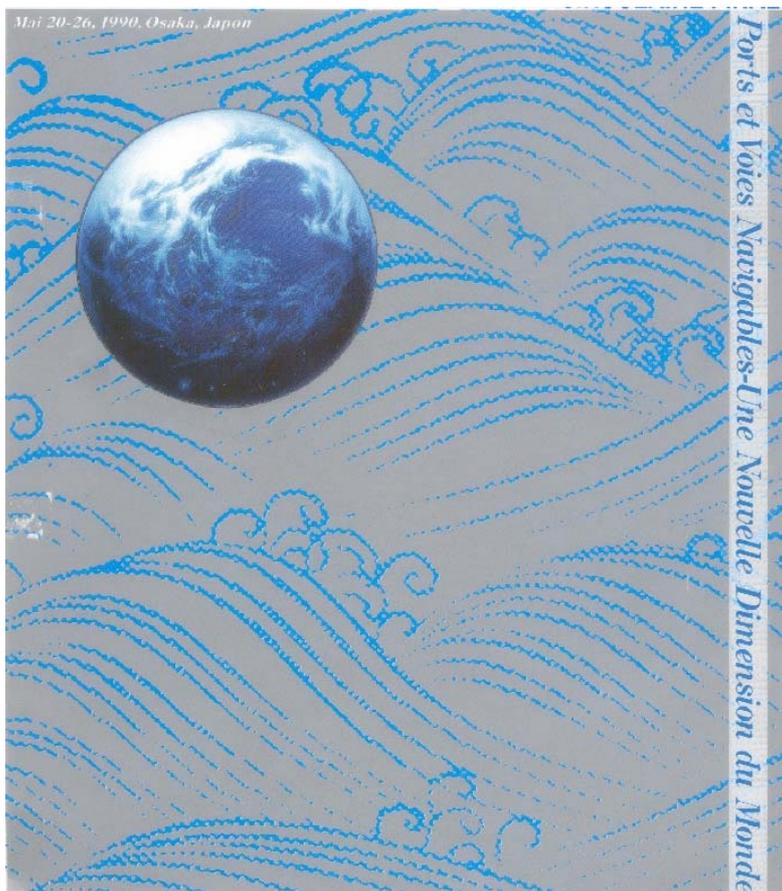


PIANC•AIPCN
Schifffahrt, Häfen, Wasserstraßen



27.
Internationaler Schifffahrtskongress



Osaka / Japan (Mai 1990)
Deutsche Beiträge

Abteilung I

Binnenwasserstraßen und Binnenhäfen

(für gewerbliche und Freizeitschifffahrt)

zu Thema 1:

Thema des deutschen Berichts

Künftiges Konzept zur Überwachung des Stromregimes am Niederrhein; Steigerung der Tiefenmeßgenauigkeit durch Einsatz landgestützter Lasersysteme.

Berichterstatter:

Dr.-Ing. J. Behrens, Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz

Dipl.-Ing. H. Henoeh, Wasser- und Schifffahrtsdirektion West, Münster

Dipl.-Ing. W. Keydana, Wasser- und Schifffahrtsamt Duisburg-Rhein,
Außenstelle Wesel

Übersicht

Der Niederrhein ist trotz Festlegung des Mittelwasserbettes und umfangreicher Eindeichungen für den Hochwasserschutz ein Fluß mit freiem Abfluß geblieben. Strömung und stark wechselnde Wasserstände führen zu ständigen Umlagerungen des kiesigen Sohlenmaterials und zu Schäden an den Strombauwerken. Die intensiven anthropogenen Nutzungen (Siedlung, Landwirtschaft, Schifffahrt, Industrie, Bergbau) verursachen im Strombereich immer wieder Eingriffe, die durch wasserbauliche Maßnahmen ausgeglichen werden müssen. Aus wirtschaftlichen und verkehrlichen Gründen werden ständig höhere Anforderungen an Umfang, Genauigkeit und Schnelligkeit der Meßverfahren gestellt, die zur Überwachung der Wasserstraße und für Planung und Ausführung der Strombaumaßnahmen notwendig sind. Beschrieben werden die am Niederrhein anzuwendenden Meßmethoden in Verbindung mit einem neuen, leistungsfähigen Meßschiff.

Inhalt

1.	Allgemeines	2
1.1	Bedeutung der Wasserstraße Niederrhein	2
1.2	Aufgaben und Probleme bei der Gewässerüberwachung	4
2.	Überwachung der Gewässertopographie	5
2.1	Komponenten eines modernen Peilsystems	5
2.2	Verbesserung der Systemgenauigkeit durch Lasertechnik	6
2.3	Peilkonzept für den Niederrhein	9
3.	Erfassung weiterer gewässerkundlicher Daten	10
3.1	Meßaufgaben	10
3.2	Wasserstraßenbedingte Probleme beim Messen	10
3.3	Verbesserung der hydrologischen Meßverfahren	11
4.	Modernes Meßschiff für den Niederrhein	15

Literatur**1. Allgemeines****1.1 Bedeutung der Wasserstraße „Niederrhein“**

Der Rhein ist die verkehrsreichste Binnenwasserstraße Europas. Etwa 2/3 der Verkehrsleistungen der Binnenschifffahrt werden auf ihm erbracht. Über 130 Mio. t Güter werden im Jahr über die Grenzdurchgangsstelle Emmerich transportiert, mit einem Aufkommen von mehr als 180.000 Fahrzeugen/Jahr. Das bedeutet eine Verkehrsfrequenz von 500 Binnenschiffen/Tag; als Spitzenbelastung werden 1.000 Fahrzeuge/Tag erreicht.

Als „Niederrhein“ wird hier der Flußabschnitt des Rheins bezeichnet, der im Bundesland Nordrhein-Westfalen der Bundesrepublik Deutschland liegt. Er reicht von der Köln-Bonner Tieflandsbucht, die im Süden durch den Mittelgebirgszug der Eifel begrenzt wird, bis zur deutsch-niederländischen Staatsgrenze im Norden (Abb. 1).

Die Wasser- und Schifffahrtsverwaltung (WSV) unterhält für den Schiffsverkehr eine 150 m breite Fahrrinne, die bei dem sogenannten „Gleichwertigen Wasserstand“ (GLW) – das ist ein Wasserstand, der im langjährigen Jahresdurchschnitt an höchstens 20 Tagen im Jahr unterschritten wird – in den Bereichen Emmerich–Köln eine Wassertiefe von 2,50 m und Köln–Bonn von 2,10 m aufweist. Bei höheren Wasserständen kann die Schifffahrt auch die gesamte Wasserspiegellbreite zwischen den Ausbaulinien, das sind etwa 300 m, als Fahrwasser benutzen.

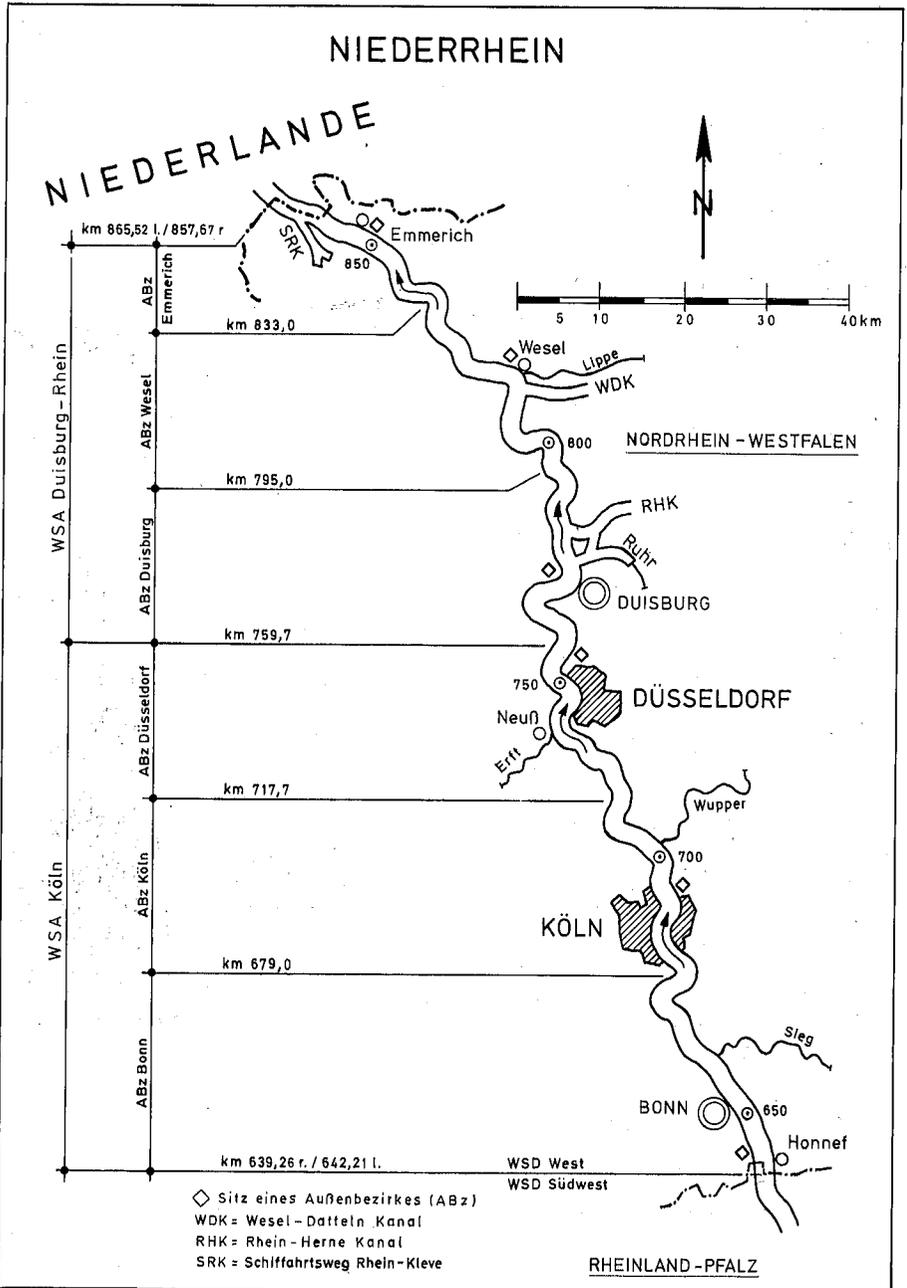


Abb. 1: Niederrhein

1.2 Aufgaben und Probleme der Gewässerüberwachung

Die WSV hat die Aufgabe, die Bundeswasserstraße in einem für den Wasserabfluß ordnungsgemäßen und für die Schifffahrt sicheren Zustand zu erhalten, wenn notwendig auszubauen sowie die Binnenschiffsflotte und den Binnenschiffsverkehr zu fördern.

Mehr als 200 Jahre Wasserbau am Niederrhein haben den Strom in ein festes Bett gezwängt und damit die Voraussetzungen für einen ausreichenden Hochwasserschutz der Siedlungen sowie ein hinreichend tiefes Fahrwasser für einen leistungsfähigen Schiffsverkehr geschaffen. Sie haben jedoch den Charakter des freifließenden Stromes mit seinen ständig schwankenden Wasserständen und den sich daraus ergebenden stark wechselnden Beanspruchungen auf die Sohle und die Ufer nicht grundsätzlich verändert. Nach wie vor unterliegt die Kiessohle den Erosions- und Ablagerungseinflüssen, die durch Strömungskräfte und Geschiebetrieb bestimmt werden.

Dabei überwiegt im Bereich oberhalb Köln die Ablagerungstendenz, während weiter unterhalb eine erhebliche Erosionsgefahr besteht. Die Erosionsraten erreichen hier kurz oberhalb der deutsch-niederländischen Grenze streckenweise noch Werte bis zu 4 cm/Jahr. Ständige Korrektur- und Unterhaltungsarbeiten an der wasserbaulichen Infrastruktur sowie Baggerungen sind die Folge dieser Naturkräfte, die durch menschliche Eingriffe zur Nutzung des Strombereichs (z.B. Eindeichungen, Industrieansiedlungen, Bergbaukolke in der Sohle, Verkehrsbelastung durch die Schifffahrt) noch verstärkt werden [1, 2].

Um die Sicherheit des Verkehrs auf der Wasserstraße zu gewährleisten und wirtschaftliche Baumaßnahmen zur Erhaltung und ordnungsgemäßen Verbesserung unzureichender Abflußverhältnisse und Verringerung der Schäden an Sohle und Ufer zu erreichen, ist eine umfassende, leistungsfähige und genaue Überwachung der Topographie des Gewässerbettes (siehe Abschnitt 2) und der physikalischen Daten notwendig, die den Wasserabfluß und den Geschiebehaushalt bestimmen (siehe Abschnitt 3). Der wesentliche Teil dieser Messungen muß auf dem Gewässer selbst erfolgen. Dazu dienen die mit den erforderlichen Geräten ausgestatteten Meßschiffe.

In den letzten 10 Jahren hat die Datenverarbeitungs- und Lasertechnik zunehmend Eingang in alle Gebiete des Meßwesens gefunden und die Leistungsfähigkeit der für die Gewässerüberwachung erforderlichen Meßgeräte und die Genauigkeit der Messungen erheblich verbessert. Für die Gewässervermessung und die Erfassung der gewässerkundlichen Daten werden diese neuen Techniken am Niederrhein jetzt schon angewendet oder umgehend eingeführt, wobei darauf hingewiesen werden muß, daß die Entwicklung und Verbesserung dieser Meßtechniken noch nicht abgeschlossen ist und weiterhin dem jeweiligen Stand der Technik angepaßt werden muß.

2. Überwachung der Gewässertopographie

2.1 Komponenten eines modernen Peilsystems

Diese ständige Vermessungsaufgabe „Überwachung der morphologischen Gestalt der Gewässersohle“ wird als „Peilung“ bezeichnet. Die Peilung umfaßt eine zum selben Zeitpunkt stattfindende Ortung und Lotung [3], sie besteht aus:

- den Positions- oder Lagebestimmungen schwimmender Meßfahrzeuge (Ortung),
- den Tiefenmessungen (Lotung), bezogen auf die Lage der Meßfahrzeuge und
- den damit gleichzeitig verbundenen Zeitmessungen (Zeitbezug).

Das Vermessungssystem für Peilungen umfaßt Meß-, Steuer- und Registriergeräte, über die während einer Meßfahrt Datenerfassung, Datenaufbereitung hinsichtlich der Datenselektion und der Überprüfung der Daten auf Plausibilität, Berechnung von Zusatzinformationen sowie Datenausgabe und -speicherung erfolgt (Abb. 2).

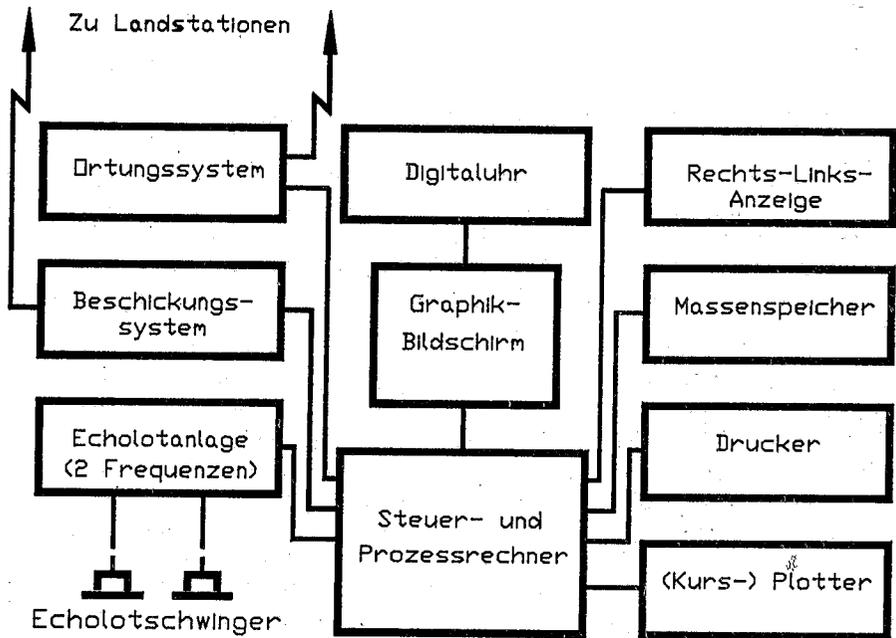


Abb. 2: Prinzip eines Vermessungssystems (Bordstation)

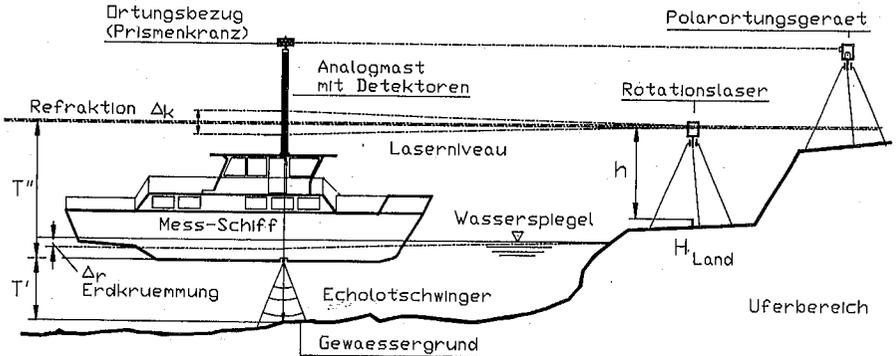
Das Vermessungssystem muß die Meßdaten „online“ verarbeiten, weil aus den Ergebnissen Folgeinformationen für die Fortsetzung der momentanen Peilung abgeleitet werden müssen. Aufbereitung und Verarbeitung der Meßdaten erfolgen durch einen Rechner, der als Kontroll- und Steuereinheit den gesamten Ablauf des Meß-

programms überwacht. Dieser Steuerrechner ist mit einer externen Puffereinheit für die getrennte Sammlung aktueller Meßdaten verbunden. Es wird deutlich, daß das Programmsystem für Peilungen ganz wesentlich den Ablauf der Peilfahrten und die Informationsfülle der Meßdaten bestimmt und daher auf den beabsichtigten Peilzweck abgestimmt sein muß. Hier ist eine Optimierung nach der Meßgenauigkeit und der Wirtschaftlichkeit von Peilungen zwingend notwendig.

Das beschriebene Verfahren gilt für den Teil des Gewässerbettes, der in der Regel Wassertiefen von mehr als 1,5 m aufweist. Die Uferbereiche oder auch weiterreichende Vorländer längs der Wasserstraßen werden entweder mit terrestrischen Meßverfahren (Tachymeteraufnahme; in Flachwasserbereichen: Stangenpeilung) oder durch Luftbildaufnahme erfaßt. Aufnahme und Auswertung von Luftbildern ist wirtschaftlicher als von Tachymeterdaten, jedoch lassen die örtlichen Gegebenheiten Befliegungen nicht immer zu. Als Ergebnis dieser Meßmethoden erhält man ein lückenloses Bild der Topographie des Gewässerbettes in erweitertem Sinne, d.h. auch für die Bereiche der Erdoberfläche, die bei Hochwasser mit Wasser bedeckt sind.

2.2 Verbesserung der Systemgenauigkeit durch Lasertechnik

Das Peilen in der Gewässervermessung für die Aufgabenerledigung der WSV gilt heute als bewährtes Meßverfahren, das durch technologisch neue Komponenten des zuvor beschriebenen Vermessungssystems ständig verbessert wird. Es ist Aufgabe der Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG), einer Oberbehörde des Bundesministers für Verkehr (BMV), die Entwicklung und Erprobung neuer Meßgeräte und Meßverfahren unter Berücksichtigung internationaler Systemangebote für die WSV vorzunehmen. So ist in den letzten Jahren durch die Nutzung der Lasertechnik die Meßgenauigkeit bei der Beschickung der Peilungen verbessert worden. Unter Beschickung versteht man die Zuordnung der gemessenen Tiefenwerte zu einem Höhenbezugssystem. In der Bundesrepublik Deutschland werden die Höhen in der Regel auf Normalnull (NN) bezogen. Auf Bundeswasserstraßen benutzt man häufig den Bezugswasserstand, z.B. auf dem Niederrhein den gleichwertigen Wasserstand (GlW). Als Bezugsfläche für die Tiefenmessung wird meistens der das Meßschiff umgebende Wasserspiegel benutzt. Dabei werden die Höhenwerte des Wasserspiegels mit Hilfe abgelesener Pegelwerte berechnet. Das Verfahren ist recht ungenau und kann die Höhen der Gewässersohle verfälschen, insbesondere wenn das Meßschiff mehrere Kilometer vom nächstgelegenen Pegel entfernt ist. Der Höhenbezug kann auch mit Hilfe von Nivellierinstrumenten hergestellt werden. Dabei wird entweder der Wasserspiegel oder das Meßschiff während einer Meßfahrt direkt vom Ufer aus beobachtet. Diese Methode ist wegen begrenzter optischer Sichtweite nur bis maximal 200 m Entfernung einsetzbar. Daher suchte man nach Meßgeräten, die präziser und schneller die Beschickung der mit Echoloten gemessenen Tiefenwerte ermöglichten als bisher. Anfang der 80er Jahre begannen am Niederrhein Versuche, ein sogenanntes Niveau-



Berechnungsformeln:

$$H_{\text{Gewässergrund}} = H_{\text{Land}} + h_{\text{Niveaulaser}} - T'' - T' - \Delta_r + \Delta_k$$

$$\text{Wassertiefe } T = T' + \text{Eintauchtiefe Mess-Schiff}$$

Abb. 3: Gewässervermessung mittels Niveaulasersystems

lasersystem als Beschickungsgerät einzusetzen (Abb. 3). Die Versuche führten nach einigen Anpassungen durch den Gerätehersteller zu befriedigenden Meßergebnissen [4, 5].

Dieses im Prinzip nivellistisch arbeitende Gerätesystem besteht aus einem Rotationslaser und einem Analogmast mit Detektoren. Der Rotationslaser am Ufer sendet durch ein Umlenkprisma scharf horizontalgebündelte Laserstrahlen aus, die als Bezugsfläche ein Laserniveau aufspannen. Der auf dem Meßschiff angebrachte Analogmast empfängt das Laserlicht, so daß unter Berücksichtigung der Erdkrümmung der Beschickungswert für den momentan gemessenen Tiefenwert bekannt ist und in den Bordrechner eingespeist werden kann. Bei der Meßdatenauswertung ist außerdem der Einfluß der Refraktion zu berücksichtigen. Untersuchungen der BfG haben zwar ergeben, daß Refraktionsinflüsse von mehreren Dezimetern auf 1.000 m auftreten können, die praktischen Erfahrungen am Niederrhein zeigen aber, daß bei Reduktion mit dem in Mitteleuropa gültigen Refraktionskoeffizienten von $k_{\text{Licht}} = 0,13$ und den hier herrschenden atmosphärischen Verhältnissen eine Genauigkeit von besser als 8 cm/km erreicht wird.

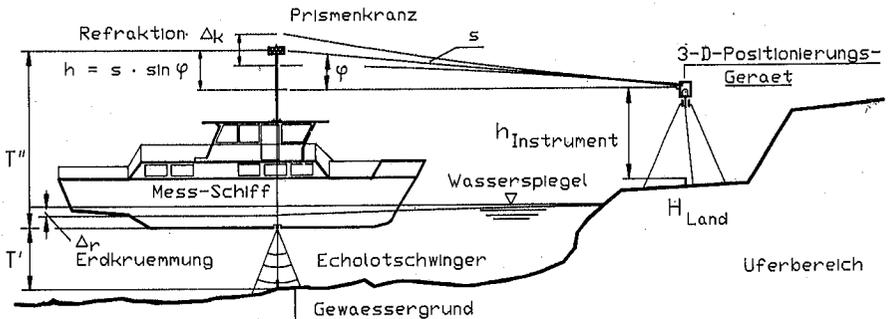
Der Vorteil dieses Niveaulasersystems besteht darin, daß die Tiefenmessung nicht über den Wasserspiegel erfolgt und so unabhängig von Wellen wird, die durch Wind und insbesondere durch vorbeifahrende Binnenschiffe kurzfristig entstehen. Damit wird die große Meßunsicherheit des Beschickungswertes minimiert. Ein weiterer Vorteil ist, daß stets mehrere Beschickungswerte pro Sekunde erfaßt werden, so daß die hohen Meßraten der Echolotung mit rd. 20 Werten/s besser ausgenutzt werden können.

Die bis heute für die hydrographische Vermessung anwendbaren Laserempfängerlatten unterscheiden sich in ihrer technischen Leistungsfähigkeit, die deutlich den Fortschritt in der Geräteentwicklung der letzten 8 Jahre erkennen läßt [4, 5].

1980 fertigte die Firma Spectra-Physics (USA) eine 2,4 m lange Detektorlatte, die auch für den Meßbetrieb auf Peilschiffen geeignet ist, allerdings mit dem Nachteil eines mechanisch bewegten Detektorfeldes. Dadurch treten bei kurzfristigen Änderungen der Höhenlage des Peilschiffs Nachführverzögerungen auf. Die Empfangsreichweite dieses Niveaulasersystems ist auf 1.200 m begrenzt. Es werden durchschnittlich 2 – 3 Meßwerte pro Sekunde übertragen.

Um diesen Mangel zu beseitigen, fertigte 1985 die Firmengruppe Gantzel/Geo-Feinmechanik (D) einen Analogmast mit 40 Dioden pro 2 m-Feld in der Vertikalen. Damit wird eine 5 cm-Auflösung erreicht. Der Prototyp, den die BfG beschaffte, hatte eine Meßrate von 5 Werten/Sekunde und eine Arbeitsreichweite von mehr als 2.000 m. 1988 bot die Firma Gantzel (D) eine Detektorlatte an, die eine 2 cm-Auflösung hat, bis 15 Werte/Sekunde mißt und eine kompakte Bauweise durch Halbleiterelemente aufweist. Die Kosten für ein komplettes Niveaulasersystem liegen bei etwa 100.000 DM (Preisstand 1988).

