squat eines kleineren Bootes mit GPS relativ einfach. Vorzugsweise bei Hochoder Niedrigwasser fährt man mit dem Begleitboot in der Nähe einer landfesten Referenzstation mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten und führt einige Maschine-Stopp-Manöver aus. Da diese Manöver auf dem kleinen Boot nur wenige Sekunden beanspruchen, lässt sich der Squat-Effekt direkt aus der Änderung der Antennenhöhe ablesen. Sind ausreichend viele Daten erfasst, dann kann der Squat des Bootes als Funktion der Fahrt-durchs-Wasser mittels einer Approximationsfunktion beschrieben werden. Es sei bemerkt, dass für kleine Boote das Fahrwasser als unbeschränkt angesehen werden kann und die Kalibrationsfunktion ausschließlich von der Fahrt-durchs-Wasser abhängt.

Während die Kalibrationsfunktion den Squat des Begleitbootes korrigieren kann, treten bei der Squat-Messung nicht-stationäre Vertikalbewegungen durch Wellen und Schwell auf. Diese welleninduzierten Hubbewegungen müssen eliminiert werden, um Fehlinterpretationen des Squat zu vermeiden. Eine Möglichkeit der Bestimmung der welleninduzierten Hubbewegungen besteht darin, einen Heave-Roll-Pitch-Sensor einzusetzen, der die Höhenänderungen mittels Beschleunigungs- und Drehratenmessung bestimmt. Unglücklicherweise zeigen diese Sensoren über längere Zeiträume eine systematische Drift, so dass eine digitale Hochpass-Filterung der Daten notwendig ist. Eine alternative, unabhängige Messung der Hubbewegungen wäre wünschenswert, um die gefilterten Daten zu verifizieren. Zu diesem Zweck kann der GPS-Empfänger an Bord des Begleitbootes verwendet werden, auch wenn keine landfeste Referenzstation zur Verfügung steht und die absolute Höhe der GPS-Antenne also unbekannt ist. Die welleninduzierte Höhenänderung kann aus kumulierten und gefilterten Epoche-zu-Epoche-GPS-Phasendifferenzen hergeleitet werden [4].

4 Datenqualität und zusätzliche Korrekturen

Nachdem die in Kapitel 3 beschriebenen Korrekturen für das Verhalten des Begleitbootes angebracht wurden, sind noch einige zusätzlichen Korrekturen zu berücksichtigen.

Die Dichte des Wassers in Ästuarien ändert sich häufig auf Grund der tideabhängigen Änderung des Salzgehaltes und der Temperatur. Daher sollten diese Parameter während des Experimentes bestimmt werden. Daten von existierenden Stationen können mit Proben, die auf dem Begleitboot genommen wurden, verglichen werden. Im Allgemeinen sind die Korrekturen für das Begleitboot vernachlässigbar klein, für das Seeschiff müssen sie allerdings berücksichtigt werden.

Die Wasseroberflächenneigung zwischen dem Begleitboot und dem Seeschiff muss, obwohl klein, beachtet werden. Wenn der Abstand zwischen den

beiden Fahrzeugen klein gehalten werden kann (300-400 m), überschreitet der Höhenunterschied zwischen den Fahrzeugen, abhängig von der Tide, selten 1 cm. Diese kleinen Korrekturen können wahrscheinlich mit ausreichender Genauigkeit aus einer mittleren Tidekurve abgeleitet werden. Bei der Untersuchung der bisher durchgeführten Testmessungen haben wir jedoch zusätzlich interpolierte Pegelablesungen benutzt.

Zur Untersuchung der Geschwindigkeitsabhängigkeit des Squat ist die Geschwindigkeit durchs Wasser der relevante Parameter. Allerdings werden aus GPS-Messungen mit guter Genauigkeit nur Geschwindigkeiten über Grund berechnet. Bisher wurden Kalibrationswerte, die aus einigen 180°-Wendemanövern bei konstanter Maschinendrehzahl in Verbindung mit Stromprofilen aus dem Seehandbuch hergleitet wurden, zur Korrektur der GPS-Geschwindigkeiten über Grund genutzt. Es wäre wünschenswert, unabhängige Messungen der aktuellen Strömungsverhältnisse zu verwenden, die zumindest auf dem Begleitboot mit einer genauen Logge gemessen werden. Weitere Untersuchungen hierzu müssen noch abhängig von vorhandener Ausrüstung durchgeführt werden.