Die rasche Entwicklung der Laser- und Infrarotlichttechnologie hatte zur Folge, daß es jetzt auch möglich ist, die Beschickung über die direkte Messung des Vertikalwinkels vorzunehmen. Als sogenannte dreidimensionale Positionierungssysteme sind das Navitrack 2000 (Firma Ibeo, D) und das Geodimeter 140 T - Autotracker (Firma Geodimeter, S) zu nennen (Abb. 4). Der betriebstechnische Vorteil liegt darin, daß als Landstation anstelle von zwei verschiedenen Systemen nur 1 Meßinstrument aufgestellt werden muß. Außerdem muß bei 2 Meßsystemen darauf geachtet werden,



Berechnungsformeln:

$$H_{\text{Gewässergrund}} = H_{\text{Land}} + h_{\text{Instrument}} + h - T'' - T' - \Delta r + \Delta k$$

Wassertiefe T = T' + Eintauchtiefe Mess-Schiff

Abb. 4: Gewässervermessung mittels 3-D-Positionierungssystem

daß keine gegenseitige Beeinflussung der jeweils benutzten Meßsignale erfolgt. Dazu müssen technisch aufwendige Filter auf der Niveaulasersystem-Empfängerplatte angebracht werden.

Diese 3-D-Positionierungssysteme wurden bereits mit zufriedenstellendem Erfolg getestet. Einige Verbesserungen dürften in den kommenden Jahren zu erreichen sein. Eine weitere Optimierung des Peilbetriebs wird so möglich.

2.3 Peilkonzept für den Niederrhein

Die Peilungen erfolgen am Niederrhein in der Weise, daß die Gewässersohle durch Linien- oder Flächenpeilungen erfaßt wird, wobei in der Regel Querprofile und nur im Fall von Überwachungs- oder Inspektionspeilungen Längsprofile aufgezeichnet werden.

Bei der Aufnahme von Querprofilen bietet sich als einfachste Lösung die eindimensionale Ortung durch Abstandsmessung in dem am Ufer ausgesteckten Querprofil an. Wegen der größeren Ortungsgenauigkeit auf dem breiten, unterschiedlich stark strömenden Niederrhein wird die zweidimensionale Ortung bevorzugt (Bogenschnitt- oder Polarverfahren).

Unter der Flächenpeilung wird eine Meßfahrt mit einem Meßschiff verstanden, das mit einem Mehrfachschwingersystem ausgestattet ist. Es gibt zur Zeit Systeme, bei denen bis zu 41 Schwinger auf einem Meßschiff installiert sind. Sie sind in einer Reihe mit Abständen von jeweils bis zu 1 m angeordnet, so daß bei einer Meßfahrt ein bis zu 40 m breiter Flächenstreifen der Gewässersohle erfaßt wird. Man spricht von einer Sohlenaufnahme mit einem 1 m x 1 m-Raster, wenn der Schwingerabstand 1 m beträgt und die Datenaufzeichnung in 1 m Abstand erfolgt.

Die Beschickung der mit Echoloten gemessenen Tiefenwerte erfolgte bisher meist nivellistisch oder über Pegelwerte. Wegen der großen Meßunsicherheiten bei der Beschickung über Pegelwerte von zum Teil mehr als 30 cm (Entfernung zum Pegel, kurzfristige Wasserspiegelschwankungen) wird künftig das in Abschnitt 2.1 näher beschriebene Niveaulasersystem eingesetzt. Dadurch wird die Standardabweichung in der Beschickung unter 8 cm/1.000 m und 5 cm/500 m reduziert.

Bei der Positionsbestimmung wird bisher das Funkortungssystem Ralag 20 (2 Landstationen) der Firma Krupp-Atlas-Elektronik (KAE, D) benutzt, das mit einer Frequenz von 34 MHz arbeitet. Es kommt dabei immer wieder zu Fehlmessungen durch Reflektionen oder durch Störungen anderer Sender im Empfangsbereich des Schiffes. Wegen der Unzulänglichkeiten dieser Meßweise, werden die Meßschiffe derzeit mit dem Polarortungssystem Polarfix der Firma KAE (D) ausgerüstet. Die Richtungs- und Entfernungsmessung (absolut) mittels Laserlicht erfolgt von einer Landstation am Ufer zu einem Prismenkranz am Mast des Meßschiffes. Die beiden Meßwerte wer-

den telemetrisch an Bord zur Weiterverarbeitung übertragen. Die praktische Meßunsicherheit liegt für die Positionsbestimmung bei weniger als 50 cm/2 km. Reichweiten bis zu 6 . . . 8 km können bei guten atmosphärischen Bedingungen erreicht werden. In der Regel ist nur ein Aufstellungsort pro Meßbereich von durchschnittlich 3 km/Tag notwendig. Für einen störungsfreien Betrieb der beiden Meßsysteme nebeneinander (Rotationslaser und Polarfix) sind unterschiedliche Meßsignale erforderlich. Das Vermessungssystem in der Abb. 2 kann damit während der Messung NN-korrigierte (X, Y, Z) -Koordinaten der Gewässersohle berechnen.

Versuche mit dreidimensionalen Positionierungssystemen entsprechend Abb. 4 sind wegen der zu erwartenden wirtschaftlichen und meßtechnischen Vorteile eingeleitet.

Von Meßschiffen aus kann nur die eigentliche Gewässersohle gepeilt werden. Zur vollständigen Darstellung des Gewässers werden jedoch auch die Uferbereiche benötigt sowie gegebenenfalls die Retentionsräume, in die extreme Hochwässer gelangen können. Diese sogenannten Landanschlüsse werden mit Polartachymetern (Digitalwerte) oder durch Befliegung mit anschließender photogrammetrischer Auswertung erfaßt. Die Weiterverarbeitung z.B. zu digitalen Geländemodellen (DGM) geschieht derzeit noch über die Datenverarbeitungszentrale der WSV. Zukünftig sollen diese Aufgaben mit einem leistungsfähigen Rechner (CADMUS, Mannesmann-Kienzle, D) bei den einzelnen Wasser- und Schiffahrtsämtern erfolgen. Das DGM wird im Datenpool vorgehalten und kann von allen Nutzern der WSV abgerufen und für Analysen aufbereitet werden.

3. Erfassung weiterer gewässerkundlicher Daten

3.1 Meßaufgaben

Durch die an Land vorhandenen Pegelanlagen können lediglich die Wasserstände und ihre Veränderungen kontinuierlich erfaßt werden. Alle anderen gewässerkundlich relevanten Daten müssen mit Hilfe von Geräten ermittelt werden, die entweder auf den Meßschiffen installiert sind oder von diesen Schiffen ausgelegt und überwacht werden, und zwar

1. Durchflußmessungen (Fließgeschwindigkeit, Fließrichtung),
2. Wasserspiegelmessungen (Längs- oder Quergefälle),
3. Feststoffmessungen (Geschiebe, Schwebstoffe (DIN 4049); Kornaufbau der Sohle).

3.2 Wasserstraßenbedingte Probleme beim Messen

Die Durchführung der Messungen am Niederrhein wird vor allem durch die hohe Verkehrsbelastung der Wasserstraße erschwert. Damit einerseits bei Flüßelmessun-

gen die Schifffahrt nicht durch das im Strom verankert liegende Meßschiff behindert und andererseits vor allem die Ergebnisse nicht durch die Schifffahrtseinflüsse verfälscht werden, sind in den 50er Jahren die Messungen in den Nachtzeiten ausgeführt worden. Mit der Zunahme der Radar- und Schubschifffahrt ist jedoch das Verkehrsaufkommen bei Nacht so gestiegen, daß es sich kaum noch von dem bei Tag unterscheidet. Da außerdem die Nachtmessung mit einem erhöhten Unfallrisiko behaftet ist, werden die Messungen wieder tagsüber ausgeführt. Besondere Gefährdungen für die Besatzung der Meßschiffe ergeben sich bei den Geschwindigkeitsmessungen in den Problemstrecken an unübersichtlichen Stellen, z.B. starken Stromkrümmungen. Hier muß die mit etwa 20 bis 24 km/h zu Tal fahrende Berufsschifffahrt über ein zusätzliches Wahrschauboot gewarnt werden. Die die Messungsergebnisse beeinträchtigenden Schifffahrtseinflüsse können nur durch eine Vielzahl von Messungen und Mittelbildung auf das Maß der anzustrebenden Genauigkeit gebracht werden.

Die geschilderten Probleme treten ebenso bei der Durchführung von Wasserspiegel-nivellements wie auch bei allen anderen gewässerkundlichen Messungen auf. Daneben findet die Messung von Wasserspiegellagen stets unter Zeitdruck statt. Messungen müssen dann ausgeführt werden, wenn Beharrungswasserstände, Scheiteltbildungen und andere kennzeichnende Wasserstände eintreten, die in der Regel nur von kurzer Dauer sind. Nicht nur aus wirtschaftlichen Gründen werden daher Meßverfahren angewendet, die den Zeit- und Personalaufwand für die Messung und Plausibilisierung so klein wie möglich halten.

Wenn der Strom bei hohen Wasserständen ausufernd, entstehen durch die überfluteten Vorländer Wasserflächen, die teilweise mehrere Kilometer breit sind. Sie sind mit Weidezäunen und Buschwerk bestanden, was die Meßdurchführung erheblich erschwert.

3.3 Verbesserung der hydrologischen Meßverfahren

Durchflußmessungen

Zur Ermittlung der Fließgeschwindigkeiten und -richtungen und daraus abgeleitet der Abflüsse wird nach wie vor der hydrometrische Meßflügel eingesetzt.

Die Meßgenauigkeit hängt vor allem von der Eignung des Personals und der Auswahl und Anordnung der Meßgeräte ab. Beispielsweise kann eine Verfälschung der Messung durch den Fremdkörper „Schiff“ eintreten, der den Meßquerschnitt verengt. Zur Zeit wird querab vom Schiff gemessen. Der Fehler wird weitgehend vermieden, wenn die Meßausleger am Bug des Schiffes angeordnet sind und die Messung seitlich voraus, etwa 3 bis 6 m vor dem eingetauchten Schiff, erfolgt (Abb. 8).

Durch Krängungen sowie horizontale und vertikale Eigenbewegungen des Schiffes mit seinen Meßauslegern bei nicht fester Voraus- und Seitenverankerung kann die gemessene Fließgeschwindigkeit erheblich verfälscht werden. Bei nur ± 3 Grad seitlicher Neigung beschreibt der Meßflügel am Ausleger eine vertikale Bewegung von ± 52 cm, also absolut 1,04 m bei 10 m Ausladung ab Schiffsachse. Da diese Bewegungen relativ schnell erfolgen können, ist eine Beeinflussung der Flügelumdrehungen nicht ausgeschlossen.

Die Meßdatenerfassung erfolgt „on line“ über Meßprozessoren und die EDV-Anlage mit den entsprechenden Meßaufnahme- und Auswerteprogrammen und ermöglicht eine sofortige Auswertung: Bereits während des Absenkvorgangs werden die Geschwindigkeitswerte laufend auf dem Monitor dargestellt. Dadurch kann die Plausibilitätskontrolle sofort erfolgen, eine falsche Messung erkannt und durch Wiederholung schnell berichtigt werden. Als Endergebnis können an Bord die Geschwindigkeitsverteilung in der Meßlotrechten, der Geschwindigkeitsflächenplan und der Isotachenplan ausgedruckt oder geplottet und die Abflüsse berechnet werden [6].

Wasserspiegelaufnahmen

Bis vor mehreren Jahren wurden die Wasserspiegelaufnahmen durch Ablesungen des Wasserspiegels an kleinen, in 500 m Abstand an beiden Ufern geschlagenen Pfählen oder Rohren vorgenommen, deren Höhe durch Nivellement bestimmt wurde. Jetzt werden sie ausschließlich mit dem sogenannten Verfahren „Schwimmende Latte“ mit Hilfe des Rotationslasers durchgeführt.

Die Meßgenauigkeit ist dadurch um ein vielfaches erhöht und der Zeitaufwand verringert worden. Das Meßschiff, ausgerüstet mit der Laserempfängerlatte und einem Linienschreiber oder einem Mikroprozessor fährt in Talfahrt an dem an Land aufgestellten Rotationslaser vorbei und sammelt kontinuierlich die Meßwerte. Einflüsse, die durch Besonderheiten der Stromstecke hervorgerufen werden oder die das Meßergebnis verfälschen (z. B. Schiffahrt), sind infolge der Informationsdichte sofort erkenn- und bewertbar [4]. Bei Aufstellung von mindestens 3 Rotationslasern am Ufer im Abstand von etwa 2 km mit fortlaufendem Standortwechsel können die Meßschiffe ohne Unterbrechung die Talfahrt fortsetzen und eine Strecke von rd. 30 bis 40 km/Tag messen. Fahren zwei Meßschiffe gleichzeitig jeweils in Ufernähe zu Tal, werden dabei auch Aussagen über das Quergefälle gewonnen.

Feststoffmessungen

Am Niederrhein werden bei unterschiedlichen Wasserständen in unregelmäßigen Abständen Feststoffmessungen von schwimmenden Fahrzeugen an bestimmten Meßprofilen ausgeführt, um den Feststofftransport bestimmen zu können.

Für Geschiebemessungen wird ein spezieller Geschiebefänger verwendet, der dem Prinzip des „Arnhem-Samplers“ entspricht [1, Seite 55]. Das Gerät wurde den Korngrößen und Strömungsgeschwindigkeiten des Ober- und Niederrheins angepaßt. Ähnlich einer Durchflußmessung wird der Geschiebefänger je nach Querschnittsbreite an 7 bis 14 Meßpunkten eingesetzt, die so über das Meßprofil verteilt sind, daß sie den geschiefbeführenden Querschnittsbereich erfassen. Schwebstoffmessungen werden parallel zu den Geschiebemessungen ausgeführt. Vorzugsweise werden Punktmessungen mittels Pumpen in etwa 0,1 - 0,2 - 0,4 - 0,8 h (h = Wassertiefe) über der Sohle vorgenommen. Die Proben werden über einem Meßgefäß gefiltert, wobei der suspendierte Sand abgetrennt und gesondert erfaßt wird.

Im Jahre 1986 ist erstmalig eine feste Geschiebemeßstelle im Rhein eingerichtet worden. Es wurden in einem Querprofil 5 Geschiebefallen mit Hilfe eines Taucherglockenschiffes in die Sohle eingebaut. Da die Fallen mit ihrer Oberkante in Sohlenhöhe liegen, ist eine Beeinflussung der Messung durch störende, den Abfluß behindernde Teile des Gerätes nicht gegeben.

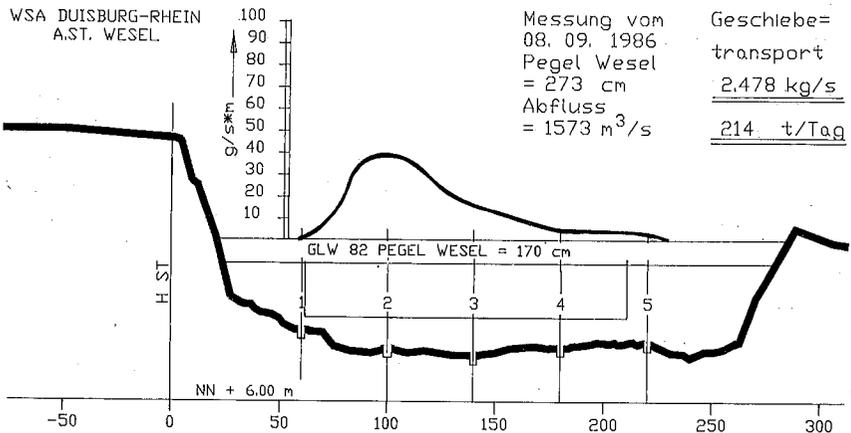
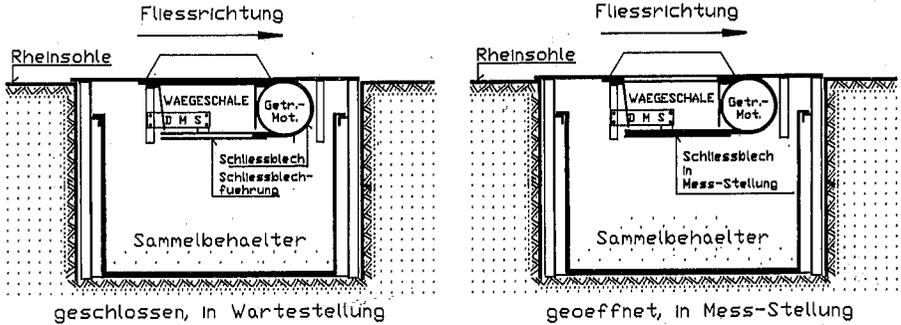


Abb. 5: Meßprofil bei Rhein-km 818,200

Die Geräte sind über Versorgungs- und Steuerleitungen, die in der Sohle verlegt sind, mit einer Bedienstation verbunden, die auf einem am Ufer verankerten Signalponton aufgebaut ist. Bei Beginn des Meßvorganges werden die Fallen geöffnet. Das in eine Wägeschale hineinrollende Geschiebe wird unter Wasser kontinuierlich durch elektronische Meßwertgeber gewogen.

Aufzeichnungen in Form von Summenlinien ermöglichen qualifizierte Auswertungen der Meßergebnisse sowie qualitative und quantitative Unterscheidung der Einflüsse von Strömung, Wasserstand und Schifffahrt auf den Geschiebetransport.



Fangöffnung: Breite 15 cm, Länge 40 cm. Behälterinhalt 440 Liter
 Steuerung und Messdatenerfassung
 elektronisch ueber 12-adriges UW-Kabel

Abb. 6: Geschiebefalle, Rhein-km 818,200

Die Summenlinien der Abb. 7a zeigen den Verlauf der Geschiebemessungen der 5 Geschiebefallen über die vorgewählte Meßzeit von 10 Minuten. Es wird jeweils das Gewicht des über die Meßbreite von 15 cm in die Falle eingelaufenen Geschiebes angezeigt, und zwar umgerechnet auf den Trockenzustand. In der Abb. 7b ist der Einfluß eines über die Geschiebefalle 2 zu Berg fahrenden Schubverbandes erkennbar. Sobald der Bug des Schubverbandes den Meßquerschnitt erreichte, setzte ein starker Geschiebetransport ein, obwohl bei dieser Messung zwischen Schiffsboden und Rheinsohle noch ein Wasserpolster von 1,60 m Höhe vorhanden war.

Wasser- und Schiffsamt Dulsburg-Rhein, Aussenstelle Wesel
 Datei Nr. 8 Waage Nr. 1-5 Datum: 09.10.1986 Zeit: 12:57

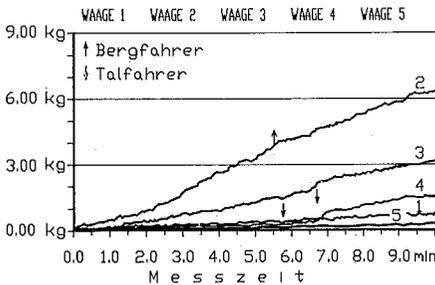


Abb. 7a: Summenlinien einer Vollmessung

Wasser- und Schiffsamt Dulsburg-Rhein, Aussenstelle Wesel
 Datei Nr. 3 Waage Nr. 1-2 Datum: 09-04-1986 Zeit: 09:49

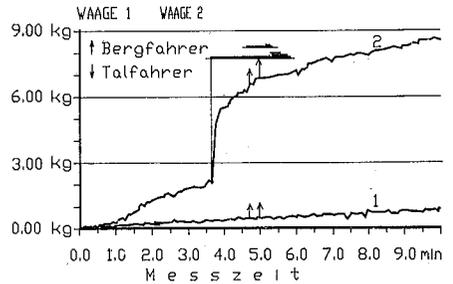


Abb. 7b: Summenlinien einer Sondermessung – Schiffeinfluß –

4. Modernes Meßschiff für den Niederrhein

Das in Abb. 8 dargestellte Meßschiff ist den speziellen Verhältnissen am Niederrhein angepaßt. Durch seine Größe mit einer Verdrängung von rd. 140 m^3 bei Doppelrumpfbauweise und rd. 9,80 m Gesamtbreite besitzt es ein großes Flächenträgheitsmoment. Das ist eine Grundvoraussetzung, um auch bei bewegtem Wasser eine möglichst stabile Lage des Fahrzeugs zu erreichen und um die Genauigkeit der an Bord eingebauten Meßgeräte ausschöpfen zu können. Bei der Installation der Meßsysteme ist besonderer Wert auf eine rationelle und unfallsichere Arbeitsweise gelegt worden.

Das Fahrzeug ist am Vorschiff mit einem ausfahrbaren Ankerpfahl ausgerüstet. Er wird während der Marsch- und Peilfahrt unter dem Deck, aber über dem Wasserspiegel, zwischen den beiden Rümpfen beigeclappt. Bei der Durchführung von Geschwindigkeits-, Abfluß- oder Geschiebemessungen, für die das Fahrzeug entsprechend der Profildbreite je Meßprofil an bis zu 20 vorbestimmten Meßlotrechten verankert werden muß, wird der Ankerpfahl bis zu einer Wassertiefe von 12 m eingesetzt. Die beiden auf dem Vorschiff aufgestellten Seilwinden dienen zur Verankerung des Fahrzeugs bei noch größeren Wassertiefen. Zwei Meßausleger am Bug des Schiffes ermöglichen zwei gleichzeitige Durchflußmessungen mit gegenseitigem Abstand der Meßlotrechten von maximal 25 m. Zwischen den Rümpfen am Heck ist ein motorisiertes Beiboot angeordnet, das über eine hydraulische Bühne von Deckshöhe zum Wasserspiegel abgesenkt wird. Es ist für das Ausbringen der an Land aufzustellenden Meßgeräte vorgesehen, wenn an flachen Ufern die Reichweite der Meßausleger, die auch der Geräteübergabe dienen sollen, nicht mehr genügt. Am Heck des Fahrzeugs sind zwei Hydraulikkranen mit Seilwinden für Feststoffmessungen vorgesehen. Zur ersten Begutachtung der gewonnenen Proben dient der überdachte Meßplatz auf dem Achterschiff mit dem anschließenden Naßlabor.

In dem rd. 35 qm großen, mit guter Rundumsicht ausgestatteten Steuerhaus sind neben dem Fahrpult mit Radaranlage 2 Arbeitstische angeordnet. Dadurch ist eine weitgehende fehlerfreie Kommunikation zwischen dem Schiffsführer und dem Meßpersonal gewährleistet.

Das Einsatzgebiet von rd. 225 km Gewässerlänge macht die Unterbringung des Personals an Bord des Meßschiffes erforderlich, damit das Fahrzeug wirtschaftlich eingesetzt werden kann. Es sind 5 Schlafplätze und die erforderlichen Sozialräume mit einem Aufenthaltsraum unter Deck vorhanden.

Neben den erforderlichen, modernen, nautischen Hilfsmitteln für die Schiffsführung sind drei vollständige Einrichtungen für Flügelmessungen mit den dazugehörigen Meßwinden und Meßprozessoren sowie zur Bestimmung der Strömungsrichtung an Bord. Ein Geschiebefänger sowie Kleingeräte für Sondermessungen vervollständigen die Gerätschaften.

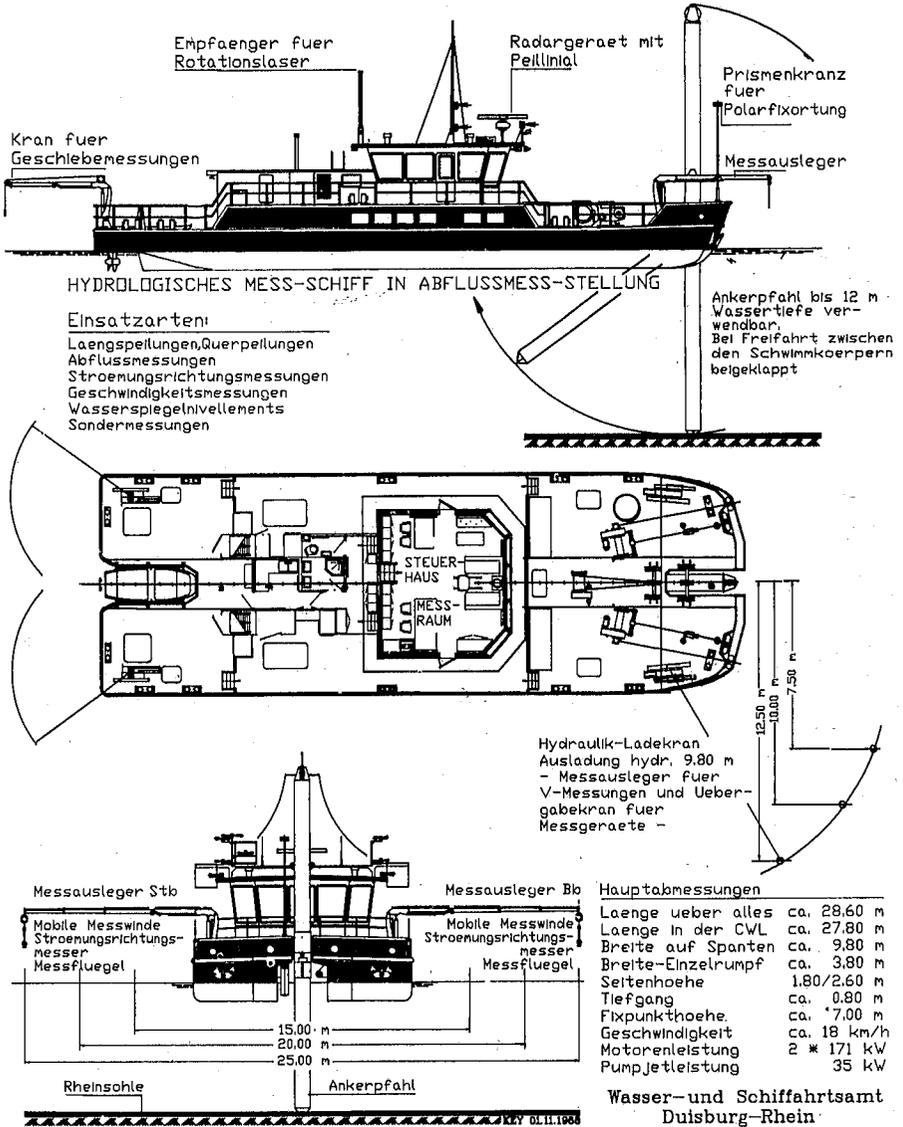


Abb. 8: Hydrologisches Meß- und Peilschiff für den Niederrhein

Peilaufgaben werden mit Hilfe eines KAE (D) SUSY-30-Peilsystems in Verbindung mit einem Niveaulasersystem Spectra-Physics (USA) erledigt. Das SUSY-System besteht im wesentlichen aus der Laserortungsanlage Polarfix, dem Vermessungslot Deso 25 und dem Tischrechner HP-330. Als Peripheriegeräte sind 1 Drucker, 1 Plot-

ter, Rechts-Links-Anzeige für den Schiffsführer und 1 Farbmonitor angeschlossen. Die Bord-Software ist so ausgelegt, daß der Operator Uferanschlüsse, Fahrrinnen-daten, Wasserspiegellagen und ein Vergleichsprofil einspielen kann. So wird der Peil-leiter bereits an Bord in die Lage versetzt, die Aufzeichnung kritisch zu beurteilen und Fehler zu erkennen. Es ist damit möglich, sofort zu entscheiden, ob die Fehler ausgemerzt werden können oder ob die Messung wiederholt werden muß. Ebenso wird auch bei der Auswertung der sonstigen gewässerkundlichen Messungen verfahren.

Zusammenfassung

Der Niederrhein ist trotz Festlegung des Mittelwasserbettes und umfangreicher Ein-deichungen im Interesse des Hochwasserschutzes ein Fluß mit freiem Abfluß geblieben. Strömung und stark wechselnde Wasserstände führen zu ständigen Umlagerungen des kiesigen Sohlenmaterials und Schäden an den Strombauwerken. Auch die intensiven anthropogenen Nutzungen im Strombereich durch Siedlung, Landwirtschaft, Schifffahrt, Industrie und Bergbau verursachen immer wieder Eingriffe in das Stromregime, die durch wasserbauliche Maßnahmen ausgeglichen werden müssen. Aus wirtschaftlichen Gründen werden dabei die natürlichen Grenzen, die durch das Abflußregime mit seinen bestimmenden Regimefaktoren (DIN 4049) vorgegeben sind, immer stärker ausgenutzt. Dies und die Vergrößerung der auf der Wasserstraße verkehrenden Schiffseinheiten stellen immer höhere Anforderungen an Umfang, Schnelligkeit und Genauigkeit der Meßverfahren, die zur Überwachung der Wasserstraße und für die Planung und Ausführung der Strombaumaßnahmen notwendig sind.

In den letzten 10 Jahren hat die Anwendung der Datenverarbeitung und Lasertechnik die Leistungsfähigkeit und die Genauigkeit der für die Gewässerüberwachung eingesetzten Geräte auf Meßschiffen und für die Auswertung an Land erheblich verbessert. Die Steigerung der Leistungsfähigkeit der Rechenanlagen, besonders bei der Erfassung und Verarbeitungsgeschwindigkeit großer Datenmengen, ermöglichen eine hohe Ausnutzung der Meßdaten, die in sehr großer Menge und in gegenseitig zeitlicher Abhängigkeit bei der Gewässervermessung anfallen. Die Grundvoraussetzungen für ausreichend genaue Meßergebnisse und hinreichend schnelle und umfassende Auswertung der Messungen, zum Teil schon an Bord (Plausibilisierung), sind damit gegeben.

Im Abschnitt 2.1 wird das Prinzip eines datengestützten modernen Vermessungssystems zur Überwachung der Gewässertopographie und des Zusammenwirkens der einzelnen Geräte erläutert (Abb. 2). In den folgenden Abschnitten 2.2 und 2.3 wird der Einsatz der Lasertechnik zur Verbesserung der Genauigkeit der Ortsbestimmung und vor allem der Höhenwerte dargestellt (Abb. 3 und 4). Als Vorteil ergibt sich hier gegenüber der bisher angewendeten Funkortungstechnik die geringere Störanfälligkeit

keit und die genauere Zielverfolgung durch hochfrequente Laserwellen. Die Verwendung eines Niveaulasersystems macht die Höhenbestimmung (Beschickung) unabhängig von der Unruhe des Wasserspiegels, der das Meßschiff umgibt.

Auf die wichtigsten Aufgaben, Probleme und Möglichkeiten zur Verbesserung der Messungen, die darüber hinaus für die Überwachung des Abflußregimes am Niederrhein notwendig sind, wird in Kapitel 3 eingegangen. Es sind dies der Einsatz der Datentechnik bei Durchflußmessungen, des Rotationslasers bei Gefällemessungen und vor allem der Einbau von sogenannten Geschiebefallen in die Gewässersohle zur automatischen Erfassung des Geschiebetriebs (Abb. 5 bis 7).

Darüber hinaus wird in Kapitel 4 ein modernes Meßschiff für den Niederrhein in Katamaranbauweise mit neuartiger Fixierung durch einen Ankerpfahl beschrieben (Abb. 8), das sowohl für die Gewässervermessung als auch für die sonstigen gewässerkundlichen Messungen eingesetzt werden kann.

Literatur

- [1] Der Bundesminister für Verkehr, Abteilung BW, Bonn, Juli 1987: Untersuchung der Abfluß- und Geschiebeverhältnisse des Rheins – Schlußbericht – (nicht veröffentlicht).
- [2] Hansen, H. und Rüß, G.: Die Sohlenerosion des Niederrheins; Jahrbuch der Hafenbautechnischen Gesellschaft 41 (1985/86).
- [3] Behrens, J.: Zur Genauigkeit von Peilungen in der Gewässervermessung; wissenschaftliche Arbeiten der Fachrichtung Vermessungswesen der Universität Hannover, Dissertation Nr. 151, Hannover 1988.
- [4] Keydana, W. und Suntrop, H.: Verbesserung gewässerkundlicher Messungen durch Rotationslaser und Radar; Wasserwirtschaft Heft 1/1986.
- [5] Behrens, J.: Entwicklung eines Beschickungsgerätes für Gewässervermessungen; Zeitschrift für Vermessungswesen, Heft 4/1987, Konrad Wittwer Verlag, Stuttgart.
- [6] Teuber, W.: Abflußmessungen mit Meßschiffen – Weiterentwicklung von Meß- und Auswerteverfahren; Deutsche Gewässerkundliche Mitteilungen Heft 5/1986.

Abteilung I**Binnenwasserstraßen und Binnenhäfen**

(für gewerbliche und Freizeitschifffahrt)

zu Thema 2:

Thema des deutschen Berichts

A: Grundsatz der Berechnung von Bauwerken gegen Eislasten

B: Die Elbe als Beispiel für den Kampf gegen das Eis

Berichterstatter:

A: Prof. Dr.-Ing. Martin Hager, früher Bundesverkehrsministerium, Bonn

B: Dipl.-Ing. Erich Kleine, BauDir. a.D.

Teil I:**Grundsätze der Berechnung von Bauwerken gegen Eislasten****1. Allgemeines**

Probleme der Eisbildung in Gewässern, ihrer Eigenschaften und Wirkungen auf die Schifffahrt und auf Anlagen im und am Gewässer in Abhängigkeit von den großräumigen und örtlichen Gegebenheiten, der Art der Entstehung unter den jeweiligen klimatischen und hydrologischen Verhältnissen, den Gewässergüte- und Temperaturverhältnissen sind in der Vergangenheit in zahlreichen Abhandlungen, nicht zuletzt im Internationalen Schifffahrtskongreß 1973 unter dem Thema II - 4 [3] oder im Bericht „Ice Navigation“ of the Working Group 3 of the Permanent Technical Committee (PTC) II dargestellt worden. [4]

Unterschiedliche Voraussetzungen und Schwierigkeiten bei der Entwicklung einheitlicher Methoden zur Bestimmung und Messung der jeweiligen Eigenschaften und Wirkungen des Eises haben die Entwicklung einheitlicher Aussagen und Regeln erschwert.

Für Wasserstraßenbereiche in gemäßigten Klimazonen wie in der Bundesrepublik Deutschland kann festgestellt werden, daß die Eisbildung in den Binnenwasserstra-

ßen durch Brauch- und Kühlwassereinleitungen in den letzten Jahrzehnten stark rückläufig gewesen ist, so daß nennenswerte Eissituationen auf extreme Witterungsverhältnisse beschränkt geblieben sind. Aber auch dann konnten durch rechtzeitige Eisbekämpfung längere Unterbrechungen der Schifffahrt meist ebenso verhindert werden wie größere Schäden am Gewässerbett, den Uferdeckwerken und Bauwerken in und am Gewässer.

Aus diesen Gründen und den Erfahrungen über die Standfestigkeit der Anlagen gegen Eislasten war es möglich und vertretbar, außer für empfindlichere Bauten, wie Stahlwasserbauten, auf detaillierte Lastannahmen für Wasserstraßenanlagen im Binnenbereich weitgehend zu verzichten.

In den Unterläufen größerer Ströme zwingen dagegen die größeren Natureinwirkungen zur Berücksichtigung realistischer Eislasten.

In den Regelwerken standen früher für Hafen- und Wasserstraßenbauten geeignete, leicht handhabbare Berechnungsansätze außer allgemeineren Hinweisen für den Küsten- und küstennahen Bereich nicht zur Verfügung. Der Arbeitsausschuß „Ufer-einfassungen“ (Committee for Waterfront Structures) hat es deshalb übernommen, unter Berücksichtigung wissenschaftlicher und praktischer Erfahrungen eine entsprechende Empfehlung zu erarbeiten und der Fachwelt zur Verfügung zu stellen.

Wie allgemein bekannt sein dürfte, bearbeitet dieser Ausschuß fortlaufend Berechnungs- und Konstruktionsempfehlungen und paßt diese dem jeweiligen Stand der Technik an und stellt diese dann in einem Sammelband in fünfjährigem Abstand – zuletzt in der Fassung

„Recommendations of the Committee for Waterfront Structures“
– EAU 1985 – Fifth Edition

zur Verfügung. Im Rahmen dieser Arbeiten wurde auch ein Vorschlag für Eislasten erarbeitet und im Zuge der laufenden Veröffentlichungen im sogenannten „Technischen Jahresbericht 1984 des Arbeitsausschusses Ufer-einfassungen“ als Empfehlung

„E 177 Eisstoß und Eisdruck auf Ufer-einfassungen, Fenderungen und Dalben“

bekanntgemacht. Eine aktualisierte und verbesserte Fassung, die den heutigen Wissens- und Erfahrungsstand berücksichtigt, wird in die nächste Sammelveröffentlichung – die EAU 1990 – aufgenommen werden.

Am Rande sei vermerkt, daß diese Arbeiten zugleich im Interesse der internationalen Harmonisierung Technischer Regeln liegen, was auch dem wirtschaftlichen und politischen Willen internationaler Gremien entspricht.

Die wesentlichen Gesichtspunkte einer allgemein anwendbaren Empfehlung für Eislasten werden im folgenden erläutert.



Eisbrecher der Bundesrepublik Deutschland und der DDR gemeinsam auf der Elbe

2. Empfehlung für „Eisstoß und Eisdruck auf Ufereinfassungen, Fenderungen und Dalben im Küstenbereich“

Grundprinzipien für eine einheitliche Eislastempfehlung waren und sind

- Berücksichtigung möglichst aller Anlagen an oder in Häfen und Wasserstraßen, die durch Eislasten beansprucht werden können.
- Schaffung einfacher und übersichtlicher Berechnungsansätze, die die vorkommenden Beanspruchungen wirklichkeitsnah erfassen.
- Entwicklung aller Lastangaben aus den Eiseigenschaften, was die unmittelbare Übertragung auf andere Verhältnisse ermöglicht und zu Grenzlasten ohne weitere Sicherheitsbeiwerte führt.

Auf die verschiedenen Arten möglicher Eiseinwirkungen und die Faktoren, die deren Größe bestimmen, wurde lediglich hingewiesen, während auf die Angabe von Einzelverfahren wegen der Unsicherheit ihres Wirksamwerdens zugunsten genereller Ansätze verzichtet wurde. Letztere stützen sich auf bekannte Forschungen und praktische Erfahrungen. Darüber hinaus wird auf die Möglichkeiten des Vergleichs mit etwa vorhandenen Anlagen und deren Bewährung verwiesen.

2.1 Eislasten auf Ufereinfassungen

Für die Ermittlung waagerechter Eislasten auf Flächenbauwerke, also solche größerer Längenausdehnung in Bezug auf die Eislastrichtung, werden nach den Erfahrungen im norddeutschen Küstenraum aus einer Eisdruckfestigkeit $\delta_0 = 1,5 \text{ MPa}$ (MN/m^2) abgeleitet, die bei Eistemperaturen nicht wesentlich unter dem Gefrierpunkt eine sehr geringe Überschreitungswahrscheinlichkeit besitzt.

Mit einer Eisdicke von 50 cm und einem rechnerischen Kontaktbeiwert $k = 0,33$ ergibt sich die in Wasserspiegelhöhe wirkende Linienlast $p_e = 250 \text{ kN/m}$, die unabhängig von der Konstruktionsart angesetzt werden kann.

Für Bühnen und Deckwerke in Tidegebieten tritt wegen der dort stets gebrochenen Eisdecke ein weiterer Lastminderungsfaktor $f = 0,4$ hinzu, der die dann geringere Belastbarkeit des Scholleneises und die weitere Abnahme der Kontaktfläche einschließt, so daß die Linienlast auf $p_e = 100 \text{ kN/m}$ zurückgeht.

Für die Berechnung von Einzelbauteilen wird der Ansatz der Last entsprechend der Eisfestigkeit empfohlen, hier also $\delta_0 = 1,5 \text{ MPa}$.

Die gleichzeitige Wirkung von Wellenlasten oder Schiffsstößen wird wie üblich nicht vorgesehen.

Als lotrechte Zusatzlast aus Vereisung sind $0,9 \text{ kN/m}^2$ angenommen, was einer Eisschicht von 10 cm entspricht.

Bei Wasserspiegelschwankungen kommen im Falle von angefrorenem und gegebenenfalls unter einem Baukörper befindlichen Eis zusätzliche Vertikallasten in Betracht, die sich als Auftrieb des Eisvolumens mit $\Delta \gamma_e = 1,0 \text{ kN/m}^3$ oder bei Spiegelsenkung als größte Gewichtslast mit $\gamma_e = 9,0 \text{ kN/m}^3$ darstellen. Ihre Berücksichtigung beschränkt sich meist auf leichte Anlagen, bei denen auch kleine Lastanteile von Bedeutung sind.

Die Lasten für thermischen Eisdruck können theoretisch große Werte erreichen. Da die Wirkung der Wärmedehnung raschen Temperaturanstieg von sehr tiefen Kältegraden voraussetzt, die im norddeutschen Küstenraum ohnehin nicht auftreten, und das Wärmedehnverhalten bei Eis mit höherem Salzlaugengehalt erst unterhalb tieferer Minustemperaturen einsetzt, und die Belastungsgeschwindigkeit nicht im Bereich größter Festigkeitswerte liegt, wurde die mögliche Flächenlast gegenüber der Eisfestigkeit mit den Faktoren $0,33 \cdot 0,8$ auf $p_e = 400 \text{ kN/m}^2$ abgemindert.

2.2 Eislasten auf Pfähle von Pfahlbauwerken oder auf Einzelpfähle

Bei den Berechnungsansätzen für Pfähle ist von den Entwicklungen nach [7] für schlanke Baukörper und den versuchstechnisch belegten Vergleichsgrößen und den daraus abgeleiteten Formelbeiwerten nach [6] ausgegangen. Es sind wiederum die Eisfestigkeiten eingeführt, die den jeweiligen Gegebenheiten angepaßt werden kön-

nen. Im Hinblick auf die Empfindlichkeit der Bauelemente und der an sie zu stellenden Sicherheitsanforderungen wurden auch für den deutschen Küstenraum bereits unterschiedliche Werte vorgeschlagen:

$$\text{Nordsee-Eis} \quad \delta_0 = 1,5 \text{ MN/m}^2$$

$$\text{Ostsee-Eis} \quad \delta_0 = 1,8 \text{ MN/m}^2$$

$$\text{Süßwasser-Eis} \quad \delta_0 = 2,5 \text{ MN/m}^2,$$

wobei wie vorher von mäßigen Kältegraden ausgegangen wird und die statistische Überschreitungswahrscheinlichkeit unter 5% liegt.

Wegen des erheblichen Einflusses der Eisdicken sind je nach örtlichen Messungen Werte zwischen 30 und 80 cm angegeben.

Bei allen Formelangaben mußte nach lotrechter oder geneigter Oberfläche und nach der jeweiligen Querschnittsform unterschieden werden, weil das Eintreten des Bruches des Eises vom Spannungs- und Verformungsbild im Schneide-, Zerdrückungs-, Abscher- oder Biegevorgang abhängt, so daß sehr unterschiedliche Grenzlasten erreicht werden.

Mit diesen Grundlagen lassen sich die maßgebenden Lasten in einfacher Weise finden, wobei alle Lastgrößen in MN (Meganewton) und alle Längen in m (Meter) angegeben werden:

Eislast auf lotrechte Pfähle:

$$\text{infolge Treibeis} \quad p_p = 0,56 \cdot \delta_0 \cdot d^{0,5} \cdot h^{1,1}$$

$$\text{infolge schieben-} \\ \text{dem Eis} \quad p_i = \delta_0 \cdot d^{0,68} \cdot h^{1,1}$$

für keilförmig ausgebildete Pfähle.

Für Rechteckpfähle erhöht sich p_i um 40%.

Für Rundpfähle ist stets p_p maßgebend.

Eislast auf geneigte Pfähle:

$$\text{infolge Scherbruch} \quad p_s = c_{fs} \cdot \delta_0 / 6 \cdot k \cdot \tan \beta \cdot d \cdot h$$

mit $c_{fs} = 1,1$ bis $2,9$ je nach Keilwinkel

$$\text{infolge Biegebruch} \quad p_b = c_{fb} \cdot \delta_0 / 3 \cdot \tan \beta \cdot d \cdot h$$

mit $c_{fb} = 0,16$ bis $0,38$ je nach Keilwinkel und Neigungswinkel β

Die Formel für geneigte Pfähle sind bis zu einem Neigungswinkel $\beta = 80^\circ$ (Neigung 6 : 1) anwendbar. Steilere Pfähle sind wie lotrechte Pfähle zu behandeln.

Bei Pfahlgruppen kann die Summenbildung der Einzellasten in der Regel auf die vordere Pfahlgruppe beschränkt werden.

3. Weitergehende Anwendung

Die vorgelegten Berechnungsvorschläge sind für die Verhältnisse im deutschen Küstenraum entwickelt worden. Sie lassen sich ohne weiteres auf andere Verhältnisse übertragen, wenn dort andere Größen der Eisfestigkeit maßgebend sind.

Sie sind auch auf die Verhältnisse in Binnenwasserstraßen mit den dort geltenden Eingangsgrößen übertragbar. Eine Ergänzung für die deutschen Binnenwasserstraßen ist in Vorbereitung. Die für Pfähle gegebenen Ansätze sind dabei auch auf schlanke Bauwerke wie Brückenpfeiler oder Eisabweiser an Bauten im Gewässer übertragbar. Lediglich die Frage möglicher Packeisbildung und des Eisversatzes bedarf hier der Ergänzung.

Es ist zu hoffen, daß damit ein wichtiger Beitrag zu praktikablen und einheitlich verwendbaren Regelungen gegeben wurde.

Literatur

- [1] Recommendations of the Committee for Waterfront Structures
EAU – 1985 – Fifth Edition, Ernst & Sohn 1986 Berlin.
- [2] Technischer Jahresbericht 1984 des Arbeitsausschusses Ufereinfassungen
Bautechnik 12/1984.
- [3] XXIII rd International Navigation Congress Ottawa 1973
Subject II – 4 Effects of Ice
- [4] Ice Navigation Report of a working Group of the PTC II
PIANC Bulletin No 46 (1984).
- [5] Schwarz, J., Treibeisdruck auf Pfähle
Mitt. Franziusinstitut Hannover H. 24, 1964.
- [6] Schwarz, J., Hirayama, K., Wu, H. C. Effect of Ice Thickness on Ice Forces
Proceedings Sixth Annual Offshore Techn. Conference Houston, Texas 1984.
- [7] Korzhavin, K. N., Action of Ice on Engineering Structures
Translation 260 Hanover, New Hampshire 1971.

Zusammenfassung

Probleme der Eisbildung, der Einwirkungen von Eis auf die Anlagen der Wasserstraßen und der Behinderungen der Schifffahrt durch Eis haben sich in gemäßigten Klimazonen durch die anthropogenen Einflüsse der letzten Jahrzehnte zum Teil stark verringert. Auf Eisbekämpfungsmaßnahmen kann aber in bestimmten Regionen nicht verzichtet werden, wie am Beispiel der Elbe gezeigt wird.

Mit rechtzeitig eingeleiteten Eisbekämpfungsmaßnahmen und einer ausreichend leistungsfähigen Eisbrecherflotte lassen sich auch die vom Eis ausgehenden Belastungen des Gewässerbettes und der Anlagen an der Wasserstraße gering halten.

Für die Verhältnisse in der Bundesrepublik Deutschland wurden im Rahmen der Empfehlungen des Arbeitsausschusses „Ufereinfassungen“ (EAU) Berechnungsvorschläge für Lastansätze von Ufereinfassungen, Pfähle und Fenderungen im Küstenbereich erarbeitet, die in die Sammelveröffentlichung der EAU 1990 aufgenommen werden. Die Lastansätze basieren auf den jeweiligen Eiseigenschaften, so daß eine Übertragung auf andere Verhältnisse leicht möglich ist. Der Vorschlag gibt daher auch die Möglichkeit einer allgemeinen Vereinheitlichung, wie sie von internationalen Gremien angestrebt wird.

Für den Bereich der Elbe sind die Eisbekämpfungsmaßnahmen unter den speziellen Bedingungen dargestellt, die sich aus einer Staustufe bei Geesthacht oberhalb von Hamburg und der Betriebsweise des Wehres in Verbindung mit einem Pumpspeicherwerk sowie der Flutstromgrenze in der Tideelbe unterhalb ergeben. Unter Berücksichtigung langjähriger Erfahrungen sind Größe und Einsatzformen der Eisbrecherflotte zur Optimierung der Eisbekämpfung erläutert.

Aus der Weiterentwicklung der Eisbrecher sind Empfehlungen zu geeigneten Bauformen und Ausrüstungen erarbeitet. Ein wirtschaftlicher Einsatz ist durch Eignung der Eisbrecher auch für angrenzende Schifffahrtskanäle und eine entsprechende Einsatzplanung erreichbar.

Überlegungen und Versuche zur Verhinderung von Eisbildung durch weitere künstliche Wärmeeinleitung scheitern an ökologischen Problemen und an der Wirtschaftlichkeit des Kühlkreislaufs.

Teil II:**Eisbekämpfung am Beispiel der Elbe****1. Vorbemerkung**

Für die Eisbekämpfung auf der Oberelbe (oberhalb Elbe-km 607,5) unterhält die Wasser- und Schifffahrtsverwaltung der Bundesrepublik Deutschland bei dem für die Oberelbe zwischen Hamburg und Landesgrenze bei Schnackenburg (Elbe-km 472,6), den Elbe-Lübeck-Kanal (ELK) und für die Ilmenau zuständigen Wasser- und Schifffahrtsamt (WSA) Lauenburg eine Eisbrecherflotte von 7 Einheiten, die um zwei weitere des WSA Hamburg verstärkt werden kann.

In der Grenzstrecke der Oberelbe oberhalb Boizenburg (Elbe-km 559,5) beteiligt sich die DDR mit 3 Eisbrechern und 1 Hilfseisbrecher.

Die Eisbrecherflotte umfaßt

2 leichte Eisbrecher	mit 237 bzw. 308 kW
3 mittlere Eisbrecher	mit 430 bzw. 441 kW
2 schwere Eisbrecher	mit 651 bzw. 2 x 430 kW

In strengen Eiswintern kann die Kapazität um 2 Mehrzweckschiffe von je 2 x 231 kW des WSA Hamburg erweitert werden. 5 der insgesamt 9 Eisbrecher sind mit Stampfanlagen ausgerüstet.

Das gilt auch für die von der DDR auf der Oberelbe eingesetzten Doppelschrauben-Eisbrecher mit 2 x 285 kW.

Die wichtigsten Zahlen der Elbe:

Quelle: 1.390 m über NN im Riesengebirge (CSSR)

Länge: 1.143 km bis Seegrenze, davon rd. 1.000 km schiffbar,
im Oberlauf (CSSR) kanalisiert.
1 Staustufe bei Geesthacht (Elbe-km 585,9)

Breite: zwischen den Streichlinien bei
– Melnik (Mündung der Moldau) 100 m,
– Magdeburg (Elbe-km 330) 160 m,
– Lauenburg (Elbe-km 570) 215 m.

Einzugs-
gebiet: 148.500 km²

Abflüsse

bei:	höchstem Hochwasser	3.840 m ³ /s (7.4.1895)
	niedrigstem Niedrigwasser	128 m ³ /s (1./2.4.1904)
	Mittelwasser	700 m ³ /s. (langjähriges Mittel)

2. Eisbildung in Binnengewässern

2.1 In Flüssen

Infolge der starken Belastung der Flüsse durch industrielle und kommunale Brauch- und Abwässer ist die Eisbildung in den schiffbaren Flüssen der Bundesrepublik Deutschland sehr selten geworden. Eine Ausnahme macht hier die Elbe, die trotz ihrer starken anthropogenen Belastung nach wie vor eisanfällig ist. Das hat seinen hauptsächlichlichen Grund in der geographischen Lage, für die das mitteleuropäische Übergangsklima bestimmend ist und das osteuropäische Kontinentalklima im Ober- und Mittellauf der Elbe schon wirksam wird.