Die in diesem Artikel vorgestellte Methode stützt sich nicht auf GPS-Messungen im RTK-Modus, da die abgespeicherten rohen Phasendaten eine Untersuchung auf Ausreißer und der Datenqualität sowie die Korrektur verschiedener Effekte ermöglichen. Daneben können welleninduzierte Hubbewegungen nur in der Nachverarbeitung korrekt berechnet werden. Die Speicherrate der Daten sollte möglichst hoch sein, sie hängt aber von der Speicherkapazität der Empfänger ab. Im Allgemeinen verwenden wir ein Speicherintervall von 1 Sekunde. Als die ersten Überlegungen zur SHIPS-Methode entwickelt wurden, war keine kommerzielle Software verfügbar, die die Möglichkeit der Prozessierung von GPS-Trägerphasendaten relativ zu einer bewegten Referenzstation ermöglichte. Daher entwickelten wir eine eigene Software, die den bewegten GPS-Empfänger auf dem Begleitboot als Referenzstation nutzt. Durch die kurze Basislinie zwischen den Empfängern an Bord des Seeschiffes und der bewegten Referenzstation werden die troposphärischen Einflüsse stark reduziert. Ionosphärische Einflüsse werden größtenteils durch die Nutzung von Zweifrequenzempfängern eliminiert. Tests haben gezeigt, dass die mit diesem Programmpaket berechneten Höhendifferenzen eine Qualität von ca. 1 cm haben. Unter Berücksichtigung aller Fehlerquellen ist die erwartbare Genauigkeit des resultierenden Squat besser als 3-4 cm.

5 Testergebnisse

Um die Praktikabilität der SHIPS-Methode und die Qualität der resultierenden Squat-Daten zu untersuchen, wurden verschiedene Experimente durchgeführt.

Die erste Testmessung mit der vorgeschlagenen Methode fand am 30. Oktober und 1. November 1998 auf der Unterweser zwischen Bremerhaven und Bremen statt [5].

Das zu untersuchende Seeschiff war die "MV Pioneer", ein 50.000 t Massengutfrachter mit einem Tiefgang von 10,7 m - dies ist der maximal zugelassene Tiefgang für die Unterweser bis Bremen - mit einer Ladung Erz für die Bremer Stahlwerke. Das Begleitboot war die 12 m-Barkasse "Alk" des "Schulschiffverein Großherzogin Elisabeth". Ein Messteam betrat bei der Fahrt weseraufwärts das Seeschiff mit der gesamten Ausrüstung beim Lotsenwechsel bei Geestemünde. Nach der Installation aller Empfänger wurden die Beobachtungen zwischen Weser-km 45 (Dedesdorf) und 10 (Bremer Stahlwerke) ausgeführt (Abb. 2).

schwindigkeit durchs Wasser (speed through water). Allerdings können auch andere Effekte klar identifiziert werden. Zwischen Weser-km 41 und 37 zeigt der Grund der Weser eine wellenartige Struktur mit einer Amplitude von ca. 1-2 m und einer Wellenlänge von ca. 50-100 m. In Verbindung mit diesem Phänomen zeigt der Squat in diesem Bereich Variationen von 10-15 cm. Andererseits treten zwischen km 35 und 31 Squat-Änderungen auf, die nicht durch einen einfachen Zusammenhang zwischen Squat, Geschwindigkeit und Gewässertiefe erklärbar sind. In diesem Bereich ist eine negative Korrelation zwischen kleinen Geschwindigkeitsänderungen und Squat-Änderungen erkennbar. Es stellte sich die Frage, ob dieser Effekt tatsächlich existiert oder ob er auf methodenimmanente Messfehler zurückzuführen ist.

Ein zweites Experiment wurde am 14. Juli 1999 ebenfalls auf der Unterweser durchgeführt. Das zu untersuchende Seeschiff war der PANAMAX-Massengutfrachter "Maersk Taian" auf der Reise weseraufwärts bis zu den Bremer Stahlwerken mit einem Tiefgang von 10,3 m.

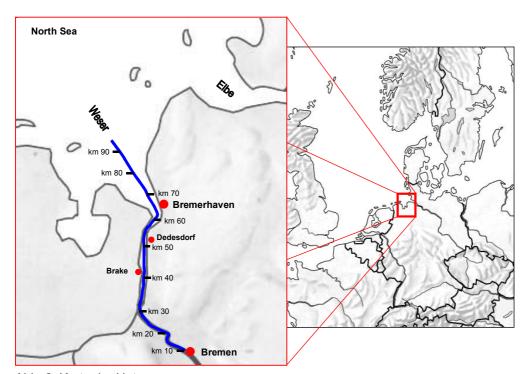


Abb. 2: Karte der Unterweser

Auf Grund technischer Probleme mit dem Begleitboot konnte die tatsächliche Datenaufzeichung nur bis Weser-km 24 durchgeführt werden. Abb. 3 zeigt den resultierenden Squat für den Abschnitt zwischen km 45 und km 27. Wie vorherzusehen, ist der Squat offensichtlich abhängig von der Ge-

Das Messteam konnte mit den Geräten das Schiff an der Lotsenstation "Weser Pilot" betreten. Die Beobachtungen wurden zwischen Weser-km 96,9 und 10,3 ausgeführt. Als Begleitboot konnte das Arbeitsboot "Geestemünde" des WSA Bremerhaven genutzt werden.

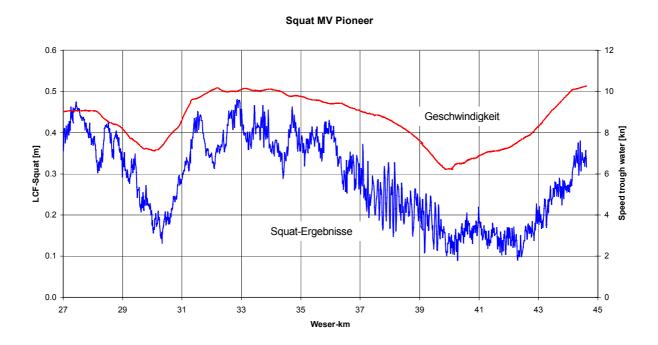


Abb. 3: Squat-Ergebnisse (blau) und Geschwindigkeit (rot) des ersten Experiments mit MV Pioneer

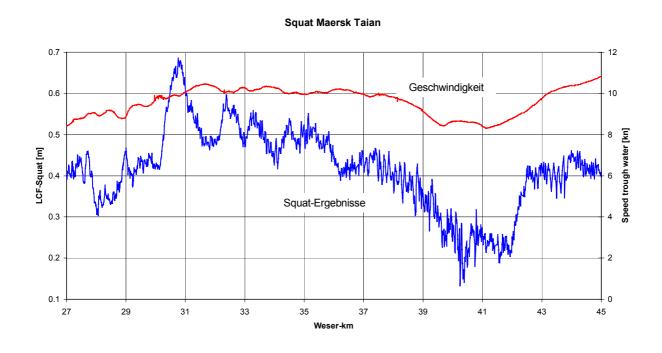


Abb. 4: Squat-Ergebnisse (blau) und Geschwindigkeit (rot) des Experiments mit Maersk Taian

Stellt man die Ergebnisse dieses Experimentes für den selben Abschnitt wie für die MV Pioneer dar (Abb. 4), dann ist wiederum die Abhängigkeit des Squat von der Geschwindigkeit ersichtlich.

Auch der Einfluss der Wellenstruktur des Wesergrundes zwischen Weser-km 41 und 37 ist erkennbar. Und wieder zeigt dieser unabhängige Test mit vollkommen anderen Parametern (Wetter, Begleitboot etc.) eine negative Korrelation für Squat und Geschwindigkeit zwischen Weser-km 31 und 35. Ein detaillierter direkter Vergleich der Ergebnisse dieser Tests ist in Abb. 5 dargestellt.