Im Zeitraum zwischen 1900 und 1987 wurde bei Neu Darchau (Elbe-km 536,4) 38mal Eisstand registriert; nur in sechs Wintern gab es kein Treibeis.

Das Eis in Flüssen besteht aus Oberflächen-, Grund- und Schwebeis. Die Eisbildung ist in verschiedenen Theorien (Barnes, Arago, Gay-Lussac und Altberg) beschrieben worden.

In der Theorie von Altberg finden die durch Eigenbeobachtungen an der Elbe gewonnenen Erkenntnisse der Eisbildung im Fluß die überzeugendste Erklärung.

Durch die Turbulenzen des strömenden Wassers gelangt das oberflächlich unterkühlte Wasser infolge der über den Flußquerschnitt herrschenden annähernd gleichen Temperatur und Dichte schnell zur Sohle. Diese nimmt in einer Grenzschicht die Temperatur des unterkühlten Wassers an. An den verschiedensten Kristallisationskernen in Form von Sand und Steinen auf der Sohle bildet sich das „Grundeis“.

Ist der Auftrieb der zunächst nur sehr kleinen Eisplättchen durch das Anwachsen ausreichend groß, treibt das Grundeis, oft unter Mitnahme von Sohlenmaterial, von der Sohle zur Wasseroberfläche auf. Das aufgenommene Bodenmaterial ist hier gut erkennbar, wenn frisch gebildetes Grundeis mit Schiffen durchfahren wird. Dabei zerfallen die Grundeisballen, das anhaftende Material wird freigegeben und verursacht im Wasser Trübungen. Nach Altberg bildet sich im Stromquerschnitt neben dem Grundeis auch „Schwebeis“, wobei die hier im Wasserkörper zahlreich vorhandenen Schwebstoffe die Kristallisationskerne bilden. Voraussetzung für die Schwebeisbildung ist eine schnelle Unterkühlung des Wassers durch die 0-Grad-Zone hindurch. „Grundeis“ von „Schwebeis“ durch Augenbeobachtungen zu unterscheiden macht in der Praxis allerdings Schwierigkeiten.

Die Eisbildungsvorgänge im Strom werden durch Schneefall gefördert, wobei die Schneeflocken wie Kristallisationskerne im Wasser wirken. Die aufschwimmenden lockeren Grund- und Schwebeis-„Flocken“ bilden an der Wasseroberfläche Ballen von kristallinem Lockereis, die sich vergrößern und mit anderen verbinden. Bei den drehenden Bewegungen nehmen die wachsenden flachen Eiskörper eine runde Form an. Das innerhalb des lockeren, durch gegenseitige Berührung mit Abriebvorgängen Tellerform annehmenden Eiskörpers gefangene Wasser gefriert zu Kerneis.

Die derart gebildeten tellerförmigen Schollen, die auf der Elbe zunächst einen Durchmesser von 2 – 3 m haben, gefrieren z.T. bei tiefen Lufttemperaturen und großer Dichte des Schollen-Treibesees zusammen und bilden vermehrt Großschollen von 20 – 30 m Durchmesser, die allerdings beim Überfall am Sektorwehr Geesthacht wieder in Einzelschollen zerfallen. Die Einzelschollen zerbrechen hier nur bei größerer Spiegeldifferenz zwischen Ober- und Unterwasser, wachsen aber nach einer Lauflänge von nur wenigen Kilometern erneut zusammen.

Das Kerneis der Schollen erreicht in mittleren Wintern eine Dicke von rd. 15 cm, in strengen (1986/87) auch von rd. 25 cm. Mit den „Eisbärten“ unter den Schollen können diese je nach Schollendurchmesser Dicken von 0,7 bis 1,5 m erreichen.

Neben dem Scholleneis bildet sich an den Flußufeln kerniges Oberflächeneis (Randeis), das bis zu Mittelwasser-Abflüssen die Bühnenfelder bedeckt. Am einbuchtenden Ufer fällt die Randeisdecke etwa mit der Streichlinie (Verbindungsline der Bühnenköpfe) zusammen. Der am konkaven Ufer liegende Talweg mit der höchsten Strömungsgeschwindigkeit führt die Masse des Scholleneises, das ein Anwachsen des Randeises durch Abrieb behindert. Durch den ständigen Abrieb von Scholleneis an der Randeisdecke entsteht ein wulstiger Eissaum.

Am konkaven Ufer mit schwacher Strömung wächst dagegen das Randeis über die Streichlinie vor, weil hier ein Abrieb durch das treibende Scholleneis nicht stattfindet. Diese Entwicklung führt zu ständig schwankender Breite der Treibeis tragenden Wasseroberfläche, die um so eingeschränkter ist, je stärker die Krümmung des Flusses ist. Diesen Flußabschnitten gilt daher die besondere Aufmerksamkeit beim Eisaufruch (siehe Abs. 3.2).

Bei einer Abflußmenge größer als die der Mittelwasserführung, bei der es zur Überflutung der Vorländer kommt, trägt die größere Wasserfläche zu einer verstärkten Abkühlung des Wassers solange bei, bis sich auf diesen Wasserflächen in Abhängigkeit von den Strömungsverhältnissen auf den überfluteten Vorländern Oberflächeneis, durchsetzt mit dem eingedrungenen Scholleneis, bildet. In solchen Abschnitten hinterläßt das Scholleneis bei eingetretenem Eisstand keine Markierung der Streichlinien in Form eines Eissaumes. Lediglich der aus dem Eis herausragende Uferbewuchs gibt da und dort Anhaltspunkte über den Verlauf des regulierten Flußbettes.

Gute Ortskenntnisse sind daher erforderlich, um Grundberührungen oder gar ein Festkommen der Eisbrecher zu vermeiden.

2.2 In Kanälen

Stehende Gewässer gefrieren von oben nach unten, d.h. es bildet sich Oberflächeneis; Dichteunterschiede führen zu einer Umschichtung des Wassers. Bei Abkühlung des gesamten Wasserkörpers auf + 4° C (größte Dichte) hört die Umschichtung auf.

Bei weiterer Abkühlung der Oberfläche nimmt das spezifische Gewicht des Wassers ab, es bleibt an der Oberfläche. Wird bei fortdauernder Kälteeinwirkung der Gefrierpunkt an der Wasseroberfläche unterschritten, beginnt an der Oberfläche die Eisbildung. Kristallisationskerne, die Voraussetzung für eine Eisbildung, sind auch in Kanälen und stehenden Gewässern ausreichend vorhanden. Bei anhaltendem Frost nimmt die Dicke der Eisdecke von oben nach unten zu. Weil diese durch die Schifffahrt fortlaufend zerstört wird, kann die bei der Eisbildung entstehende Kristallisationswärme entweichen und dadurch die weitere Eisbildung begünstigt werden. Hinzu kommt, daß beim Durchfahren des Eises dieses auch oberflächlich immer wieder benetzt wird, was wiederum die Eisbildung beschleunigt. So ist es nicht verwunderlich, daß auch auf stärker befahrenen Schifffahrtskanälen das Eis schnell zunimmt und der Verkehr dadurch so erschwert wird, daß dieser oft schon nach wenigen Tagen zum Erliegen kommt (Elbe-Seitenkanal, Elbe-Lübeck-Kanal). An Schleusen sind Schwierigkeiten durch Eis nur selten ursächlich für Schifffahrtseinstellungen auf künstlichen Wasserstraßen.

3. Das Entstehen von Eisstand in der Elbe

Die durch die Niedrigwasserregulierung der Elbe (1931–1943) erreichte Verbesserung der Stromgeometrie und die sich nach Unterstrom vergrößernden Querschnittsbreiten des Flußbettes haben bewirkt, daß Eisstände in der freifließenden Strecke der Oberelbe in der Eisbildungsphase heute weitgehend ausgeschlossen werden können.

Das gilt nicht unbedingt für den Eisabgang nach dem Eisaufbruch durch Eisbrecher bei noch herrschendem oder wieder einsetzendem Frost, weil dann große Eismengen in großer Dichte insbesondere bei Eisabrissen freigesetzt werden (siehe Abs. 3.2).

Der kritische Abschnitt für Eisstände liegt im Bereich der von der Abflußmenge und dem Tidehub abhängigen Lage der Flutstromgrenze zwischen Elbe-km 599 und Elbe-km 620, was überwiegend dem Abschnitt der Elbe im Hafenbereich von Hamburg entspricht. Mit der Veränderung des Tideablaufs in der Elbe haben sich die Eisprobleme entschärft. Der Tidehub, der um 1900 bei Harburg etwa 180 cm betrug, erreichte 1980 etwa 320 cm. Bei einem Eisstände begünstigenden Oberwasserabfluß von $400 - 800 \text{ m}^3/\text{s}$ beträgt heute in der Süderelbe bei Harburg die Flutstromdauer etwa 4,75 Stunden, die Ebbstromdauer dagegen etwa 7,75 Stunden. Die Ebbstromgeschwindigkeiten erreichen rd. $0,8 \text{ m/s}$ und sind damit etwa doppelt so hoch wie die Flutstromgeschwindigkeiten. Bei Oberwasserabflüssen von mehr als $1.500 \text{ m}^3/\text{s}$ sind Eisstände in mittleren Eiswintern unwahrscheinlicher geworden. Die Flutstromgrenze liegt dann etwa bei Elbe-km 620 im Stromspaltungsgebiet der FHH. Voraussetzung dafür, daß hier beständige Eisstände nicht eintreten, ist, daß eine ausreichende Zahl von Eisbrechern rund-um-die-Uhr tätig ist, um das Zusammenfrieren des sehr dichten Treibeises in der Flutstromphase zu unterbinden und den Eisabgang

bei einsetzendem Ebbstrom zu fördern. Andererseits verschärft sich die Eislage bei Tidehub dadurch, daß mit dem Wasserspiegelanstieg in die sich vergrößernde Wasseroberfläche das Treibeis von Oberstrom bzw. das vom Flutstrom gegenläufig bewegte Eis eindringen kann. Während der Ebbtide bilden sich auf den Böschungen die Querschnittsfläche verkleinernde ausgeprägte Eissäume, die Scholleneisdecke selbst wird nicht nur dichter, sondern auch dicker. Brückenpfeiler, Dalben und andere Einbauten fester oder schwimmender Art, wie auch Querschnittseinengungen, Krümmungen und die Stetigkeit des Uferverlaufs unterbrechende Hafenbecken begünstigen die Standfestigkeit der ständig dicker werdenden Eisdecke.

Gelingt es den Eisbrechern nicht, diese in der Flutstromzeit entstandene Preßeisdecke in der Ebbtide soweit aufzureißen, daß der Ebbstrom diese abführen kann, ist ein nach Oberstrom fortschreitender Eisstand nicht mehr zu vermeiden.

Wesentlich schwerwiegender entwickeln sich die Verhältnisse, wenn es bei einer Oberwasserführung von mehr als rd. $1.500 \text{ m}^3/\text{s}$ und großer Eismenge zu einem Eisstand im Flutstromgrenzbereich kommt. Eine seltene, aber nicht auszuschließende Lage, wie der Winter 1986/87 bei einer Wasserführung von ca. $2.000 \text{ m}^3/\text{s}$ gezeigt hat. Es gelang den Eisbrechern nicht, in der folgenden Ebbtide den Eisstand aus stark gepreßtem dickem Scholleneis zu beseitigen. Eine bedrohliche Entwicklung der Eislage war die Folge. Die Gründe dafür lagen und liegen in erster Linie in dem durch Eis erzeugten Stau und dem damit verbundenen stark wachsenden Gefälle. Im Bereich des Eisstandes werden große Mengen des Treibeises von der zunehmend stärker werdenden Ebbströmung unter die standfeste Eisdecke gedrückt, wobei das Treibeis infolge der Rauigkeit der stehenden Decke weitgehend unter dieser gefangen wird. Im Bereich geringer Strömungsgeschwindigkeit unter der Eisdecke wird der Abflußquerschnitt nahezu vollständig mit Eis verstopft. Die Folge sind ein weiterer Wasserspiegelanstieg durch Rückstau und hohe Strömungsgeschwindigkeiten in der tiefen Stromrinne. Durch den Rückstau aus der Querschnittsverringering hebt sich die zwischenzeitlich nach Oberstrom gewachsene Eisdecke, die an den Rändern ihren Halt verliert und in Teilabschnitten nachrückt.

Es kommt jetzt beim Auftreffen auf die noch stehende Eisdecke zu Packeis, das sich bis zu schweren Eisversetzungen auswachsen kann. Selbst tiefgehende Eisbrecher sind dann nicht mehr in der Lage, diese Eisstöße kurzfristig aufzulösen. Die infolge der größeren Wasseroberfläche verstärkte Eisbildung führt zu einem schnellen Anwachsen des Eisstandes nach Oberstrom und in seinem Gefolge natürlich zu einem weiteren Wasserstandsanstieg, der die Deiche stark belasten und gefährden kann. Selbst wenn es den Eisbrechern gelingt, den für das Geschehen ursächlichen Eisriegel im Flutstromgrenzbereich schon in der folgenden Ebblide zu durchstoßen, ist ein andauernder Eisstand auf der Oberelbe nicht mehr zu verhindern.

Die Ausdehnung der Eisstände ist nach Dauer und Stärke der Frostperiode sehr unterschiedlich. Infolge der anthropogenen Belastung der Elbe ist heute mit Eisständen von noch rd. 220 km Länge zu rechnen (1986/87 Eisstand bis Elbe-km 392,9, der durch Eisbrecher bekämpft werden mußte).

3.1 Zielsetzungen bei der Beseitigung von Eisstand

Während die Eisbekämpfung im Flußmündungs- und Seegebiet der Unterstützung der Schifffahrt dient, ist diese auf den Flüssen wie der Elbe zunächst eine Maßnahme der Gefahrenabwehr (Verhinderung von gefährlichem Hochwasser durch Wasserretention) und erst dann eine Maßnahme zur Aufrechterhaltung des Schiffsverkehrs.

Es gilt bei

Eintritt des Eiswinters

- möglichst einen Eisstand zu verhindern oder zu verzögern
- unterwegs befindlichen Schiffen das Erreichen von Schutzhäfen zu ermöglichen, bevor ein Eisstand eintritt.

Einsetzen des Tauwetters

- Eisstände aufzulösen, bevor Schmelzwasser zum größeren Wasserspiegelanstieg führt und unkontrollierte Eisabgänge auf Teilstrecken eintreten, die zu schweren Versetzungen des abgehenden Eises führen können, wenn dies auf feststehende Eisdecken oder andere Hindernisse trifft (Gefahr für die Deichsicherheit)
- die Schifffahrtsunterbrechung durch Eis durch einen zeitgerechten Eisauflauf möglichst kurz zu halten.

Eisbrecher sollten nach Möglichkeit zu erreichen versuchen, daß das Treibeis auf der Strecke sich nicht in Verengungen durch Randeis, starken Krümmungen, auf Sandbänken, an Betriebsanlagen (z. B. Staustufen) und im Tidebereich (Flutstrom) festgesetzt und dadurch Eisstände ausgelöst werden.

Auf der regulierten Oberelbe sind derart ausgelöste Eisstände eher unwahrscheinlich geworden; das gilt weitgehend auch für die Staustufe Geesthacht, wo wegen des Fehlens eines Kraftwerkes das abfließende Wasser gänzlich und damit auch das abschwimmende Scholleneis über das Sektorwehr abgeführt wird. Von besonderer Bedeutung ist dies, weil an der Staustufe Geesthacht ein Wasserstand von NN + 4,0 m mit Rücksicht auf den Betrieb eines Pumpspeicherwerkes gehalten werden muß. Das aber ist nur dann sicherzustellen, wenn die für die hydraulische Steuerung der Sektoren des Wehres erforderlichen Randbedingungen erfüllt bleiben. Eine Überdeckung der Sektoren mit Eis muß ebenso verhindert werden wie eine Beeinträchtigung der Steuerfähigkeit des Wehres durch Wasserrückstau infolge Eis unterhalb des Wehres.

Der neuralgische Bereich für Eisstände aber ist der Tidebereich der Elbe, wo Treibeis von Eisbrechern ständig in Gang gehalten werden sollte. Das aber ist, wie eingangs dargestellt, der Tide wegen auf der Elbe oft nicht möglich.

3.2 Auswirkungen des Eisstandes, Abläufe in seiner Bekämpfung

Ist es aus den unter Abs. 3 beschriebenen Gründen zum Eisstand auf der Oberelbe gekommen, stellt sich in mittleren Wintern die Frage, ob ein sofortiger Eisauflauf geboten ist. Denn jeder Eisauflauf unter Frost begünstigt die neuerliche Eisbildung und bringt folglich neue Beschwerden. Im Hafengebiet Hamburgs wird die Hafengebehörde dessen ungeachtet alle Anstrengungen machen, durch Eisbrecherunterstützung Schiffsbewegungen solange wie möglich zu gewährleisten, um die wirtschaftlichen Schäden durch Eisbehinderung für den Seehafen Hamburg so niedrig wie möglich zu halten.

Die Aufnahme des Eisauflaufs auf der Oberelbe oberhalb des Hafens Hamburg entscheidet sich nach folgenden Kriterien:

- jahreszeitlicher Stand des Winters,
- zu erwartende Wetterentwicklung (kurz bis mittelfristig),
- Grad der Beeinträchtigung an der Staustufe Geesthacht.

Ist es zu einem Eisstand in der Tideelbe gekommen, so wird ungeachtet der Wetterlage und -entwicklung aus Erfahrung am Wehr Geesthacht der Eisauflauf bis zum Oberwasser Geesthacht eingeleitet, um die Steuerfähigkeit des Wehres sicher- bzw. wiederherzustellen.

Die hydraulische Steuerfähigkeit des Wehres der Staustufe Geesthacht ist insbesondere deswegen besonders bedroht, weil sich unterhalb der erosionssicher gepanzerten Sohle ein bis zu 13 m tiefer Kolk befindet. Durch die Querschnittsvergrößerung und die dadurch stark herabgesetzte Fließgeschwindigkeit kommt es hier zu einer stärkeren Eiskonzentration. Dieser Effekt wird zusätzlich überlagert oder begünstigt durch vorübergehende Eisstände im Tidebereich der Oberelbe, z.B. infolge höherer Flutwasserstände.

Ist es im Kolkbereich zum Eisstand gekommen, so schiebt sich unter die hier aufgebaute Eisdecke das von Oberstrom weiterhin zufließende Scholleneis. Das beim Wehrüberfall z.T. zerkleinerte Eis mit dem unter den Schollen gefangenen Grundeis bildet ein kolloidales Wasser-Eisgemisch (Eisbrei), das die über dem Kolk stehende Eisdecke sehr schnell mit Treibeis unterwärts anreichert. In strömungsschwächeren Bereichen füllt sich der Abflußquerschnitt schließlich bis zur Sohle mit Eis.

Die Folge ist ein Wasserrückstau, der den Unterwasserstand dem auf NN + 4,0 m (Pumpspeicherbetrieb) festgelegten Stauspiegel angleicht. Bei einer Wasserspiegeldifferenz von etwa 0,3 m zwischen Ober- und Unterwasser verliert das hydraulisch gesteuerte Sektorwehr seine Steuerfähigkeit. Der die Sektoren stützende Wasserüberdruck in den Sektorkörpern ist dann soweit abgebaut, daß diese sich in die Tiefstlage absenken. Das nunmehr nahezu stetige Gefälle über dem Wehr begünstigt den Aufbau einer Eisdecke über die Wehrkörper hinweg stromaufwärts in den Staubeereich des Wehres hinein und über diesen hinaus.

Seit Inbetriebnahme eines Kernkraftwerkes (KKW) bei Geesthacht wird durch die Kühlwassereinleitung etwa 5 km oberhalb des Wehres das Eisgeschehen beeinflusst. Nachteilig ist, daß die nach Oberstrom wachsende Eisdecke infolge der Tauwirkungen des Kühlwassers sich nicht konsolidieren kann. Es kommt auf der Strecke zwischen der Kühlwassereinleitung und dem Wehr zu Eistrückungen.

Die Flußgeometrie der Elbe im Abschnitt des Wehrarmes und die Abzweigung des oberen Schleusenkanals begünstigen bei Eistrückungen die Entstehung von Packeis und Eisversetzungen im Bereich der Einmündung des oberen Schleusenkanals (das Eisgeschehen des Winters 1986/87 bestätigt die prognostizierten Wirkungen eindrucksvoll).

Der von der Kühlwassereinleitung bewirkte fortschreitende Schmelzprozeß führt aber auch zur Eisabnahme über das Wehr hinaus bis in den Kolkbereich hinein, so daß dort der Wasserrückstau geringer wird; mit dem sich vergrößernden Gefälle verbessert sich wiederum die Steuerfähigkeit der Sektoren.

Während es vor der Inbetriebnahme des KKW etwa zwei Tage dauerte, die Eisversetzung im Kolkbereich des Wehres durch Eisbrecher zu räumen, ist das unter Wirkung des Kühlwassers heute in etwa einem halben bis zu einem Tag zu schaffen; wobei die gesteigerte Leistungsfähigkeit der eingesetzten Eisbrecher allerdings nicht unerwähnt bleiben darf (siehe Abs. 5).

Die für die Betriebssicherheit des Wehres günstigen Wirkungen der Kühlwassereinleitung des KKW sind bei der Entscheidung über den Zeitablauf des Eisaufbruchs in der Tidestrecke ebenso zu bedenken wie die Eisversetzungen oberhalb des Wehres, die zu räumen etwa einen Tag dauerte und die erhebliche Erosionsschäden in der oberen Vorhafeneinfahrt und deren Entlastungskanal zur Folge hatte.

Ob der Eisaufbruch oberhalb der Staustufe Geesthacht sogleich fortgesetzt wird, richtet sich nach dem jahreszeitlichen Stand des Winters und der herrschenden Kälte. Ist Tauwetter mit Wirkungen auf die Eisdecke zu erwarten, so wird der Eisaufbruch oberhalb der Staustufe auch bei noch herrschendem Frost fortgesetzt. Andernfalls wird dieser in Geesthacht unterbrochen. Während ein Teil der Eisbrecherflotte (gewöhnlich 3 - 4 Eisbrecher) nach Hamburg zurückkehrt, um bei einer Frostverschärfung und neuer Eisbildung den Eisabgang in der Tidestrecke zusammen mit den Eisbrechern der Hafenbehörde zu fördern oder zu sichern, verbleiben die stärksten Eisbrecher in Geesthacht für den weiteren Eisaufbruch nach Oberstrom.

Die hohe Leistungsfähigkeit der Oberelbe-Eisbrecher legt nahe, in jahreszeitlich fortgeschrittenen Wintern den Eisaufbruch auch bei noch herrschendem Frost sogleich fortzusetzen. Denn unter Frost stehendes Eis ist spröder und es läßt sich in diesem Zustand besser brechen. Beim Übergang zum Tauwetter wird dagegen das Eis deutlich zäher. Der frühzeitige Eisaufbruch vermindert die Gefahren für die Deiche. Eistrückungen oder Eisabgänge infolge überraschend eintretenden Tauwet-

Deutsche Beiträge zu PIANC-Schiffahrtskongressen seit 1949 1990-03
ters (häufig mit Niederschlägen als Regen verbunden), die gefährliche Entwicklungen der Eislage nicht ausschließen, kann vorbeugend und rechtzeitig begegnet werden. Die Schifffahrt kann im übrigen ihren Betrieb eher wieder aufnehmen.

Die Möglichkeit einer zweiten Vereisung, die in einem extremen Eiswinter nicht auszuschließen ist, sollte dabei in Kauf genommen werden.

3.3 Techniken der Eisbekämpfung auf der Oberelbe

Die Scholleneisdecke auf der Oberelbe, ob in der Tide-, in der freifließenden oder staubeeinflußten Strecke, wird durch im Verband arbeitende Eisbrecher aufgebrochen. Im Tidebereich bis zur Staustufe Geesthacht kann natürlich jeweils nur die Phase der Ebttide genutzt werden, damit das aufgebrochene Eis auch abtreiben kann.

Vor der Niedrigwasserregulierung der Elbe war es üblich, zunächst eine relativ schmale Rinne in die Eisdecke zu brechen und diese Rinne durch das Fahren mit hoher Geschwindigkeit in der Rinne und die dadurch erzeugten Wellen zu erweitern. Für dieses sogenannte „Rändern“ gab es zwei Gründe. Zum einen hatten die damals eingesetzten Dampfeisbrecher nicht die Antriebsleistung wie die heute eingesetzten Dieseleisbrecher. Zum anderen zwangen dazu die im unregulierten Flußbett verbreitet anzutreffenden Sandbänke, die von den Eisbrechern wegen der hier herrschenden unzureichenden Wassertiefen nicht überfahren werden konnten. Um auch die Eisdecken über den Sandbänken zu zerstören und eine möglichst breite Rinne für den Eisabgang zu erreichen, blieb nur das „Rändern“.

Heute wird auf dem regulierten Strom „vor Ort“ im Verband gearbeitet, um die Eisdecke möglichst bis an die beiderseitigen Streichlinien zu zerstören. Weil es infolge des im Nahbereich der unteren Eiskante sich einstellenden stärkeren Gefälles (Wasserretention unter der Eisdecke und freier Abfluß in der aufgebrochenen Strecke) häufig zu Eisabrissen kommt, haben unterhalb des Eisbrecherverbandes die leichteren und schwächeren Eisbrecher den störungsfreien Abgang zu kontrollieren und dabei noch vorhandene großflächigere Schollen zu zerkleinern. Wo wegen unzureichender Wassertiefe bei Niedrigwasser die Eisbrecher größere Abstände von der Streichlinie halten müssen, wird auch heute noch von den nachlaufenden oder im rückwärtigen Gebiet arbeitenden Eisbrechern die Methode des Ränderns angewendet. Die Zahl der vor Ort arbeitenden Eisbrecher richtet sich nach der Breite des Flusses zwischen den Streichlinien (215 m bei Lauenburg) und der Dicke der Eisdecke und der aufgeeisten Strecke. Je länger die hinter den vor Ort arbeitenden Eisbrechern liegende, das gebrochene Eis führende Strecke wird, um so mehr Eisbrecher sind zur Sicherstellung des Eisabganges im rückwärtigen Gebiet abschnittsweise einzusetzen; wobei der Stauraum der Staustufe Geesthacht (verlangsamte Fließgeschwindigkeit) und die Tidestrecke zwischen dem Wehr Geesthacht und

Deutsche Beiträge zu PIANC-Schiffahrtskongressen seit 1949 1990-03
dem Hafengebiet Hamburgs besondere Aufmerksamkeit erfordern. Aus Gründen gegenseitiger Unterstützung werden im rückwärtigen Gebiet die hier arbeitenden Eisbrecher möglichst in Zweiergruppen zusammengefaßt.