Ein drittes Experiment wurde am 22. Dezember 2000 wiederum auf der Unterweser durchgeführt. Die Sanko Summit, ein Massengutfrachter mit einer Länge von 190 m und einer Breite von 32,2 m, verließ den Hafen von Brake (km 40) bei der Ausreise mit einem Tiefgang von 11,3 m. Das Begleitboot - wiederum die Geestemünde - begleitete die Sanko Summit bis zum Hafen von Bremerhaven (km 72). Abb 6. zeigt den resultierenden Bug-Squat und die Geschwindigkeit durchs Wasser. Zusätzlich haben wir den mit der Näherungsformel nach ICORELS [3] berechneten Bug-Squat dargestellt.

Comparision MV Pioneer and Maersk Taian

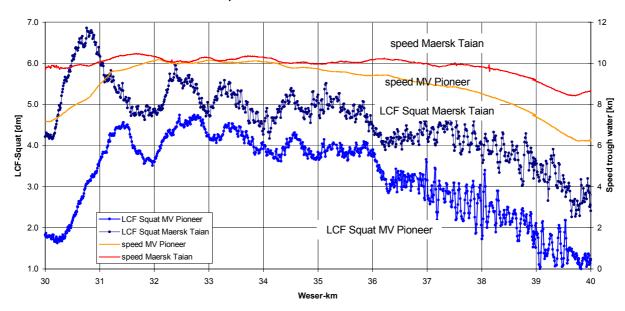


Abb. 5: Vergleich der Ergebnisse der ersten beiden Experimente

Die Geschwindigkeit beider Schiffe zeigt zwischen Weser-km 36 und 31,5 eine ähnliche Charakteristik. In beiden Squat-Datensätzen ist dieselbe negative Korrelation mit kleinen Geschwindigkeitsänderungen an denselben Positionen erkennbar. Auch wenn dieses Verhalten bisher noch nicht im Detail erklärt werden kann, so zeigt der Vergleich dieser beiden unabhängigen Datensätze deutlich die beeindruckende Qualität des mit der SHIPS-Methode erzeugten Datenmaterials. Anscheinend ist die erwartete Genauigkeit von unter 3-4 cm erreichbar, wenn das neue Konzept angewendet und alle notwendigen Korrekturen angebracht werden.

$$s_b = 2.4 \cdot \frac{\nabla}{L_{pp}^2} \cdot \frac{F_{nh}^2}{\sqrt{1 - F_{nh}^2}} \cdot K_s$$

Fahrwassertiefen und -weiten wurden hydrographischen Unterlagen des WSA Bremerhaven entnommen. Zwischen Weser-km 42 und 56 beschreibt der ICORELS-Squat den beobachteten Squat mit einer ausreichenden Qualität. Die Standardabweichung, berechnet aus den Differenzen beider Werte liegt bei 4,3 cm. Bedenkt man, dass die-ICORELS-Gleichung wegen des approximativen Charakters nicht in der Lage ist, das gesamte Squat-Verhalten des Schiffs exakt zu beschreiben und berücksichtigt man, dass der gemessene

SHIPS: Eine neue Methode zur effizienten Naturmessung des Schiffs-Squat

Squat auch kleinskalige Effekte enthält, dann kann festgestellt werden, dass erstens die Genauigkeit des gemessenen Squat offensichtlich so gut wie erwartet ist und zweitens, dass die ICORELS-Formel, wenn sie wie angegeben verwendet wird, eine passende Beschreibung der Realität für diesen Parametersatz (Schiff, Tide, Fahrwasserstruktur etc.) darstellt. Von Weser-km 56 bis zu km 72 nimmt die Breite des Fahrwassers bis zu Werten zu, die nicht mehr vom Korrekturfaktor K_s abgedeckt werden. Für diesen Abschnitt des Flusses führt eine Anpassung des eher konservativen Faktors 2,4 zu einer besseren Beschreibung.

Wenn die vorgeschlagene Methode etabliert ist, sind Naturmessungen des Squat-Effektes mit erheblich geringerem Aufwand möglich. Aus einer größeren Zahl von Messungen können, abgesehen von den individuellen Resultaten, folgende wesentliche Fragestellungen untersucht werden:

Ist es möglich, für individuelle Schiffe und in einem Revier eine Vorhersage des Squat-Effektes für bestimmte Geschwindigkeiten, Positionen und Tidestände zu treffen? Wie genau ist eine solche Vorhersage? Idealerweise sollten die Ergebnisse der Experimente so aufbereitet werden, dass sie ähnlich wie Manövrierunterlagen genutzt werden können.

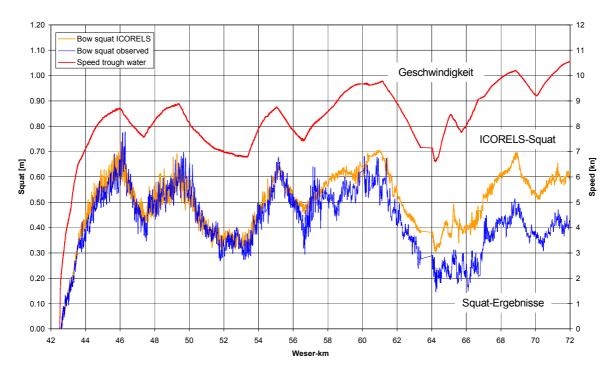


Abb. 6: Squat-Ergebnisse (blau) und Geschwindigkeit (rot) des Experiments mit der Sanko Summit. ICORELS-Squat in orange.

6 Künftige Möglichkeiten

Bei allen unserer ersten Testfahrten waren behelfsmäßige Improvisationen notwendig. Für zukünftige effiziente Messungen ist es erforderlich. die logistische Vorbereitung, den Geräteeinsatz und den Datenfluss zu optimieren. Die exzellente Qualität der Daten zeigt, dass der Informationsgehalt erheblich höher ist, als in Kapitel 5 dargestellt werden konnte. Die Analysen müssen so weiterentwickelt werden, dass alle signifikanten Parameter verstanden werden können.

- Ist es möglich, existierende Näherungsformeln für einzelne Schiffe auf der Grundlage individueller Untersuchungen zu "kalibrieren"?
- Ist es möglich, das beobachtete systematische Verhalten zu generalisieren und gegebenenfalls zu einem Produkt zu entwickeln, dass existierende empirische Formeln ersetzen kann? Ein solches Produkt muss für eine Standard-PC zugeschnitten sein und könnte teilweise auf analytischen Beschreibungen

Schifffahrt und Navigation

SHIPS: Eine neue Methode zur effizienten Naturmessung des Schiffs-Squat

und teilweise auf entsprechende Interpolation von in Datenbanken abgelegten experimentellen Ergebnissen basieren.

Eine ausreichende Anzahl hochgenauer experimenteller Datensätze würde die Untersuchung möglicher dynamischer Effekte im Squat-Verhalten, z.B. in Abhängigkeit der Änderung von Parametern, erlauben. Über ein solches Verhalten mehr zu erfahren wäre wichtig, da solche Änderungen typisch für die Realität sind, alle theoretischen Näherungen allerdings stationäre Zustände voraussetzen.

7 Literatur

- [1] J.Feng, K.Kubik and S.O'Mahony, On-The-Fly GPS Kinematic Positioning for Measuring Squat and Trim of Large Passenger Ships, Proc. ION-GPS-96, Kansas-City, Sept. 1996, pp. 367-373.
- [2] Braun, G., Dünck-Kerst, H.-G., Wirth, H., Meßtechnische Ermittlung des schiffsdynamischen Parameters Squat, Beiträge zum 11. Hydrographentag, Glücksburg, Germany 1996.
- [3] PIANC-IAPH, Approach Channels, A Guide for Design, Report of the joint working group II-30, PIANC-Bulletin Nr.95, June 1997.
- [4] Reinking, J., Härting A., GPS-gestützte Seegangskorrektur hydrographischer Messungen aus Einzelempfänger-Daten, Zeitschrift für Vermessungswesen 127, in print (2002)
- [5] Härting, A., Reinking, J., Efficient determination of ship squat, Schiff und Hafen, 3 (1999), pp. 78-81.

Verfasser:

Prof. Dr. Alexander Härting Fachhochschule Oldenburg / Ostfriesland / Wilhelmshaven Weserstr. 4, 26931 Elsfleth

Tel.: 01805 67807-4161

e-mail: Alexander.Haerting@els.fh-oldenburg.de

Prof. Dr.-Ing. Jörg Reinking Fachhochschule Oldenburg / Ostfriesland / Wilhelmshaven Ofener Straße 16-19, 26121 Oldenburg

Tel.: 0441 7708-3250

e-mail: reinking@fh-oldenburg.de