Eine im Verband vor Ort arbeitende Gruppe von 6 – 8 Eisbrechern erreichte bei einer Eisdecke aus flächig zusammengefrorenem Scholleneis bei höherer Wasserführung unter den auf der Oberelbe in strengen Wintern herrschenden Eisverhältnissen eine Stundenleistung bis annähernd 2 km. Bei stark gepreßtem Eis oder wenn die Aufbruchgeschwindigkeit unter rd. 1 km/h abfällt, kann auf das „Boxen“ einzelner Eisbrecher innerhalb des Verbandes allerdings nicht verzichtet werden. Diese stoßen dann mit voller Fahrt in das Eis und schieben sich so mit ihrem Bug weit auf die Eisoberfläche vor. Das Boxen übernehmen zunächst und überwiegend die schwächeren Eisbrecher im Verband. Während die stärksten und mit Stampfanlagen ausgerüsteten Eisbrecher an der Eiskante brechen, wird von allen anderen Eisbrechern im Wechsel geboxt.

Der Eisaufbruch auf der Oberelbe wird auf die Tageszeit beschränkt, wo durch ausreichende Licht- und Sichtverhältnisse die Vorgänge in der vor den Eisbrechern liegenden Eisdecke von der Besatzung der Eisbrecher oder von Landbeobachtern auf Kraftfahrzeugen, die mit den Eisbrechern über Funk in Verbindung stehen, rechtzeitig erkannt werden können. Denn auf gestreckten Flußabschnitten muß damit gerechnet werden und es passiert immer wieder, daß Eisdecken auf größeren Längen (bis zu mehreren Kilometern), infolge des durch den Eisaufbruch zwischen den mit Eis bedeckten und aufgebrochenen Flußabschnitten erzeugten stärkeren Spiegelgefälles, abreißen. Kommt es zu Eisabrissen auf größerer Länge, so sind die vor Ort arbeitenden Eisbrecher, insbesondere zunächst die an den Rändern arbeitenden, aus Sicherheitsgründen sofort in den nächstliegenden Hafen oder einen Schutz bietenden Flußabschnitt zurückzunehmen. Diese abtreibenden Eisfelder, die sich erst nach einer Strecke von 1 – 2 km entsprechend der vom Spiegelgefälle abhängigen unterschiedlichen Strömungsgeschwindigkeit in Schollen zerlegen und dadurch auflockern, können im Eisfeld eingeschlossene Eisbrecher auf Strombauwerke drücken.

Die auf der Oberelbe, einem Flachlandfluß, gesammelten Erfahrungen und angewandten Techniken in der Eisbekämpfung sind natürlich nicht ohne weiteres auf andere Flußregime zu übertragen.

4. Grundsätzliches zur Eisbekämpfung auf dem Elbe-Lübeck-Kanal (ELK), dem Elbe-Seitenkanal (ESK) und der Oststrecke des Mittellandkanals (MLK)

Für die Eisbekämpfung auf den genannten Kanälen ist die Mehrzahl der Oberelbe-Eisbrecher von ihrem Tiefgang und ihrer Aufbautenhöhe bei Ausnutzung der Trimmmöglichkeiten und in Einzelfällen durch zusätzliches Ballastieren geeignet und auch zeitgerecht verfügbar.

Das gilt sowohl für die Unterstützung der Schifffahrt auf den Kanälen in der Phase der Eisbildung als auch für die zeitgerechte Aufeisung der Kanäle für die Wiederaufnahme der Schifffahrt bei zu erwartendem Tauwetter.

Einerseits vereisen diese Kanäle schneller als die antropogene stark belastete Oberelbe, andererseits ist der Eisaufbruch auf der Oberelbe beim heutigen Vorgehen dank der technischen Leistungsfähigkeit der Eisbrecher abgeschlossen, bevor der Eisaufbruch auf den Kanälen geboten ist. Das heißt auch auf den Kanälen wird mit dem Eisaufbruch begonnen, wenn noch (leichter) Frost herrscht und der Übergang zu Tauwetter meteorologisch prognostiziert ist. Zu diesem Zeitpunkt wird der Tauprozeß im Eis nach der Zerstörung der Eisdecke begünstigt und eine schnelle Wiederaufnahme der Schifffahrt ermöglicht.

Auf dem ESK zerstören drei im Verband fahrende Eisbrecher die bis zu 40 cm starke Eisdecke auf einer mittleren Breite von rd. 30 m. Auf diese Weise entsteht bei hoher Aufbruchgeschwindigkeit eine ausreichend breite Fahrrinne mit stark zerkleinertem Eis. Die unzerstört bleibenden Eisränder an den Ufern schützen die Uferdeckwerke vor Stoßbelastungen während des Eisaufbruchs.

Der MLK mit seinen Zweigkanälen läßt im Bereich kleinerer Wasserspiegelbreiten ebenso wie der ELK einen Verband von zwei Eisbrechern zu.

Der Verkehr auf diesen Kanälen muß wegen Vereisung oder Behinderung durch Eis im Mittel an rd. 20 Tagen eingestellt werden.

Der Aktionsbereich der Oberelbe-Eisbrecher des WSA Lauenburg umfaßte im Eiswinter 1986/87 rd. 200 km auf der Oberelbe und rd. 300 km auf den Kanälen (siehe Kartenausschnitt).

5. Eisbrecherschiffe, Bauformen und Antriebsanlagen

1889 wurden die ersten Eisbrecher für die Oberelbe gebaut. Die nunmehr rd. 100-jährigen Erfahrungen und Entwicklungen lassen die Feststellung zu, daß die damals angewendeten Konstruktionsprinzipien auch heute noch weitgehend ihre Gültigkeit haben. Dagegen hat die Entwicklung im Schiffbau und insbesondere im Schiffsmaschinenbau die Wirksamkeit der Eisbrecher wesentlich gesteigert.

Folgende Konstruktionsmerkmale sind für Flußeisbrecher herauszustellen:

1. Die Länge des Eisbrechers soll gegenüber der Breite im Interesse einer guten Manövrierfähigkeit gering gehalten werden ($L : B = 4$).
2. Die Hauptspanten des Eisbrechers sollten der Halbkreisform möglichst angenähert werden und in der Wasserlinie nach außen geneigt sein.
3. Das Vorschiff soll keilförmig, der Spantausfallwinkel bis zu rd. 40° groß sein.

4. Eisverstärkte Verstellpropeller, angetrieben von unmittelbar auf die Schraubewelle arbeitenden Motoren (Langsam-/Mittelschnellläufer, bis rd. 450 UpM) werden empfohlen.
5. Der von den Tiefgängen im wesentlichen vorgegebene maximale Propeller-Durchmesser sollte die Leistung des Antriebsmotors bestimmen. Ein Verstellpropeller mit 1,4 m Durchmesser ist mit rd. 430 kW optimal belastet, d.h. auf 1 m² Rotationsfläche des Propellers sollten rd. 280 kW entfallen.
6. Stampfanlagen sollten in jedem Fall vorhanden sein, wenn Eisdecken in Stärken anzutreffen sind, die zum „Boxen“ zwingen.
7. Kräftige, sehr schnell zu bewegendende Ruder mit guter Wirkung in der Langsamfahrt.
8. Ballasttanks zur Änderung der Tauchtiefen je nach Wasserständen.

Eis auf einem vereisten Fluß mit Abschnitten starker Pressungen und Versetzungen ist von Eisbrechern mit keilförmigen Vorschiffen am besten zu bekämpfen, während Schiffe in Pontonform hier ungeeignet wären. Gegen eine derartige Bauform spricht dagegen nichts, wenn die Eisbrecher nur auf Kanälen oder Gewässern mit reinem Oberflächeneis eingesetzt werden, weil hier der geringe Widerstand des Eises gegen Scherbruch ausgenutzt werden kann. Große Spantausfallwinkel im Vorschiffbereich erhöhen die das Eis zerstörenden Kräfte. Ein 1981 für die Oberelbe in Dienst gestellte Doppelschraubeneisbrecher besitzt sog. „Schultern“, eine Verbreiterung im Vorschiffbereich um beiderseits 25 cm, um größere Spantausfallwinkel bis zur größten Breite zu erreichen und die vom anschließenden Schiffskörper ausgehenden Reibungswiderstände im Eis noch mehr zu mindern als die mit ei- oder tropfenförmig gestalteten Schwimmwasserlinien möglich ist. Konvex geformte Spanten begünstigen im übrigen nicht unwesentlich die wichtige Manövrierfähigkeit eines Eisbrechers. Der Versuch, auch Binneneisbrecher künftig mit Luft-Wasser-Düsen im vorderen Unterschiffsbereich auszurüsten, um die Reibung im Eis zu mindern, scheiterte daran, daß das dafür angesaugte, stark mit Eisschlamm durchsetzte Außenwasser die in Kiel- und Propellernähe angebrachten Seekästen trotz Wechselbetriebes nachhaltig verstopft.

Mit Verstellpropellern kann der Eisbrecher ohne Änderung der Motorendrehzahl und -richtung an die Ersatzerfordernisse und Widerstände im Eis durch Veränderung der Flügelstellung angepaßt und die Schubleistung optimiert werden.

Mit einer dem Propellerdurchmesser angepaßten Antriebsleistung lassen sich mittlere Eisverhältnisse weitestgehend ohne „Boxen“ und ohne Verwendung der Stampfanlage überwinden. Vorzug gebührt langsam bis mittelschnell laufenden Motoren, die unmittelbar auf die Welle arbeiten.

Ruderanlagen, bei Einschraubenschiffen (Einfachruder!), mit gutem Wirkungsgrad erhöhen die Leistungsfähigkeit eines Eisbrechers. Das gilt insbesondere auch für die Rückwärtsfahrt.

Flußeisbrecher müssen sich durch schnell umpumpbares Ballastwasser unterschiedlichen Wassertiefen zügig und optimal anpassen können, um einerseits bei niedrigen

Wasserständen den Tiefgang verkleinern und andererseits bei größeren Wassertiefen diesen vergrößern zu können, um den Propellerschub zu verbessern ohne dadurch die Wirksamkeit des Vorschiffes im Eis zu mindern. Gute Ballastiermöglichkeiten des Eisbrechers machen diesen im übrigen unabhängiger von begrenzten Brückendurchfahrtshöhen bei Tidehochwasser oder auf Kanälen.

6. Schlußbetrachtung

Seit rd. 100 Jahren wird mit Spezialschiffen das für die Deichsicherheit bedrohliche und für die Schifffahrt hinderliche Eis auf der Oberelbe bekämpft. Bei der Weiterentwicklung der Eisbrecher und der Eisbrechetechnik wurden die vorstehenden Gesichtspunkte beachtet.

Die Erfahrungen haben gezeigt, daß Voraussetzung für die Gefahrenabwehr auf der Oberelbe eine leistungsfähige Eisbrecherflotte ist und daß diese bei entsprechender Einsatzplanung für die Eisbekämpfung auf den Kanälen zwischen Lübeck (ELK) und Hannover (ESK und MLK) rechtzeitig zur Verfügung stehen kann, um dort die Schifffahrtsunterbrechung durch Eis so kurz wie möglich zu halten; ein für Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen wichtiger Faktor.

Es sei angemerkt, daß in der Vergangenheit immer wieder Überlegungen angestellt wurden, inwieweit auf schiffbaren Flüssen und Kanälen durch Warmwassereinleitungen Eisbehinderungen vermieden werden könnten, um den Eisbrecher überflüssig zu machen, bzw. Schifffahrtsunterbrechungen durch Eis erst gar nicht entstehen zu lassen. Anthropogene Einflüsse haben die Eisprobleme in Binnenwasserstraßen durchaus verringert. Dennoch zeigt sich für die Elberegion, daß die vorhandenen Warmwassereinleitungen immer nur punktuelle Entlastungen für die Eisbekämpfung durch Eisbrecher gebracht haben. Ein gemischter Kühlbetrieb von Kraftwerken, direkte Einleitung des Kühlwassers im Winter und Kühlturbetrieb im Sommer, ist bisher weitgehend an hohen Kosten, wie auch an standortbedingten technischen Gründen gescheitert.

Ökologische Gründe dürften die Nutzung von industrieller Abwärme zur Verringerung der Eisbildung auf Wasserstraßen in der Zukunft weiter einschränken. Schon geringe Erhöhungen der Wassertemperaturen durch eingeleitetes Kühl- oder industrielles Brauchwasser haben Auswirkungen auf Kleinlebewesen und Mikroorganismen. Dagegen sind die von Eisbrechern ausgehenden kurzzeitigen dynamischen und thermischen (Kühlwasser) Wirkungen auf Ökosysteme praktisch wirkungsneutral.

Unter den in der Zukunft gebotenen und zu erwartenden ökologischen Rahmenbedingungen wird der Eisbrecher als Instrument der Eisbekämpfung und in der Unterstützung der Schifffahrt im Eis seine Bedeutung behalten. Die Schifffahrt wird Verkehrsunterbrechungen durch Eis auch in der Zukunft hinnehmen müssen. Durch die Bereitstellung ausreichender Eisbrecherkapazitäten lassen sich diese so kurz wie möglich halten. Für die in diesem Aufsatz behandelten Wasserstraßenbereiche sind die Voraussetzungen dafür erfüllt.

Abteilung I

Binnenwasserstraßen und Binnenhäfen

(für gewerbliche und Freizeitschifffahrt)

zu Thema 3:

Thema des deutschen Berichtes

Mehrzweckfunktionen der Wasserstraßen

- Teil 1: Einführung in die Mehrzweckfunktionen der Wasserstraßen
- Teil 2: Rechnerische Bewertung der wirtschaftlichen Bedeutung von Wasserstraßen auf andere Gebieten als der Schifffahrt
- Teil 3: Hochwasserkontrolle auf befahrbaren Wasserstraßen
- Teil 4: Ökologische Entwicklungs- und Unterhaltungspläne für Wasserstraßen

Berichterstatter:

- Teil 1: Baudirektor D. Haendel, Bundesverkehrsministerium, Bonn
- Teil 2: Baudirektor V. Orlovius, Zentralkommission für die Rheinschifffahrt, Straßburg
- Teil 3: Baudirektor H. Engel, Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz
- Teil 4: Oberregierungsrat S. Kolb, Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz

Teil 1

Einführung in die Mehrzweckfunktionen der Wasserstraßen

Binnengewässer, die als Binnenwasserstraßen genutzt werden, sind zunächst einmal Teil des Gewässernetzes einer Landschaft. Als solche sind sie aquatische Großbiotope, die im Naturhaushalt folgende wichtige Funktionen erfüllen:

- Sicherstellung der oberirdischen Speicherung und des oberirdischen Abflusses im Rahmen des globalen Wasserkreislaufs zwischen Niederschlag und Verdunstung.
- Unverzichtbarer Lebensraum für die aquatische Süßwasserfauna und -flora.
- Trinkwasserversorgung als unverzichtbare Lebensgrundlage für einen großen Teil der Fauna – einschließlich des Menschen.

Ausgehend von Nutzungen zur Befriedigung von Elementarbedürfnissen hat die Menschheit schon in frühesten Entwicklungsstufen mit der zivilisatorischen und technischen Nutzung der Binnenwässer begonnen. Durch technische und gesellschaftliche Entwicklung sind dabei folgende Nutzungen entstanden:

- Transport von Gütern und Personen durch Flößerei und Schifffahrt.
- Ausleitung von Wasser für Trink-, Bewässerungs- und Prozeßwasserversorgung in abgelegenen Mangelgebieten.
- Nutzung von Uferbänken und Talauen für Siedlungen durch Abflußregelungen und Hochwasserfreilegungen (Eindeichungen).
- Vorflut für Gebrauchswasser.
- Entsorgung von Zivilisationsabfällen auch unter Nutzung natürlicher Abbauprozesse im Gewässer.
- Energienutzung des fließenden Wassers oder des Gefälles gestauten Wassers.
- Freizeitnutzungen wie Schwimmen, Wassersport, Uferwanderwege.

In den vorindustriellen Gesellschaften sind die für den Transport von Gütern und Personen nutzbaren Binnengewässer – die Wasserstraßen – häufig entscheidende Voraussetzung für staatliche Organisationen. Vergleichbare großräumige Landverkehrsnetze sind nur mit erheblich höherem Aufwand herstellbar, zu unterhalten und zu sichern. Daher hat die verkehrliche Nutzung von Binnengewässern gegenüber anderen zivilisatorischen Nutzungen zunächst hohe Priorität.

Im Zuge des technischen Fortschritts verlieren die Wasserstraßen ihre Vormachtstellung durch die Konkurrenz sich verdichtender Land- und Luftverkehrswege. Parallel hierzu bewirkt der technische Fortschritt, daß andere zivilisatorische Nutzungen in steigendem Maße die qualitativen und quantitativen Ressourcen der Binnengewässer beanspruchen.

Heute ist bereits für viele Regionen der Erde ein Grenzentwicklungsstand erkennbar, wo die vielfältigen Gewässernutzungen so ausgeübt werden, daß einerseits wichtige Funktionen im Naturhaushalt erheblich beeinträchtigt sind und andererseits die Nutzungen in einen gegenseitigen Verdrängungswettbewerb treten.

Bei einer solchen Sachlage ist es wichtig, für die Verkehrsnutzung der Binnengewässer folgendes zu erkennen:

- Die historische Betrachtung zeigt, daß die Nutzung der Binnengewässer als Wasserstraßen grundsätzlich mit den wichtigen Funktionen der Gewässer im Naturhaushalt vereinbar sind. Bereits eingetretene Fehlentwicklungen können ökologisch vertretbar korrigiert werden.
- Eine in die aquatische Landschaft verträglich eingepaßte Wasserstraße ist im ökologischen Vergleich den Land- und Luftverkehrswegen überlegen.

- In der Konkurrenz zu anderen Gewässernutzungen muß die Wasserstraßennutzung heute ihre Ansprüche an den Möglichkeiten des Naturhaushaltes einerseits und den Forderungen der anderen Nutzungen messen. Maßstab hierfür sollten volkswirtschaftliche Nutzen-Kosten-Vergleiche sein. Bei den sich daraus ergebenden Entscheidungen werden Wasserstraßennutzungen in vielen Fällen Einschränkungen zugunsten des Naturhaushaltes oder anderer Nutzungen hinnehmen müssen.

Für eine ausgewogene Verteilung eines begrenzten Niedrigwasserabflusses auf vielfältige Konkurrenznutzen wurde im Arbeitsbericht September 1988 des Ad-hoc-Arbeitskreises der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser „Grundsatzfragen zur Definition von Schwellenwerten im Niedrigwasserbereich“ (noch nicht veröffentlicht) ein methodischer Lösungsansatz erarbeitet.

Teil 2

Rechnerische Bewertung der wirtschaftlichen Bedeutung von Wasserstraßen auf anderen Gebieten als der Schifffahrt

- **Bewertung der außerverkehrlichen Funktionen**

Zusammenfassung

Die Bewertung von Wasserstraßenprojekten mittels Nutzen-Kosten-Analyse ist heutzutage Voraussetzung für deren Realisierung. Während die Bewertung von Verkehrsnutzen eines Wasserstraßenprojektes ohne weiteres möglich ist, stößt die Bewertung von verkehrsfremden Nutzen aus Wasserkraft, Hochwasserschutz, wasserwirtschaftlichen Vorteilen und Freizeitangeboten noch auf prinzipielle Schwierigkeiten. Bisherige Untersuchungen haben jedoch gezeigt, daß dadurch die Ergebnisse der Untersuchungen kaum beeinflusst wurden, weil die außerverkehrlichen Nutzenanteile nur gering waren.

Im folgenden werden Ansätze zur monetären Bewertung außerverkehrlicher Vorteile von Wasserstraßenprojekten unter Anwendung des Alternativkostenprinzips aufgezeigt. Wesentlich ist hierbei das Finden der zutreffenden nächstkostengünstigsten Alternativen.

Zur Bewertung von Wasserkraftnutzen kommen als Alternativen thermische Kraftwerke oder Energieeinsparmaßnahmen infrage. Bei Nutzen aus Hochwasserschutz ist zu berücksichtigen, daß Hochwasserereignisse stochastische Vorgänge sind und daher eine Häufigkeitsverteilung der Hochwässer bekannt sein muß.

- In der Konkurrenz zu anderen Gewässernutzungen muß die Wasserstraßennutzung heute ihre Ansprüche an den Möglichkeiten des Naturhaushaltes einerseits und den Forderungen der anderen Nutzungen messen. Maßstab hierfür sollten volkswirtschaftliche Nutzen-Kosten-Vergleiche sein. Bei den sich daraus ergebenden Entscheidungen werden Wasserstraßennutzungen in vielen Fällen Einschränkungen zugunsten des Naturhaushaltes oder anderer Nutzungen hinnehmen müssen.

Für eine ausgewogene Verteilung eines begrenzten Niedrigwasserabflusses auf vielfältige Konkurrenznutzen wurde im Arbeitsbericht September 1988 des Ad-hoc-Arbeitskreises der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser „Grundsatzfragen zur Definition von Schwellenwerten im Niedrigwasserbereich“ (noch nicht veröffentlicht) ein methodischer Lösungsansatz erarbeitet.

Teil 2

Rechnerische Bewertung der wirtschaftlichen Bedeutung von Wasserstraßen auf anderen Gebieten als der Schifffahrt

– Bewertung der außerverkehrlichen Funktionen

Zusammenfassung

Die Bewertung von Wasserstraßenprojekten mittels Nutzen-Kosten-Analyse ist heutzutage Voraussetzung für deren Realisierung. Während die Bewertung von Verkehrsnutzen eines Wasserstraßenprojektes ohne weiteres möglich ist, stößt die Bewertung von verkehrsfremden Nutzen aus Wasserkraft, Hochwasserschutz, wasserwirtschaftlichen Vorteilen und Freizeitangeboten noch auf prinzipielle Schwierigkeiten. Bisherige Untersuchungen haben jedoch gezeigt, daß dadurch die Ergebnisse der Untersuchungen kaum beeinflußt wurden, weil die außerverkehrlichen Nutzenanteile nur gering waren.

Im folgenden werden Ansätze zur monetären Bewertung außerverkehrlicher Vorteile von Wasserstraßenprojekten unter Anwendung des Alternativkostenprinzips aufgezeigt. Wesentlich ist hierbei das Finden der zutreffenden nächstkostengünstigsten Alternativen.

Zur Bewertung von Wasserkraftnutzen kommen als Alternativen thermische Kraftwerke oder Energieeinsparmaßnahmen infrage. Bei Nutzen aus Hochwasserschutz ist zu berücksichtigen, daß Hochwasserereignisse stochastische Vorgänge sind und daher eine Häufigkeitsverteilung der Hochwässer bekannt sein muß.

Für wasserwirtschaftliche Verbesserungen wurden zahlreiche Ansätze vorgeschlagen wobei alternative Maßnahmen und Projekte zur Wassergüteverbesserung und Trinkwasseraufbereitung in Ansatz kamen. Der Ansatz von Freizeitnutzen kann ebenfalls auf verschiedenen Wegen erfolgen, so z. B. über projektinduzierte Benutzertage oder die Gewässergüte, jedoch sind die Ergebnisse noch weitgehend unbefriedigend.

Inhalt

1. Einführung	43
2. Grundsätzliches zur Bewertung außerverkehrlicher Funktionen	44
3. Bewertung verkehrsfremder Funktionen	45
3.1 Energieerzeugung aus Wasserkraft	45
3.2 Hochwasserschutz	47
3.3 Wasserwirtschaftliche Verbesserungen	48
3.4 Freizeitgestaltung	50

Literatur

1. Einführung

Die Bewertung der Wirtschaftlichkeit eines Wasserstraßenprojektes ist heutzutage unabdingbare Voraussetzung für seine Realität. Hierzu dient die Nutzen-Kosten-Analyse als allgemein anerkanntes Instrumentarium der modernen staatswirtschaftlichen Entscheidungslehre. In ihr wird versucht, den als Entscheidungskriterium fehlenden Marktmechanismus dadurch zu ersetzen, daß alle reellen Nutzen und Kosten einer Maßnahme in meß- und vergleichbare Größen — meist monetärer Art — ausgedrückt werden und nach bestimmter Methodik zueinander in Beziehung gesetzt werden.

Im Bereich der Bundeswasserstraßen der Bundesrepublik Deutschland wurden z. B. sämtliche Erweiterungsinvestitionen im Rahmen der Bundesverkehrswegeplanung überprüft und monetär bewertet. Das Verfahren und die angewandte Methode wurde bereits 1979 vorgestellt [1].

Auf der Nutzenseite dieser Bewertungen wurden fast ausschließlich **verkehrsabhängige** Nutzenbeiträge berücksichtigt, wie Ersparnisse an Schiffsvorhalte-, Betriebs- und Treibstoffkosten. Es zeigte sich, daß bei den betrachteten Projekten hierdurch bereits rund 95% des Gesamtnutzens erfaßt wurde.

Nutzen durch **außerverkehrliche** (verkehrsfremde) Funktionen des zu bewertenden Projektes wurde meistens nicht direkt ermittelt, weil diese Komponenten im Verhältnis zu den verkehrsabhängigen Nutzenkomponenten vernachlässigbar klein waren. Das galt für die meisten Projekte wie z.B. Vertiefung einer vorhandenen Wasserstraße (Mittelrhein, Mosel) oder Vergrößerung vorhandener Kanalquerschnitte. Dagegen können bei der Neuanlage oder Stauregelung von Wasserstraßen außerverkehrliche Funktionen große Nutzenbeiträge liefern.

2. Grundsätzliches zur Bewertung außerverkehrlicher Funktionen

Die wichtigsten Komplexe außerverkehrlicher Funktionen an Wasserstraßen ergeben sich wie folgt

- Energiegewinnung aus Wasserkraft
- Hochwasserschutz
- Wasserwirtschaftliche Verbesserungen
- Freizeitmöglichkeiten.

Nicht betrachtet werden im Rahmen dieser Erörterung die vielfältigen Ansätze zur Bewertung des Umweltschutzes, weil diese Verfahren meist nichtmonetäre Grundlagen haben.

Die (monetäre) Bewertung der durch diese Funktionen entstehenden Vorteile kann erfolgen über

- die erzielbaren Erlöse
sowie
- das Alternativkostenprinzip.

Die Nutzenermittlung über erzielbare Erlöse ist methodisch gesehen einfach, in praxi meist jedoch nicht realisierbar, da ein Marktmechanismus nicht vorhanden ist. Auch die Methode der individuellen Zahlungsbereitschaft (willingnes-to-pay), bei der versucht wird über Quasiumfragen die Zahlungsbereitschaft für Vorteile, z. B. für einen Hochwasserschutz zu ermitteln, führt kaum zu brauchbaren Ergebnissen.

Im **Alternativkostenprinzip** wird die nächstkostengünstigste Alternative betrachtet, die bei Nichtrealisierung des bewerteten Projektes zur Ausführung kommen würde und die gleichen Planungsziele erfüllen würde. Die eingesparten Kosten dieser Alternative werden als Nutzen angesetzt. Daraus folgt z. B., daß, wenn ein Projekt wirtschaftlich sein soll, seine Kosten kleiner als die der nächstgünstigsten Alternative sein müssen.

Unter dem Begriff Kosten sind sämtliche Auszahlungen (z. B. Bau, Betrieb, Unterhaltung, Abbruch) eines bestimmten Betrachtungszeitraumes, z. B. der Lebensdauer eines Projektes, abdiskontiert auf einen Gegenwartswert (Bauwert), zu verstehen.

Das Problem bei der Anwendung des Alternativkostenprinzips liegt darin, das Spektrum möglicher realistischer Alternativen mit ihren Kosten zu ermitteln. Um keinen Scheinnutzen zu errechnen, ist für die Auswahl der nächstkostengünstigsten Alternative ein strenger Maßstab erforderlich. Immer muß auch die Alternative „without“ (ohne Maßnahme) betrachtet werden. Dabei muß der Planungsaufwand durch Beschränkung der Alternativenanzahl in Grenzen gehalten werden.

Beispiel für die Anwendung von Alternativkosten:

1. Projekt: Bau eines Schiffahrtskanals

Alternativen für die projektrelevanten Güter:

- Eisenbahntransport
- gebrochener Verkehr Eisenbahn/Schiff
- Straßentransport

Nutzen: vermiedene Kosten der nächstkostengünstigsten Alternative.

2. Projekt: Wasserkraftwerk

Alternativen

- Anteil Kohlekraftwerk
- Anteil Kernkraftwerk
- Anteil Energieeinsparungsmaßnahmen.

Nutzen: vermiedene Kosten der nächstkostengünstigsten Alternative.

Besonders bei außerverkehrlichen Funktionen kommt es darauf an, die nicht immer leicht zu findende nächstkostengünstigste Alternative zu finden. Die Frage:

„Was passiert, was wird gemacht, wenn das Projekt nicht realisiert wird?“

muß objektiv und kreativ beantwortet werden. Dafür können die bekannten kreativen Problemlösungsmethoden (z.B. Brainstorming) angewendet werden.

3. Bewertung verkehrsfremder Funktionen

3.1 Energieerzeugung aus Wasserkraft

Der Gang der Bewertung wurde bereits skizziert. Eine derartige Bewertung wurde in der Bundesrepublik Deutschland 1982 im Rahmen der Untersuchung eines weiteren

Oberrhenausbau unterhalb von Iffezheim für ein Wasserkraftwerk von etwa 47 MW Nettoleistung untersucht [2].

Als Projektalternativen kamen in Betracht:

- Anteil Kernkraftwerk
- Anteil Steinkohlekraftwerk
- Anteil Braunkohlekraftwerk (revierfern).

Die Alternative – keine Maßnahme wurde ausgeschlossen, da zahlreiche Kraftwerksplanungen zeigten, daß ein grundsätzlicher Bedarf an zusätzlicher Energie bestand.

Für das Projekt sowie die Alternativen wurden ermittelt bzw. geschätzt:

- Investitions-, Anlage- und Beseitigungskosten
- Betriebs- und Unterhaltungskosten
- Brennstoff-, Aufbereitungs- und Deponiekosten
- Energiefortleitungskosten
- Zusatzkosten für Spitzenlastbereich.

Tabelle 1
Kostenbarwerte (Stand 1982) in Mill. DM
für 47 MW Nettoleistung

	Wasser- Kraftwerk	Alternativen		
		Kernkraft	Braunkohle	Steinkohle
1. Investition, Abbruch, Erneuerung	183	100	61	67
2. Brennstoff	–	128	206	525
3. Betrieb/Unterhaltung ...	72	54	50	74
4. Fortleitung	–	–	40	–
5. Spritzenlast	–	24	24	24
Summe	255	306	380	690

Tabelle 1 zeigt einzelne Kostenkomponenten der Alternativen, kapitalisiert über einen Zeitraum von 90 Jahren für eine Nettoleistung von 47 MW, jedoch für das Wasserkraftwerk ohne Maßnahmen für den Gewässeraufstau (Stauanlage mit Wehr und Dämmen), da diese nicht aus Gründen der Wasserkraftgewinnung ausgeführt werden sollten und entsprechende andere Nutzenkomponenten ergaben.

Unter diesen Randbedingungen wurde das Kernkraftwerk die nächstkostengünstigste Alternative zur Wasserkraft. Im Rahmen der Wirtschaftlichkeitsstudie wurde daher die Kostendifferenz

Kernkraftwerk/Wasserkraftwerk = 306 - 255 = 51 Mio. DM

als Nutzen der Staustufe durch Wasserkraftgewinnung berücksichtigt. Die Rechnung zeigte dabei, daß die Anlage einer Staustufe nur aus Gründen der Energiegewinnung aus wirtschaftlicher Sicht nicht vertretbar war.

3.2 Hochwasserschutz

Auch der Nutzen eines Hochwasserschutzes ist mittels Alternativkostenprinzip angedeutet und bei verschiedenen Wasserstraßenprojekten, bei denen Seitendämme oder Deiche errichtet wurden, auch ermittelt worden.

Auch hier muß die nächstkostengünstigste Alternative erst gefunden werden. Wird z.B. ein Seitendamm bei der Stauregulierung eines Flusses erhöht, so kann der Nutzen dieser Dammhöherung ermittelt werden durch Betrachtung der Alternativen

- keine Maßnahme (Schadeninkaufnahme)
- Hochwasserückhaltung
- Hochwasserumleitung usw.

Die Methode der Nutzenermittlung im Hochwasserschutz bei der Alternative „keine Maßnahme“ hat Schmidtke [3] ausführlich beschrieben.

Hochwasserereignisse sind als nicht determinierte, sondern stochastische Vorgänge nicht vorhersagbar, jedoch lassen sich Wahrscheinlichkeitsaussagen über künftige Wirkungen machen. Daher ist mit einem sog. Schadenserwartungswert (Risiko) zu arbeiten, indem

- die zu erwartende Häufigkeit (= Wahrscheinlichkeit) des Eintritts des zum Schaden führenden Hochwassers sowie
- das Schadensausmaß (Schadenshöhe) berücksichtigt werden.

Vereinfacht gilt

Schadenserwartungswert = Schadenshöhe x Wahrscheinlichkeit

Für den Berechnungsgang muß bekannt sein (siehe Abb. 1)

1. die Wahrscheinlichkeitsverteilung der Hochwasserscheitelabflüsse $p(Q)$ (Ereignisse pro Jahr)
2. die Schadensfunktion $s(Q)$ (DM pro Hochwasserereignis)

Der gesamte Schadenserwartungswert ergibt sich dann zu

$$S = \int_{HHQ} p(Q) \cdot s(Q) \cdot d(Q)$$

Die Schwierigkeit in der praktischen Berechnung liegt darin, daß eine Schadensfunktion für ein hochwassergefährdetes Gebiet nicht bekannt und in Abhängigkeit von der Hochwasserabflußgröße Q nur schwer zu ermitteln ist. Die hier beschriebene Berechnung berücksichtigt auch nur funktionale Zusammenhänge, nicht jedoch z.B. den Einfluß von Überflutungsdauer, Abflußsumme des Hochwassers (Feststofftransport) oder Fließgeschwindigkeit, ganz abgesehen von der Außerachtlassung menschlicher und ideeller Werte.

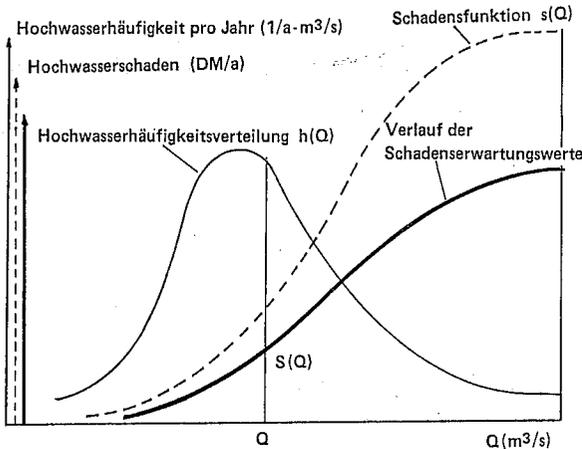


Abb. 1

Berechnung des Hochwasserschadensersparungswertes

3.3 Wasserwirtschaftliche Verbesserungen

Das Anwendungsgebiet ist vielfältig, die erforderlichen Methoden heterogen, jedoch sind Bewertungen als verkehrsfremde Funktionen bisher wenig erprobt. In [4] wurden verschiedene Wirtschaftlichkeitsüberlegungen von Flußgebietsmodellen beschrieben, auch Wassermengen und -gütermodelle.

Folgende Nutzenkomponenten der Wasserwirtschaft treten auf:

1. Wassermengenverbesserung = z.B. Niedrigwasseranreicherung
2. Wassergüteverbesserung: z.B. Trink- und Brauchwasserversorgung
3. Fischerei

Eine Wassermengenverbesserung bewirkt zu Wassermangelzeiten eine Hebung des Wasserstandes im Gewässer, sei es durch erhöhten Niedrigwasserabfluß oder Aufstau. Damit ist in Wassermangelzeiten eine größere Entnahme von Trinkwasser, für Industrie, Kraftwerke und Landwirtschaft möglich. Vorausgesetzt der Wasserbedarf ist vorhanden, können nach dem Alternativkostenprinzip die Kosten alternativer Wasserbeschaffungs- oder Einsparungsmaßnahmen in Ansatz gebracht werden, z.B. für die Trinkwasserbereitstellung Bau von

- Leitungen für Fremdwasser
- Trinkwassertalsperre

oder für thermische Kraftwerke zusätzliche Kühlturmeinrichtungen. Wassergüteverbesserungen sind nur in Ansatz zu bringen, wenn durch die wasserbaulichen Maßnahmen die Wassergüte quantitativ meßbar (z.B. über BSB-Werte, Güteklasse des Gewässers) verbessert wird, z.B. durch erhöhten Sauerstoffeintrag bei Vergrößerung der Wasseroberfläche oder bei Wehrüberfällen. Die Nutzenkomponente wurde z.B. für das Flußmodell Neckar wie folgt gewonnen:

1. Ermittlung der Bereiche des Bedarfs und der Aufbereitung des Wassers
2. Alternative Kosten der Bedarfsdeckung ohne Projekt
3. Kosten der Bedarfsdeckung mit Projekt
4. Kostendifferenz der Bedarfsdeckung, hierbei sind ersparte Kosten bei Projektdurchführung als Nutzen anzusetzen.

Dabei dient als Grundlage die empirisch gefundene Abhängigkeit der Reinigungskosten z.B. vom BSB₅-Wert bzw. von der Güteklasse (Abb. 2, nur variable Kosten). Eine andere Möglichkeit ist die Alternative Bau weiterer (kommunaler und industrieller Kläranlagen), von denen Kostenanteile bei Projektrealisierung eingespart werden können.

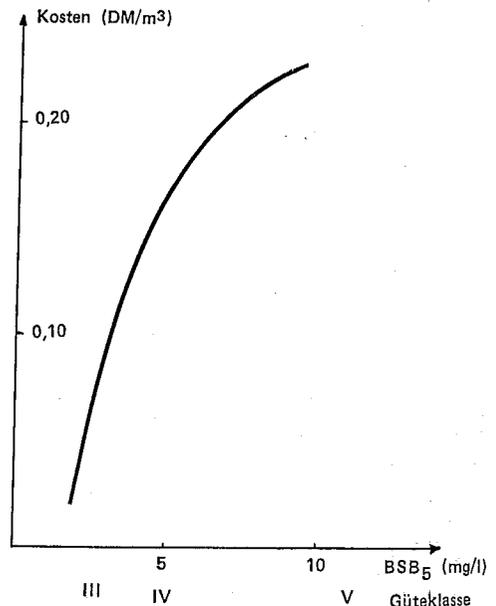


Abb. 2
Reinigungskosten für die Trinkwasseraufbereitung aus Flusswasser in Abhängigkeit von der Gewässergüte (1977)

Zur Berücksichtigung der Fischerei wurden verschiedene Ansätze gemacht. So wurde z.B. die Zusammensetzung des Fischbestandes in Abhängigkeit von der BSB-Konzentrations/Güteklasse des Gewässers abgeschätzt, z.B.

Güteklasse IV/V Nutzfischanteil 20%

Güteklasse II/III Nutzfischanteil 60%

Hierdurch konnten alternative Mengenschätzungen vorgenommen und damit ein Nutzenansatz gewonnen werden.

3.4 Freizeitgestaltung

Nutzenansätze zur Berücksichtigung von Freizeiteffekten sind von der Methodik her gesehen noch vielfältiger als die monetäre Bewertung wasserwirtschaftlicher Aspekte. Zahlreiche Vorgehensweisen sind hierfür vorgeschlagen und versucht worden, ein allgemein anerkannter geschlossener Ansatz kann jedoch hier nicht vorgestellt werden.

Entscheidendes Problem ist die Abgrenzung derjenigen Freizeitnachfrage, die ursächlich mit dem Projekt ist. So wurden projektinduzierte Benutzertage als reeller Maßstab für den primären Freizeitnutzen gewählt. Auch hier kann das Alternativkostenprinzip zugrundegelegt werden, indem die Freizeitnutzung mit und ohne Projekt betrachtet wird. Der methodischen Exaktheit des Verfahrens stehen erhebliche empirische Probleme gegenüber. Schwer angebbbar ist insbesondere der Umfang alternativer Freizeitaktivitäten ohne Projekt.

Folgende Freizeitaktivitäten können in Betracht kommen:

- wassergebunden
 - Angeln
 - Baden, Schwimmen
 - Bootfahren (Paddel-, Segel-, Motorboot usw.)
 - Personenschiffahrt
- durch Wassernähe gefördert
 - Wandern
 - Picknick
 - Camping

Je nach Wasserbauprojekt werden einzelne Freizeitkomponenten zu berücksichtigen sein.

Freizeitmöglichkeiten am Wasser sind knapp, die Nachfrage danach groß. Daher kann bei neuen Projekten eine induzierte Nachfrage angenommen werden, die ehemals latente Nachfrage wird infolge geringerer Transportaufwendungen geringer. Um den so entstehenden Nutzen abzuschätzen, müssen ermittelt werden

- projektinduzierte Benutzertage
- variable Transportkosten
- Wegstreckenverkürzung.

Darüber hinaus ist der Ansatz von Zeitersparnissen erwogen worden (z.B. 10 DM/Pkw-Stunde). Sodann ist der Verlauf der Nachfragekurve zu schätzen. Bei linearer Nachfragekurve ergibt sich z.B. ein Freizeitnutzen dadurch, daß infolge des Projekts die Anfahrt zum Freizeitrevier verkürzt wird zu

$$\frac{1}{2} \times (\text{Benutzertage} \times \text{durchschnittliche Transportkostensparnis in DM/Tag})$$

(Konsumentenrente zwischen Nachfragekurve und Preisgeraden)

beziehungsweise zu

$$\frac{1}{2} \times (\text{Benutzertage} \times \text{Zeitersparnis in DM/Tag})$$

Eine andere Bewertungsmethode besteht darin, die Freizeitform im Zusammenhang mit der Gewässergüte bzw. dem BSB-Schwellenwert anzugeben, z.B. für Motorbootfahren:

Schwellenwert	8 mg/1 BSB
Segeln	6 mg/1
Bootfahren, Angeln	4 mg/1
Wasserski	3 mg/1
Baden	2,25 mg/1.

Die Abhängigkeit von nur einer Monovariablen bleibt problematisch. Daher ist auch versucht worden, für die Nutzenberechnung mehrere Güteparameter anzuwenden.

Literatur

- [1] Ernst-Lohrberg-Mester-Orlovius
The use of cost-benefit-analysis for investments in inland-waterways
Bulletin de l'AIPCN, Vol. III/1979 N° 38
- [2] Bundesminister für Verkehr:
Untersuchungen zur Frage der Sohlenerosion des Oberrheins
– Schlußbericht 1981
- [3] Schmidtke:
Nutzenermittlung im Hochwasserschutz
Versuchsanstalt für Wasserbau der ETH Zürich
Mitteilung Nr. 18/1985
- [4] Studie über Wirtschaftlichkeitsüberlegungen in Flußmodellen
Veröffentlicht vom Bundesministerium des Innern 1977
- [5] Entwicklung eines praktischen Verfahrens zur Messung und Bewertung
regionaler Struktureffekte als Folge von Verkehrswegef Investitionen
DWIF München 1975

Teil 3**Hochwasserschutz an Schiffahrtsstraßen****Zusammenfassung**

Es besteht die Notwendigkeit, die Ziele des Hochwasserschutzes einerseits und der Verkehrswasserwirtschaft andererseits miteinander zu verbinden.

Im Zusammenhang mit Maßnahmen zur Verbesserung oder Sicherstellung des Schiffsverkehrs ergab sich durch Wegnahme von Retentionsraum, durch Glättung der Gerinnerrauheiten und durch Verkürzung der Fließwege häufig eine Wellenbeschleunigung. Sie führt zu anderen Überlagerungen mit zuströmenden Nebenflüssen und indirekt zu teilweise empfindlichen Hochwasserverschärfungen.

Es ist sinnvoll, das Problem durch Schaffung von Retentionsraum dort zu bewältigen, wo es entstanden ist.

Am Beispiel des Oberrheins werden Möglichkeiten gezeigt, wie dies geschehen kann. Insbesondere wird der Wiederanschluß früherer Überflutungsgebiete an das Flußregime durch natürliche Flutung diskutiert. Der Flächenbedarf bei gesteuerter und ungesteuerter Retention wird quantifiziert und miteinander verglichen.

Inhalt

1. Allgemeines	52
2. Steuerbare Schutzmaßnahmen gegen ausbaubedingte Hochwasserverschärfungen am Oberrhein	53
3. Hochwasserschutz durch ungesteuerten Einsatz früherer Überflutungsflächen	55

Literatur**1. Allgemeines**

Schon in frühester Zeit waren Flüsse Verkehrsadern. Häufig konnten sie von Natur aus befahren werden und bildeten insofern von jeher Anziehungspunkte für Siedlungen.

Alle Flüsse dienen jedoch zuerst der Vorflut und führen in dieser Eigenschaft immer wieder auch Hochwasser. Insofern bestand und besteht die Notwendigkeit, die Ziele des Hochwasserschutzes einerseits und der Verkehrswasserwirtschaft andererseits miteinander zu verbinden.

Vordergründig ist die Verknüpfung dieser Ziele meistens gelungen. Im Zusammenhang mit Maßnahmen zur Verbesserung oder Sicherstellung des Schiffsverkehrs oder parallel dazu wurden Hochwasserschutzbauten errichtet, die den direkten Anliegern in manchen Fällen die Hochwasserbedrohung vollkommen nehmen. Selten oder nie wurde in vergangenen Jahrhunderten und Jahrzehnten bedacht, daß durch Wegnahme von Retentionsraum, durch Glättung der Gerinnerauheiten und durch Verkürzung der Fließwege die Wellenabläufe nach unterstrom mehr oder weniger beschleunigt wurden. Diese Beschleunigung ergibt andere Überlagerungen mit zuströmenden Nebenflüssen und führt in erster Linie dadurch zu teilweise empfindlichen Hochwasserverschärfungen. Insgesamt gesehen sind die genannten Ursachen nur in der weitaus geringeren Anzahl durch verkehrswasserwirtschaftliche Maßnahmen bedingt. Da Schifffahrt jedoch gerade auf den bedeutenden und immer auf den größeren Flüssen stattfindet, wird die Beteiligung der die Schifffahrt ermöglichenden Behörden (und der häufig parallel tätigen Energiewirtschaft) an der Hochwasserverschärfung in der Bevölkerung deutlich und kritisch vermerkt. Die Wiederherstellung der Hochwasserschutzbedingungen aus der Zeit vor dem Flußausbau ist auch ein Anliegen der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung der Bundesrepublik Deutschland. – Dabei kann in Kenntnis der Wirkzusammenhänge nicht die Ausweitung und Erhöhung von Dammsystemen das Mittel der Wahl sein. Vielmehr ist es sinnvoll, das Problem durch Schaffung von Retentionsraum dort zu bewältigen, wo es entstanden ist.

Die Möglichkeit zur Realisation des Hochwasserschutzes durch Rückhaltung von Scheitelabflüssen wurde auch schon früher gesehen und verwirklicht.

So erreichte man in den Jahren 1807 bis 1827 in der Schweiz eine Dämpfung der Abflüsse der Linth durch deren Einleitung in den Walensee. Seit 1861 kann der Vierwaldstätter See durch Wehrregulierung aufgestaut werden. In den Jahren 1878 - 90 wurde die Aare in den Bieler See eingeleitet. Die Summe aller Maßnahmen dieser Art im Bereich des Einzugsgebietes des Rheins zwischen dem Bodensee und Basel hat deutliche Verringerungen der stromab laufenden Hochwasserscheitel ergeben.

2. Steuerbare Schutzmaßnahmen gegen ausbaubedingte Hochwasserverschärfungen am Oberrhein

Der Ausbau des Rheins zwischen Basel und Karlsruhe mit Staustufen hat zu einer Aufsteilung des Wellenablaufs auf dieser Strecke geführt. Die Aufsteilung der Welle führt zu einem schnelleren Ablauf des Hochwassers. Durch ungünstige Überlagerung der beschleunigten Hauptwelle mit den Nebenflußwellen stellen sich als Sekundäreffekt erhebliche HW-Verschärfungen ein.

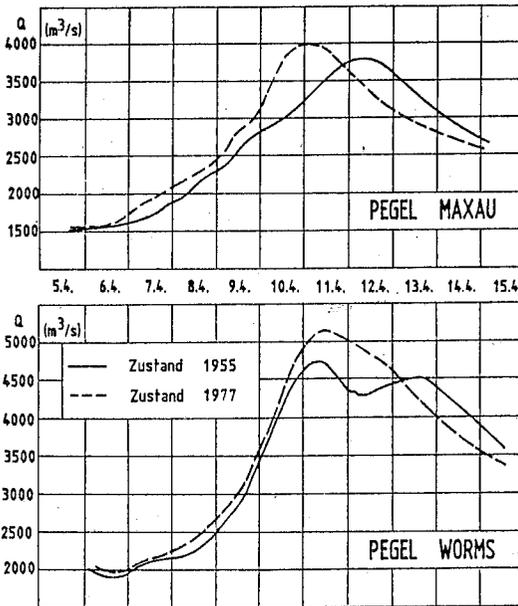


Abb. 1
Hochwasserganglinien des
Rheins im April 1983

Die Abbildung zeigt am Beispiel des Hochwasser-Ereignisses vom April 1983, wie sich der Wellenablauf an den Pegeln Maxau und Worms durch die Ausbaumaßnahmen nach 1950 geändert hat [1]. Dargestellt sind modellberechnete Ganglinien. Die durchgezogenen Linien ergeben sich aus dem Bettzustand des Rheins vor dessen Ausbau mit Staustufen (1955), die gerissenen Linien aus dem heutigen Zustand (seit 1977). Am Pegel Maxau zeigt sich eine augenfällige Änderung, wonach der Scheitel um ca. 1,5 Tage vorverlegt wurde. In Worm wird daraus vor allem eine Scheitelerhöhung mit einer Zusammenfassung der früher zwei Wellengipfel zu jetzt einem Scheitel.

Die internationale Hochwasserstudienkommission für den Rhein (HSK) hat inzwischen 1968 und 1978 nach Möglichkeiten gesucht, die durch den Ausbau des Rheins mit Staustufen entstandenen Scheitelerhöhungen wieder rückgängig zu machen.

Die Dämpfung der Hochwasserscheitel sollte mit möglichst geringem Retentionsvolumen hinter den Banndeichen erzielt werden. Die HSK hat hierzu eine Kombination von drei verschiedenen Retentionsansätzen empfohlen [2]:

- Sonderbetrieb der Rheinkraftwerke von Kembs bis Gerstheim.

Beim Sonderbetrieb der Rheinkraftwerke werden die üblicherweise über den Rheinseitenkanal bzw. die nachfolgenden Kanalschlingen abfließenden Wassermengen in das natürliche Rheinbett verlagert, was zu einem zeitverzögerten und durch Retention im Flußlauf verminderten Abfluß führt.

– Aufstau hinter Retentionswehren im Flußbett des Rheins.

Durch die Retentionswehre lassen sich nahezu beliebige Verringerungen des Durchflusses erzielen, d.h. die Retentionswirkung ist im Rahmen des verfügbaren, abflußabhängigen Stauvolumens frei steuerbar. Die Rückhaltungen erfolgen im regulären Flußbett.

– Überstau von zur Zeit hochwasserfreien Poldergebieten.

Durch den Überstau zur Zeit hochwasserfreier Polder werden alte Ausuferungsgebiete reaktiviert. Ihre Flutung erfolgt über steuerbare Einlaßbauwerke, deren Leistungsfähigkeit jedoch weitgehend von den hydraulischen Gegebenheiten abhängt.

Alle drei Retentionsformen sind nur in der Ausbaustrecke möglich. Am freifließenden Rhein können lediglich seitliche Rückhaltebecken zum Einsatz kommen. Für diese ist eine über steuerbare Einlaßbauwerke geregelte Flutung vorgesehen. Sie gestattet den gezielten Einsatz des Retentionsvolumens und damit eine günstige Nutzung des vorhandenen Schutz-Potentials. Die Rückhaltebecken sollen in Poldern angelegt werden, in Niederungsgebieten also, die vor Jahrzehnten zum Schutz gegen Hochwasser eingedeicht wurden. Der größte Teil der ausgewählten Polder liegt hinter Banndeichen. Er ist somit zur Zeit gänzlich hochwasserfrei. Bei den restlichen Gebieten handelt es sich um Sommerpolder, die auch jetzt nur durch Überlaufdeiche gegen kleinere (in den Sommermonaten auftretende) Hochwasser geschützt sind.

3. Hochwasserschutz durch ungesteuerten Einsatz früherer Überflutungsflächen

Die Bemühungen um die Reaktivierung zur Zeit hochwasserfreier Gebiete als flutbare Flächen haben zunächst zwischen den Behörden und den betroffenen Anliegern zu andauernden Diskussionen geführt. In zunehmendem Maße beteiligen sich an diesen Diskussionen allgemein ökologisch interessierte und im Umweltschutz engagierte Personen. Dabei wird intensiv um Lösungen gerungen, die es ermöglichen, bestehende Biotope zu schützen oder verlorengegangene Tier- und Pflanzenarten und -gemeinschaften zurückzugewinnen. Neben der ökologischen Flutung steuerbarer Retentionsräume (Teileinstau auch außerhalb von Hochwasserzeiten) wird die sogenannte Renaturierung vorgeschlagen. Sie soll darin bestehen, „die Winterdämme stellenweise zurückzuverlegen, also Teile der Altaue ungesteuert an das Wasserregime des Rheins anzuschließen“ [3]. Die Renaturierung soll als ökologische Alternative zu den bisher vorgeschlagenen Retentionsmaßnahmen einen Rückgewinn an Lebensraum Aue und günstige Auswirkungen auf die Grundwasserneubildung ergeben. Hydraulisch bedeutet sie die Reaktivierung früherer natürlicher Überschwemmungsflächen und die ungesteuerte Hochwasserretention.

Die Renaturierung bedingt gegenüber der Anlage gezielt einsetzbarer Rückhaltebecken einen Mehrbedarf an Fläche. In den mit Engagement und Emotionen geführten Diskussionen wird über diesen Flächenbedarf weitgehend spekuliert.

Zur Versachlichung der Debatte wurde durch Modellrechnungen der Mehrbedarf für zwei Bereiche am Oberrhein bzw. am Niederrhein rechnerisch ermittelt [4] und der Versuch unternommen, die gewonnenen Aussagen zu verallgemeinern. Dabei hat sich ergeben:

- Ein allgemein gültiger Faktor für den Mehrbedarf an Überschwemmungsfläche bei Renaturierung gegenüber gesteuerter Retention existiert nicht.
- Geometrische Eigenschaften des betroffenen Stromabschnitts sowie Form und Scheitelabflußhöhe der zu beeinflussenden Welle bestimmen den im einzelnen notwendigen Mehrbedarf.
- Für den besonders untersuchten Rheinabschnitt Worm – Kaub sind zur Dämpfung des HQ₁₀₀ steuerbare Retentionsbecken vorgeschlagen, die eine Fläche von ca. 48 km² bedecken. Bei Renaturierung dieser Becken müßte zur Erzielung einer vergleichbaren Scheitelminderung eine 5- bis 6mal größere Überflutungsfläche bereitgestellt werden (also mehr als 250 km²). – Bei Verminderung des zu erwartenden HQ₂₀₀ auf das frühere HQ₁₀₀ ist bei Renaturierung anstelle des Einsatzes gesteuerter Becken mit ca. 10facher Beckenfläche zu rechnen.
- Unter extremen Verhältnissen kann sich die bei Renaturierung notwendige Fläche in der Größenordnung des 20- bis 30fachen der für gesteuerten Einsatz notwendigen Beckenfläche ergeben. Ebenso sind Fälle denkbar, bei denen weniger als die doppelte renaturierte Beckenfläche ausreichende Wirkung entfaltet.

Literatur

- [1] Engel, H.:
Hochwasser 1983 im Rheingebiet bis Andernach.
Wasserbau-Mitteilungen der Technischen Hochschule Darmstadt,
Nr. 24 (1985), S. 11 – 29
- [2] Hochwasserstudienkommission für den Rhein: Schlußbericht
Bonn 1978 (Der Bundesminister für Verkehr)
- [3] Diester, E.:
Taschenpolder als Hochwasserschutzmaßnahmen am Oberrhein.
Geogr. Rdsch. 37 (1985), H. 5, S. 241 – 247
- [4] Engel, H. und Michael Mürlebach:
Hochwasserretention am Rhein (mögliche Maßnahmen und deren Auswirkungen), DGM 30 (1986), H. 2/3, S. 33 – 43

Teil 4

Ökologische Entwicklungs- und Unterhaltungspläne für Wasserstraßen

Zusammenfassung

Die Ansprüche an eine Wasserstraße als Gewässer und damit auch an die Art der Unterhaltung haben sich gewandelt. Neben die eigentliche Funktion als Verkehrsweg für Schiffe ist die Funktion des Gewässers als Lebensraum für Pflanzen und Tiere getreten. Es ist deshalb erforderlich, daß sich die Unterhaltungsarbeiten nicht nur nach technischen, sondern auch nach ökologischen Gesichtspunkten zu richten haben. Um diese Anforderungen zu gewährleisten, ist es erforderlich, auch für Wasserstraßen ökologische Entwicklungs- und Unterhaltungspläne zu erarbeiten. Nach der Abgrenzung des Bearbeitungsgebietes, das sich nicht nur auf die Wasserstraße beschränken darf, sondern auch die umgebenden Bereiche mit einbeziehen muß, sind im Rahmen von Voruntersuchungen umfangreiche Landschaftsdaten zu erfassen und auszuwerten. Neben den Standortfaktoren wie Boden, Klima, Abflußverhalten etc. stehen dabei Vegetation und Fauna im Vordergrund. Aufbauend auf diesen dabei gewonnenen Ergebnissen ist im Zuge der Erarbeitung eines Rahmenentwicklungsplanes ein Vernetzungsplan zu erarbeiten, in dem alle Wechselbeziehungen für Tiere und Pflanzen innerhalb des Gewässers und mit seiner Umgebung aufzuzeigen sind: Daneben sind allen Flächen in einem Funktionsplan Nutzungen bzw. Funktionen zuzuweisen. Neben der Schifffahrt können an einer Wasserstraße unter anderem Naturschutz, Landschaftsschutz, Erholung, Fischerei, Denkmalschutz, Land- und Fortwirtschaft sein. Diese Erkenntnisse dienen dann dazu, einen Entwicklungsplan zu erarbeiten, in dem durch entsprechende Gestaltungsmaßnahmen wie Uferstrukturierungsmaßnahmen, Flachwasserzonen, Auwaldbestände, Röhrichte, Halbtrockenrasen, Parallelwerke, Bühnen, Inseln etc. im Rahmen der Unterhaltung die Voraussetzung für die Entwicklung einer Vielzahl von Biotopen geschaffen werden. Zur Umsetzung dieser Vorgaben und Ziele aus dem Rahmenentwicklungsplan ist die Erarbeitung eines Unterhaltungs- bzw. Pflegeplanes erforderlich, der in Karte und Text flächenbezogene Aussagen zu den für eine bestimmte Entwicklung erforderlichen Unterhaltungsmaßnahmen trifft. Neben allgemeinen Pflegegrundsätzen zur Ufersicherung, Ufersanierung, Unterbringung von Baggergut, Mäharbeiten, Gehölzpflege, Betriebswegen etc., sind in einem zweiten Teil spezielle flächenbezogene Pflegeanweisungen aufzustellen, die die Entwicklung der Lebensräume zu den im Rahmenentwicklungsplan vorgegebenen Zielen sicherstellen sollen. Da jedoch in der Natur, bedingt durch die unterschiedlichen natürlichen oder anthropogenen Einflüsse, nicht immer sichergestellt werden kann, daß eine angestrebte Entwicklung auch eintritt, ist die Entwicklung der zu pflegenden und unterhaltenden Flächen einer Erfolgskontrolle zu unterziehen. Stellen sich dabei Abweichungen heraus, sind je nach Situation durch Fortschreibung der Pflegeanweisungen entweder Ziele oder die Unterhaltungsmaßnahmen in die entsprechende Richtung zu ändern. Unabhängig davon sollte jedoch generell nach maximal 10 Jahren der Pflegeplan überarbeitet werden, um der Entwicklung der Natur Rechnung tragen zu können.

Inhalt

1. Einführung	58
2. Abgrenzung des Bearbeitungsgebietes	59
3. Voruntersuchungen	59
4. Rahmenentwicklungsplan	59
4.1 Vernetzungsplan	59
4.2 Funktionsplan	60
4.3 Entwicklungsplan	62
5. Unterhaltungs- bzw. Pflegeplan	63
5.1 Allgemeine Pflegegrundsätze	64
5.2 Flächenbezogene spezielle Pflegeanweisungen	65
6. Laufzeit	67

Literatur**1. Einführung**

Die Ansprüche an eine Wasserstraße als Gewässer und damit auch an die Art der Unterhaltung haben sich in den letzten Jahren gewandelt. Früher wurden Wasserstraßen nach rein technischen Gesichtspunkten – Begradigung der Ufer, Verfüllung von Altarmen usw. – unterhalten. Belange der Landschaftspflege und der Landschaftsökologie – Erhaltung und Wiederherstellung von Lebensräumen für Pflanzen und Tiere im Wasser und an Land – wurden jedoch nur selten berücksichtigt. Dies brachte Störungen im Naturhaushalt und gleichzeitig einen Rückgang der Biotop- und Artenvielfalt mit sich. In den letzten Jahrzehnten hat sich jedoch die Erkenntnis immer mehr durchgesetzt, daß eine Wasserstraße nicht nur aus technischer Sicht zu sehen ist, sondern auch die Zusammenhänge biologischer Vorgänge stärker als bisher berücksichtigt werden müssen. Es ist deshalb erforderlich, daß die notwendigen Unterhaltungsmaßnahmen zum Erhalt von Leichtigkeit und Sicherheit des Schiffsverkehrs und für den Wasserabfluß so geplant und durchgeführt werden, daß die biologische Wirksamkeit der Landschaft, deren Erscheinungsbild und deren Erholungswert nicht nur erhalten, sondern auch – soweit irgendwie möglich – gefördert werden. Dabei ist darauf zu achten, daß die Arbeiten zeitlich und räumlich so durchgeführt werden, daß Flora und Fauna in und am Gewässer sowie in deren Umgebung möglichst wenig beeinträchtigt und für deren künftige Entwicklung die Voraussetzungen geschaffen werden.

Um diese Zielsetzung mit den für eine Wasserstraße notwendigen Unterhaltungs- und Pflegemaßnahmen in Einklang zu bringen und Entwicklungsmöglichkeiten für Flora und Fauna aufzuzeigen, ist es erforderlich, sogenannte ökologische Entwicklungspläne, bzw. Pflege- und Unterhaltungspläne zu erarbeiten.

2. Abgrenzung des Bearbeitungsbereiches

Zu Beginn der Arbeiten ist der eigentliche Bearbeitungsbereich festzulegen. Dieser sollte dabei zweckmäßigerweise längere Wasserstraßenabschnitte, wenn nicht eine Wasserstraße in ihrer gesamten Länge umfassen, um so die ökologischen Zusammenhänge besser erfassen und bewerten zu können. Aus diesem Grunde ist es auch erforderlich, in der Breite nicht nur die häufig eng begrenzten Eigentumsverhältnisse zu berücksichtigen, sondern darüber hinaus, soweit eine Beeinflussung zu erwarten ist, auch den Talraum mit einzubeziehen. Dies bedeutet, daß in Abstimmung mit allen Unterhaltungsträgern eine Festlegung von Geltungsbereichen durchgeführt werden muß.

3. Voruntersuchungen

Um ökologische Gesichtspunkte bei der Unterhaltung von Wasserstraßen entsprechend berücksichtigen zu können, ist die Kenntnis umfangreicher Landschaftsdaten erforderlich. Neben der Auswertung vorliegender Untersuchungen, Bestandserfassungen, Aufzeichnungen etc., über Boden, Abflußverhalten, Gewässergüte, Schifffahrt, Flora, Fauna etc., dürfte es in der Regel sowohl bei der Vegetation als auch bei der Fauna notwendig sein, zusätzliche Untersuchungen durchzuführen. Bei der Vegetation ist das Vorliegen einer aktuellen flächendeckenden Erfassung unumgänglich. Bei der Fauna sind zumindest Aussagen zu den Artengruppen, wie z.B. Vögel, Amphibien, Reptilien, Fische etc., nötig, die sowohl in lokaler als auch in zeitlicher Hinsicht durch die Unterhaltungsmaßnahmen gefördert, in den meisten Fällen jedoch in ihrem Bestand beeinträchtigt werden können. Die Untersuchungen dürfen sich hierbei nicht nur auf eine Bestandaufnahme beschränken, sondern müssen auch Aussagen über Wechselbeziehungen zwischen Brut- und Nahrungsbereichen bzw. Lebens- und Laichgebieten etc. aufzeigen. Langfristige Untersuchungen sind einmalige Bestandsaufnahmen vorzuziehen, da nur so ein ausreichender Überblick über die Tierwelt zu bekommen ist.

4. Rahmenentwicklungsplan

Als Voraussetzung für die eigentlichen Pflegepläne mit den entsprechenden Pflegeanweisungen ist es erforderlich, sogenannte Rahmenentwicklungspläne zu erarbeiten. In den Rahmenentwicklungsplänen sind unter Berücksichtigung der Interessen der Schifffahrt die Entwicklungsmöglichkeiten zur Verbesserung der ökologischen Situation für eine Wasserstraße und ihre angrenzenden Randbereiche aufzuzeigen.

4.1 Vernetzungsplan

Um Auswirkungen von Unterhaltungsmaßnahmen auf Entwicklungen von Lebensräumen und Möglichkeiten zur Verbesserung der ökologischen Situation durch die Schaffung neuer Lebensräume abschätzen zu können, ist die Erarbeitung eines so-

genannten Vernetzungsplanes erforderlich. In ihm sind im Rahmen von Biotopverbundsystemen alle Vernetzungen zwischen den Lebensräumen innerhalb eines Gewässers, zwischen Gewässer und umgebendem Landbereich und zwischen den verschiedenen Landbereichen selbst zu erfassen und aufzuzeigen. Hierzu zählen Beziehungen und Kontaktzonen unter anderem zwischen Überwinterungsquartieren und Laichplätzen von Amphibien, Brut- und Nahrungsbiotopen von Vögeln und Rückzugsräumen für im Wasser lebende Tierarten. Nur durch die Kenntnisse über solche Beziehungen lassen sich durch eine Steuerung von Zeitpunkt und Art der Unterhaltungsmaßnahmen Lebensräume für Tierarten, die vom Aussterben bedroht sind, erhalten bzw. neu schaffen.

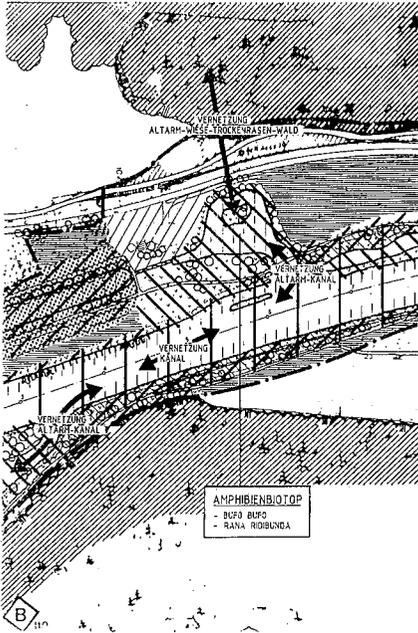


Abb. 1: Vernetzungsplan

4.2 Funktionsplan

Eine weitere Grundlage zur Erstellung eines Rahmenentwicklungsplanes ist die Erarbeitung eines Funktionsplanes. Unter Zugrundelegung der technischen Erfordernisse für die Schifffahrt, vorhandener Landschaftsrahmenpläne, Landschaftspläne, landschaftspflegerischen Begleitplänen, Erholungsplanungen etc. sind den einzelnen Flächen Funktionen zuzuweisen, nach denen sich dann die Entwicklungsziele sowie Zeitpunkt und Art und Umfang der Unterhaltungsmaßnahmen richten müssen. Für eine Wasserstraße lassen sich folgende wertfrei aufgeführte Funktionen festlegen:

- **Schifffahrt:**
Gesamte befahrbare Wasserfläche einschließlich der angrenzenden Ufer und Einrichtungen für die Schifffahrt, wie z.B. Anlegestellen, Liegeplätze etc.
- **Naturschutz:**
Biotopflächen, wie z.B. Altarme, einschließlich der zugehörigen Pufferzonen.
- **Landschaftsschutz:**
Alle naturnahen bzw. bedingt naturnahen, landschaftsprägenden Bereiche, wie z.B. Gehölzbestände am Ufer etc.
- **Erholung:**
Bereiche, die der Naherholung dienen, wie z.B. Anlegestellen bzw. Liegestellen für Sportboote, Betriebs- und Wanderwege etc.
- **Fischerei:**
Bereiche, die der Fischerei bzw. zum Angeln dienen.
- **Denkmalschutz:**
Sowohl technische als auch landschaftsprägende Teile alter Wasserstraßen, wie z.B. Wehranlagen, Kanalbereiche mit Alleen etc.
- **Landwirtschaft:**
Flächen, die der landwirtschaftlichen Nutzung unterliegen, wie z.B. Wiesen, Weiden, Acker etc.
- **Forstwirtschaft:**
Flächen, die mit Wald bestanden sind und forstwirtschaftlich genutzt werden.

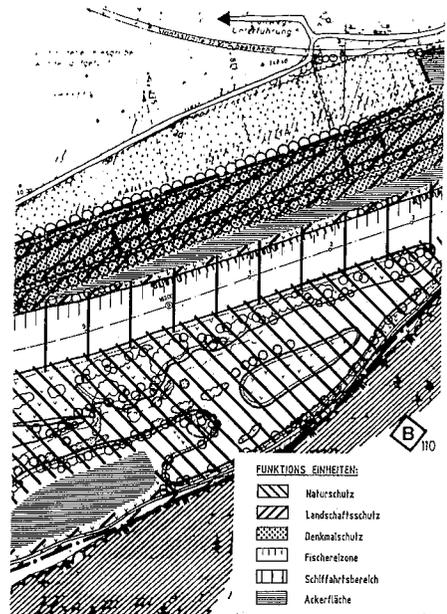


Abb. 2: Funktionsplan

4.3 Entwicklungsplan

Aufbauend auf den im Rahmen der Voruntersuchungen erfaßten und ausgewerteten Landschaftsdaten, dem Vernetzungsplan und dem Funktionsplan ist dann ein Rahmenentwicklungsplan zu erstellen. Dabei handelt es sich um eine in der Regel im Maßstab 1 : 5.000 bis 1 : 10.000 jeweils auf den zu bearbeitenden Bereich einer Wasserstraße abgestimmte Entwicklungsplanung, in der unter Berücksichtigung der Erfordernisse für die Schifffahrt Vorschläge zur Verbesserung der ökologischen Situation und zur Möglichkeit der Entwicklung den die Wasserstraße betreffenden Landschaftsbereich in einen naturnahen Zustand aufgezeigt werden. Zu diesem Zweck lassen sich eine Vielzahl von Gestaltungselementen anführen, die geeignet sind, im Rahmen von Unterhaltungsmaßnahmen die Voraussetzung dafür zu schaffen und deren Entwicklung nach einer im Funktionsplan vorgegebenen Zielsetzung zu steuern.

Die häufig kanalartigen Ufer von Wasserstraßen lassen sich durch sogenannte Uferstrukturierungsmaßnahmen, bei denen die Uferlinie durch unterschiedliche Böschungsneigungen mit unterschiedlichen Uferbefestigungen soweit möglich aufgelöst werden sollen, zu neuen Lebensräumen für Pflanzen und Tieren umgestalten. Bei der Ausbildung von flacheren Ufern besteht dann die Möglichkeit neben Bereichen der Weichholzaue auch wieder Röhrichtbestände als Lebensraum für zahlreiche Tierarten an den Ufern zu etablieren. Ist die Belastung durch Schiffswellen dafür zu hoch, kann eine Ansiedlung in Kombination mit technischen Mitteln – Deckwerken – erfolgen. Darüber hinaus lassen sich, soweit Gelände zur Verfügung steht bzw. dafür erworben werden kann – in den Uferbereichen zusätzlich Flachwasserbereiche mit unterschiedlichen Tiefen und mit oder ohne Anbindung an die Wasserstraße selbst schaffen, die für eine zusätzliche Bereicherung der wasserstraßenbegleitenden Auenlandschaft beitragen.

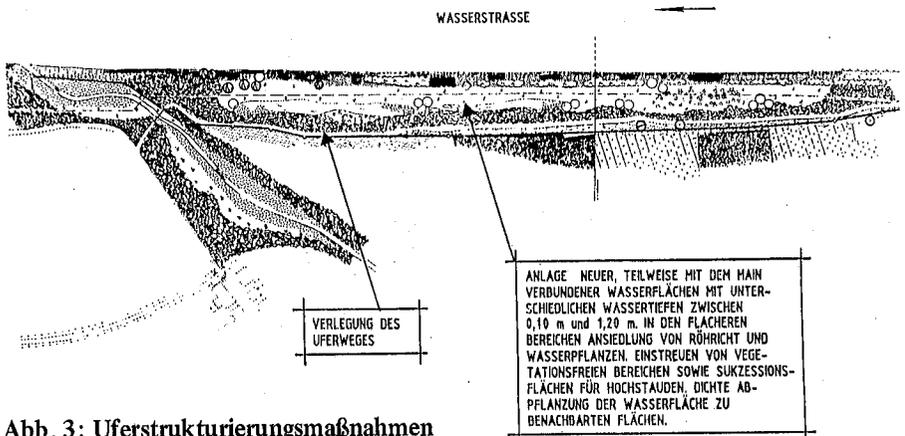


Abb. 3: Uferstrukturierungsmaßnahmen

In einem Seitenstreifen lassen sich daneben noch eine Vielzahl an weiteren Lebensbereichen durch die Anpflanzung von Hartholz- bzw. Weichholzauebeständen, die Schaffung von Standorten für Halbtrockenrasen durch Aufhöhungen und die Entwicklung von Hochstauden auf einer natürlichen Entwicklung überlassenen Sukzessionsfläche schaffen.

Im Wasser selbst besteht bei entsprechender Breite einer Wasserstraße mit Hilfe von Parallelwerken, Bühnen, Inselketten etc. die Möglichkeit seitliche wellenberuhigte Räume zu schaffen, die sowohl für Wasserpflanzen und Röhricht als auch für im Wasser lebende Tierarten, wie z. B. Muscheln, Schnecken, Krebse, Fische, als Lebensraum, bei Eingriffen aber auch als Rückzugsgebiet bzw. als Ausgangspunkt für eine Wiederbesiedlung dienen.

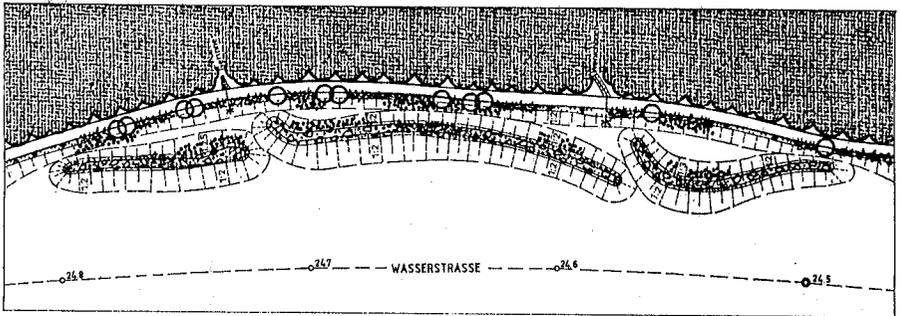


Abb. 4: Wellenberuhigte Zonen hinter Inseln

Bei einer Vielzahl von Wasserstraßen sind durch die Stauregelung und Ausbaumaßnahmen nahezu alle Kies- und Sandbänke verschwunden. Ein Lebensraum, der für zahlreiche vom Aussterben bedrohte Tierarten zum Überleben erforderlich ist. Soweit die Möglichkeit zu einer Schaffung solcher Kies- oder Sandbänke besteht, sollte sie genutzt werden, um die Vielfalt zu erhöhen. Von ausschlaggebender Bedeutung ist jedoch zum einen eine stabile Lage, damit keine Erosion in die Wasserstraße erfolgt, zum anderen die höhenmäßige Lage zum Wasserspiegel, da vermieden werden muß, daß diese Kies- bzw. Sandbänke begrünen und ausdauernde Vegetation tragen.

Durch die hier nicht in ihrer Vollständigkeit aufgeführten Möglichkeiten läßt sich im Einflang mit der Funktion einer Wasserstraße eine Vielfalt an Lebensräumen schaffen, die wesentlich zum ökologischen Wert einer Wasserstraßenlandschaft beitragen.

5. Unterhaltungs- bzw. Pflegeplan

Die im Rahmenentwicklungsplan vorgegebene Zielsetzung und die dazu vorgesehenen Maßnahmen bedürfen im Rahmen der Unterhaltung der Umsetzung. Dafür ist

ein Unterhaltungs- bzw. Pflegeplan zu erarbeiten. Dieser setzt sich in der Regel aus allgemeinen Pflegegrundsätzen und flächenbezogenen speziellen Pflegeanweisungen zusammen.

5.1 Allgemeine Pflegegrundsätze

Die allgemeinen Pflegegrundsätze umfassen generelle Aussagen zur Unterhaltung, die für alle Funktionsbereiche ihre Gültigkeit haben. Im einzelnen handelt es sich dabei um Angaben und Festlegungen, unter anderem zur Ufersicherung, zu Mäharbeiten und Gehölzpflege. Die nachfolgend aufgeführten Beispiele erheben keinen Anspruch auf Vollständigkeit, sondern können nur Ansätze für solche Pflegegrundsätze darstellen:

- Uferabbrüche können an geeigneten Stellen zugelassen werden, soweit sich der Bereich z.B. durch eine vorgelagerte Steinschüttung zur Fußsicherung stabilisieren läßt. Es sind dabei wellenberuhigte Zonen für Röhricht zu schaffen.
- Bei der Wiederherstellung beschädigter Ufer sollen vorhandene Abflachungen und Unregelmäßigkeiten in der Linienführung möglichst erhalten bleiben.
- Sicherungsarbeiten im Uferbereich sind so durchzuführen, daß vorhandene Gehölz- und Röhrichtbestände geschont werden.
- Ufersicherungsarbeiten sollen in Uferabschnitten mit schützenswerten Pflanzen während der Vegetationsruhe durchgeführt werden. Die Brutzeiten und -plätze besonders geschützter Vogelarten sind zu berücksichtigen.
- Baggergut soll soweit geeignet zur Schaffung von Flachwasserzonen und wellenberuhigten Bereichen verwendet werden. Bühnenfelder, Altwasser, Flachwasserzonen und Altarme dürfen damit nicht verfüllt werden.
- Grünland und Grasflächen sollen nicht vor dem 15. Juli, wenn möglich gar nicht während der Vegetationszeit gemäht werden.
- Das anfallende Mähgut ist nicht zu verbrennen, sondern soll zum Mulchen bzw. zum Kompostieren verwandt werden.
- Röhricht und Wasserpflanzen dürfen während der Vegetationszeit nicht gemäht werden.
- Ein Abbrennen bzw. Abflämmen von Vegetationsflächen ist nicht zulässig.
- Auf den Einsatz chemischer Pflanzenbehandlungsmittel ist zu verzichten.
- Arbeiten an Gehölzbeständen sind in der Vegetationsruhe zwischen September und Februar durchzuführen.
- Abgestorbene Bäume, die keine Gefährdung und kein Abflußhindernis darstellen, können verbleiben.
- Anfallendes Gehölzschnittgut ist zu zerkleinern und zum Mulchen bzw. zum Kompostieren zu verwenden. Es darf nicht durch Verbrennen beseitigt werden.

- Zum Schutze der Ufer und deren Vegetation gegen Verbiß und Trittschäden sind geeignete Maßnahmen (Weidezäune etc.) zu veranlassen.
- Die Oberfläche von Betriebswegen darf nicht durch Beton oder Asphalt versiegelt werden. Ansiedelnder Grasbewuchs ist auf mechanischem Wege, soweit zur Erhaltung der Verkehrssicherheit erforderlich, zu beseitigen.

5.2 Flächenbezogene spezielle Pflegeanweisungen

Zur Erleichterung der Durchführbarkeit und Zuordnung der einzelnen Unterhaltungsmaßnahmen hat es sich als zweckmäßig erweisen, in einem Lageplan im Maßstab 1 : 5.000 die einzelnen Flächen, die zu einer Funktionseinheit gehören, gegeneinander abzugrenzen und mit einer entsprechenden Bezeichnung (Buchstaben, Zahlen etc.) zu versehen. Dadurch können Fehlinterpretationen und Übertragungsfehler weitestgehend vermieden werden.

Dieser Abschnitt stellt in der Regel den umfangreichsten Teil des Pflegeplanes dar, da in ihm eine flächendeckende Festlegung erfolgen muß. Die Festlegung der Maßnahmen muß so erfolgen, daß ein gewisser Ermessungsspielraum des Ausführenden verbleibt, jedoch die einzelne Unterhaltungsmaßnahme sich in den Gesamtrahmen der vorgesehenen Entwicklung, die zur Erlangung der vorgegebenen Zielsetzung nötig ist, einpaßt. Nachfolgend soll beispielhaft für einen Bereich einer Wasserstraße die Zusammenstellung der Pflegeanweisungen vorgenommen werden.

Bereich A: Uferbereiche von km ... bis km ...

- Uferstreifen beiderseits der Betriebswege sind in den gehölzfreien Abschnitten zu Hochstaudenfluren umzubilden.
- Hochstaudenbereiche sind einmal jährlich im Oktober zu mähen.
- Flächen um Einrichtungen, die der Sicherheit der Schifffahrt dienen (Schifffahrtszeichen, Pegellatten etc.) sowie die als intensive Wiesen ausgewiesenen Bereiche sind zweimal jährlich soweit möglich nach dem 15. Juli zu mähen.
- Die übrigen Freiflächen sind einmal im Herbst zu mähen.
- Das anfallende Mähgut ist nicht zu verbrennen, sondern zum Mulchen der Gehölzflächen zu verwenden. Dabei überschüssiges Mähgut ist an hochwasserfreier Stelle zur Kompostierung aufzusetzen.
- Gehölzanflug in Hochstauden- und sonstigen gehölzfreien Flächen ist zu beseitigen.
- Uferabbrüche sind zu überprüfen, ob sie belassen werden können. Der Abstand zwischen den Uferabbrüchen und fremden Grundstücken und Anlagen soll dabei drei Meter nicht unterschreiten.

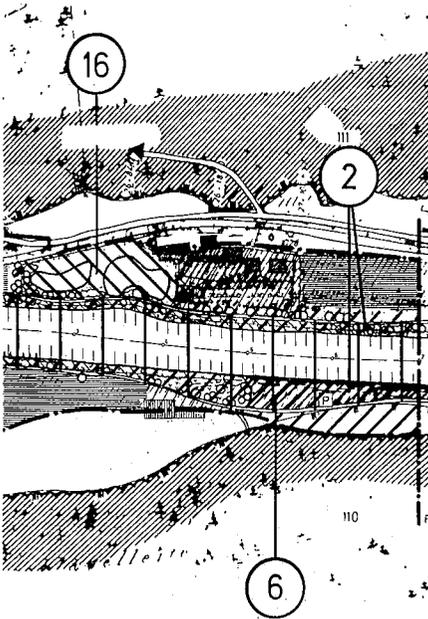


Abb. 5: Pflegeplan

- Bei der Wiederherstellung beschädigter Ufersicherungen sollen vorhandene Abflachungen und Unregelmäßigkeiten in der Linienführung möglichst erhalten bleiben.
- Sicherungsarbeiten im Uferbereich sowie an Regelungsbauwerken sind so durchzuführen, daß wertvolle Gehölz- und Röhrichtbestände geschont werden.
- Ufersicherungsarbeiten, die die Vegetation beeinträchtigen, sollen insbesondere an Uferabschnitten mit schützenswerten Pflanzen während der Vegetationsruhe durchgeführt werden. Die Brutzeiten und -plätze von geschützten Vogelarten sind möglichst zu berücksichtigen.
- Eventuell anfallendes Baggergut darf nicht in Bühnenfelder, Altwässern, Flachwasserzonen, Altarmen untergebracht werden.
- Röhricht und Wasserpflanzen sind möglichst vor Beschädigung zu schützen. Eine Mahd darf in der Vegetationsperiode nicht durchgeführt werden. Soweit der Bewuchs standsicher ist, bzw. keine Verkrautung eintritt, sind keine Pflegemaßnahmen erforderlich.
- Arbeiten an Gehölzbeständen sind in der winterlichen Jahreszeit zwischen September und März durchzuführen.

- Gehölzbestände sind je nach Wachstum alle 8 – 30 Jahre plenterartig auf den Stock zu stetzen, wobei nur maximal 30% des Bestandes betroffen sein darf. Bei Weidesäumen sind dabei Bäume weitestgehend zu erhalten.
- Überalterte und tote Bäume sind auf ihre Standsicherheit hin zu überprüfen und, soweit eine Gefährdung der Schiffahrt ausgeschlossen werden kann, stehen zu lassen.
- Das anfallende Schnittgut ist, soweit es nicht als Nutzholz verwendet werden kann, zu zerkleinern und zum Mulchen neuangelegter Anpflanzungen zu verwenden. Überschüssiges Material ist an hochwasserfreien Stellen zur Kompostierung aufzusetzen.
- Treibgut ist vor allem dort zu entfernen, wo es im weiteren Verlauf zu Behinderungen an Wehren und Schleusentoren führen kann bzw. aus hygienischen oder abflußtechnischen Gründen geboten erscheint. Im übrigen ist eine Beseitigung nicht erforderlich.
- Bei der Entwicklungspflege von Neuanpflanzungen ist in den ersten Jahren der konkurrierende Gras- und Krautbewuchs durch Hacken, Ausmähen und Mulchen klein zu halten bzw. zu beseitigen. Im erosionsgefährdeten Hochwasserbereich ist dagegen auf eine kurzgehaltene, geschlossene Vegetationsdecke zu achten. Festgesetztes Treibgut ist zu entfernen.
- Auf den Einsatz chemischer Pflanzenbehandlungsmittel (Herbizide, Pestizide, Fungizide, Insektizide), mit Ausnahme von Wundverschlußmitteln, ist zu verzichten.
- Das Abflämmen von Flächen darf nicht erfolgen.

6. Laufzeit

Werden die vorher aufgezeigten Unterhaltungsmaßnahmen durchgeführt, kann davon ausgegangen werden, daß in vielen Fällen die vorgegebene Zielsetzung erreicht wird. Da die Entwicklung der Lebensräume jedoch nicht allein von den Unterhaltungsmaßnahmen, sondern von einer Vielzahl von Faktoren abhängt, ist es erforderlich, die Entwicklung der zu pflegenden und unterhaltenden Flächen laufend einer Erfolgskontrolle zu unterziehen, wobei festzustellen ist, ob die notwendigen und im Pflege- und Unterhaltungsplan festgelegten Maßnahmen noch der Zielsetzung und im Entwicklung entsprechen. Sind die Maßnahmen zu ändern, um die Entwicklung in ihrer Zielsetzung zu gewährleisten oder muß die Zielsetzung geändert werden, weil die Entwicklung einen anderen Verlauf zu einem wertvolleren Biotop hin eingeschlagen hat, so ist der Pflege- und Unterhaltungsplan zu überarbeiten. Die Laufzeit sollte jedoch generell einen Zeitraum von 10 Jahren nicht überschreiten, so daß in jedem Fall danach der Pflegeplan zu überarbeiten ist.

Literatur

- [1] Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft
Grundzüge der Gewässerpflege – Fließgewässer
Schriftenreihe Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft
Heft 21, München 1987
- [2] Bundesanstalt für Gewässerkunde
Main-Donau-Kanal, Stauhaltung Kelheim
km 153,700 bis 166,700 – Pflegeplan
Koblenz 1987
- [3] Landesamt für Wasser und Abfall Nordrhein-Westfalen
Fließgewässer in Nordrhein-Westfalen –
Richtlinien für naturnahen Ausbau und Unterhaltung
Düsseldorf 1980
- [4] R. Moorehead and Laing Limited in association with Silsoe
College and Geotechnics Consulting
The use of vegetation in civil engineering
Construction Industry Research and Information Association
Research Project 379
London 1988

Abteilung I

Binnenwasserstraßen und Binnenhäfen

(für gewerbliche und Freizeitschifffahrt)

zu Thema 4:

Thema des deutschen Berichts

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

Berichtersteller:

Dipl.-Ing. Dieter Haendel, Bundesverkehrsministerium, Bonn

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

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

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

1. Einleitung

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

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

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

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

2. Ausbau von Gewässern zu Wasserstraßen

2.1 Einflußfaktoren

2.1.1 Regulieren freifließender Gewässer

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

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

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

2.1.2 Stauregelung von Gewässern

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

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

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

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

2.13 Künstliche Wasserstraßen (Kanäle)

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

2.2 Auswirkungen auf einzelne Gewässerparameter

2.21 Sauerstoffhaushalt

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

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

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

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

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

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

2.22 Geschiebehaushalt

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

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

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

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

2.23 Biochemische Vorgänge

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

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

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

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

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

2.24 Biozönose

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

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

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

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

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

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

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

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

3. Unterhaltung von Wasserstraßen

3.1 Einflußfaktoren

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

3.2 Auswirkungen auf einzelne Gewässerparameter

3.2.1 Sauerstoffhaushalt

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

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

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

3.22 Schadstoffe

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

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

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

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

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

3.23 Biozönose

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

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

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

4. Betrieb von Wasserstraßen

4.1 Einflußfaktoren

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

4.2 Auswirkungen auf einzelne Gewässerparameter

4.21 Sauerstoffhaushalt

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

4.22 Schadstoffhaushalt

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

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

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

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

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

4.23 Beeinflussung der Tierwelt durch die Schifffahrt

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

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

5. Zusammenfassung.

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

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

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

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

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

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

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

Literatur

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

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

Abteilung II

Seehäfen und Seeschiffahrtsstraßen

(für die gewerbliche und die Sportschiffahrt und den Fischfang)

zu Thema 2.1:

Thema des deutschen Berichts

Die Düneninsel Wangerooge im Kräftefeld äußerer Einwirkungen und ihrer aktiven und passiven Verteidigungsmöglichkeiten

Berichterstatter:

Dipl.-Ing. Gert Frels, Wasser- und Schifffahrtsamt Wilhelmshaven

Zusammenfassende Vorbemerkungen

Die Nordseeinsel Wangerooge verdankt ihre Existenz der durch Gezeiten und meteorologische Verhältnisse bestimmten Sedimentwanderung im Küstenvorfeld von West nach Ost. Periodische Änderungen im meteorologischen Kräftespiel führen zeitweise an exponierten Stränden zu einer deutlich negativen Bilanz im Sandhaushalt einzelner Abschnitte bei ausgeglichener Gesamt-Sedimentbilanz der Insel. In diesen Phasen ist die Standsicherheit einzelner Buhnen und Deckwerke sehr gefährdet.

In den vorliegenden Kapiteln wird untersucht, ob diese passiven Schutzsysteme – insbesondere die Buhnen – nach heutigen Gesichtspunkten als optimal gelten können, verbesserungsbedürftig sind oder zur eigenen Sicherheit eines aktiven Schutzes in der bekannten Art der Strandvorspülungen bedürfen.

Lösungswege werden aufgezeigt, deren Details insbesondere hinsichtlich der Konstruktionsmerkmale der Bauwerke hier jedoch unbehandelt bleiben müssen. Eben- sowenig können im vorgegebenen Rahmen die Kosten der einzelnen Maßnahmen besprochen werden. Auch werden die Ausnahmeereignisse besonders hoher Wasserstände mit ihrer zerstörenden Wirkung auf unbefestigte Dünen und Inselbereiche nicht berücksichtigt.

Meeresströmungen und Tideabläufe

Die Nordsee ist als Randmeer des Atlantischen Ozeans den dort herrschenden Gezeiten mit den bekannten Ungleichheiten in zeitlichen Abläufen und Höhen unterworfen. Der mittlere Hub der halbtägigen Gezeiten entlang der See- und Wattseite der Insel beträgt rd. 2,8 m. Die Nipp- und Springtiden weichen hiervon in der Höhe um etwa 0,6 m ab.

Wie alle Ozeane unterliegt die Nordsee einem säkularen mittleren Meeresspiegelanstieg, der wie in der praktisch tidefreien Ostsee für den mittleren Wasserstand (MW) in den vergangenen 100 Jahren zu 16 cm ermittelt wurde. Der mittlere Tidehochwasserstand (MThw) der Nordsee im Untersuchungsgebiet Wangerooge stieg dagegen im gleichen Zeitraum um etwa 20 cm. Dieses Maß wurde vom ermittelten Wert von 25 cm am Pegel Wilhelmshaven-Alter Vorhafen abgeleitet. Für die zukünftige Entwicklung des hier seit über 130 Jahren beobachteten geradlinig verlaufenden Anstiegs liegen keine Hinweise auf eine Trendänderung vor. Es sinken lediglich seit 1950 die mittleren Tideniedrigwasser (MTnw) um einige Zentimeter leicht ab. Die Umkehr dieser Trends in der Entwicklung des Niedrigwassers ist als überörtliche Erscheinung festgestellt und beruht nicht auf anthropogenen Eingriffen in die morphologischen oder hydrologischen/hydraulischen örtlichen Gegebenheiten.

Verlauf der Gezeiten der Nordsee im Bereich der Insel Wangerooge ist linksdrehend mit einem Reststrom von i.M. 4 – 9 km/Tide in Richtung Ost, gemessen am Inselsockel 1,5 m über Grund in der Tiefe von SKN – 5 m bei schwachen umlaufenden Winden. Diese östlich gerichteten Tide-Restströme haben unter Mitwirkung vorherrschender Westwinde eine östlich resultierende Versetzung von Sedimenten am Inselsockel und von Insel zu Insel im Strandbereich über Gaten hinweg zur Folge.

Die Erfahrungen mehrerer vergangener Jahrzehnte ließen einen Rhythmus von Jahren mit reichlich Sandzufuhr und ausgesprochenen Mangelsituationen in Strandbereichen der Insel erkennen. Einen zeitlichen Abstand dieser Erscheinungen von etwa 7 Jahren meinten Inselbewohner nach langjährigen Beobachtungen festgestellt zu haben. Die Suche nach Hinweisen auf die Ursache dieser wiederkehrenden Ereignisse ließ Wind als möglichen Faktor erscheinen.

Die Untersuchung der Sturmfluthöhen, gemessen am Pegel Wilhelmshaven-Alter Vorhafen, bestätigen die Abhängigkeit dieser Vorgänge von Sturmeinwirkungen. Aus den maximalen Pegelständen von 1940 bis 1988 wurden die reinen Windstauwerte ermittelt. Sturmflutereignisse mit Werten $\geq 1,30$ m Windstau wurden aufgetragen und ihre Ganglinie zur besseren Beurteilung geglättet (Anl. 1). Es zeigt sich in der Tat eine Periode von i.M. etwa 7 Jahren. Die Suche nach der Ursache dieser Periodizität der Starkwinde war bisher erfolglos. Eine Abhängigkeit von den Sonnenfleckenhäufigkeiten mit der bekannten Wiederkehr von 11 Jahren ist offenbar nicht gegeben. Mögliche zur Zeit noch nicht bekannte Variationen im Verlauf der unser Wetter beeinflussenden Strahlströme der höheren Atmosphäre könnten jedoch hier einen Einfluß ausüben.

Mit dem Bau von Buhnen wurde ein bewegliches fortwährend den Kräften der Natur nachgebendes und sich anpassendes Platen- und Dünenystem statisch ausgerichtet. Infolge der Festlegung zeigten sich bald die bekannten Erscheinungen wie Kolkungen, die Entwicklung strandparalleler Rinnen sowie Lee-Erosionen als Folge derartiger Wasserbauten. Diese wiederum zogen weitere bauliche Maßnahmen bestehend aus Buhnen und Buhnenverlängerungen nach sich. Diese Abfolge wird deutlich bei Betrachtung der Entstehungszeiten einzelner Buhnengruppen der Anl. 2. Die erste größere Buhnengruppe von einer kurzen Buhne H bis zur Buhne I (1875 bis 1884) verursachte durch Zurückhaltung von Wandersedimenten auf ihrer Lee-Seite Sandmangel, der zur Konstruktion einer weiteren Buhnengruppe veranlaßte. Eine dritte Buhnengruppe folgte der zweiten aus gleichen Gründen. Gleiches Bild bieten die verschiedenen Deckwerkbauten. Sechs Abschnitte, zwischen 1874 und 1928 erbaut, reihen sich von West nach Ost immer in Lee des Vorgängers aneinander.

Die ersten im neunzehnten Jahrhundert angelegten Buhnen und Schutzwerke waren nach einer Serie schwerer Sturmfluten Maßnahmen zum Erhalt eines Restbestandes an Insubstanz. Ihre Bauweise entwickelte sich. Sie wurde jeweils den gemachten Erfahrungen angepaßt. Leichten Buschzäunen folgten rasch Steindämme leichter, später schwerere Bauwerke auf Buschunterlage mit Natursteinabdeckung. Als Material für Deckwerke standen vom Festland gelieferte Ziegelsteine (Klinker) und Zement zur Verfügung. Als Betonzuschlag diente Dünen sand.

Die Buhnenlängen und -neigungen wurden allgemein der Strandsituation angepaßt. Von der Wurzel im jeweiligen Dünendeckwerk bis zur SKN-Linie waren die Hauptbuhnen zwischen 200 und 400 m lang. Ihre Neigung entsprach dem Strandgefälle. Die Kronenhöhe überragte den nassen Strand etwa 0,5 m.

Diese nur nach Naturbeobachtungen und mit heimischen Baumaterialien entwickelten Bauweisen führten innerhalb einiger Jahrzehnte zu einer merklichen Stabilisierung der Restsubstanz der Insel und nach fünfzig Jahren zu einer bis dahin noch nicht registrierten hochwasserfreien Inselgröße.

Hierzu hatten neben den schützenden Buhnen und Deckwerken auch Sandfangmaßnahmen auf nur bei höheren Wasserständen überfluteten Stränden in Lee des befestigten Inselkerns einen beträchtlichen Anteil beigetragen. Sand aus trockenfallenden Stränden verdriftet in erheblicher Menge in Folge der vorherrschenden westlichen Winde an das östliche Inselende.

Nach heutigen Gesichtspunkten beurteilt, bietet das Gesamtsystem der Buhnen und Deckwerke, obgleich aus Fragmenten entstanden, eine gute Ausgangssituation für eine weitere Verbesserung des Insel schutzes. Hierzu zählen die Anpassung unterschiedlicher Buhnenlängen an eine gemeinsame Streichlänge. Insbesondere sind die Buhnen B, H und V zu kürzen, andere zu verlängern und in ihrer Neigung den Strand-

Deutsche Beiträge zu PIANC-Schiffahrtskongressen seit 1949 1990-09
verhältnissen anzupassen. Diese Maßnahmen sind vor dem Hintergrund der Entwicklung der Inselmorphologie in den vergangenen einhundert Jahren detailliert auszuarbeiten.

Das Sonderbauwerk „Buhne H“

Keine weitere Buhnen hat in ihrem näheren und weiteren Umfeld so wirkungsvolle Umgestaltungen in den Strömungsabläufen mit ihren folgenden morphologischen Veränderungen ausgelöst wie diese. Sie wurde in den Jahren 1938 bis 1941 in 1 bis 6 m Wassertiefe unter SKN in einer Länge von rd. 1.500 m quer in das Harle Gat hineingebaut.

Die Dove Harle, eine zweite Tiderinne zwischen Nordsee und den Wattgebieten hinter den Inseln, hat man dabei geschlossen. Mit der Höhe der Krone auf etwa SKN wurde der Fließquerschnitt im Mittel um über ein Viertel verbaut.

Man hoffte damals, auf diese Weise die einige Meter im Jahre betragende stetige ostwärtige Verlagerung des Seegatts Harle zum Schutz der Insel zu stoppen. Insbesondere wurde jedoch eine Schwenkung der Harle-Achse aus der Richtung Nord/Süd nach Nordwest/Süd angestrebt und vorausgesagt. Der Anlandungsbereich für von Westen heranwandernde Sandplatten sollte dadurch weiter in diese Richtung zum Ausgleich der negativen Sandbilanz im äußersten Westen der Insel verlagert werden (Anl. 3).

Das Ziel, den weiteren Verlagerungsdruck der Harle-Rinne nach Osten aufzuheben, wurde erreicht, obgleich der Kriegsausbruch den angestrebten hochwasserfreien Ausbau der Buhne verhinderte. Das weitere Ziel, die Schwenkung des Seegatts, wurde zwar auch erreicht, die erwartete Auswirkung auf die Platananlandung blieb jedoch aus.

Im Laufe der folgenden Jahrzehnte zeigten sich viele Entwicklungen negativer Art sowohl für die Insel als auch für ihr näheres und ferneres Umfeld. Diese Vorgänge sollen hier näher beschrieben werden.

Die Auswirkungen der Buhne H auf Strömungsabläufe und die Morphologie des Umfeldes

Das 1.500 m lange Bauwerk Buhne H mit der Kronenhöhe auf SKN liegt quer im Tidestrom der Harle. Der ursprüngliche Querschnitt wurde um 25% bei Tideniedrigwasser und 13% bei Tidehochwasser verkleinert. Die bei der Überströmung entstehende hohe Geschwindigkeit hat an den Bühnenflanken zu tiefen Kolken von über 10 m unter SKN geführt.

Die Buhne H wirkt als Sohlschwelle wie ein unvollkommener Überfall mit einer maximalen Stauwirkung von etwa 15 cm sowohl bei Flut als auch bei Ebbe. Der Egalisierung und Erhöhung der Strömungsgeschwindigkeit auf der gesamten Buhnenlänge folgte eine flächenhafte Erosion durch den Flutstrom F auf etwa 2 qkm (Anl. 5). Hier sedimentierten vor dem Bau der Buhne nach der Flut bis zum Eintritt der Ebbeströmung zwischenzeitlich Sande der West-Ost-Drift. Die Bereiche nördlich und südlich der Engstelle zwischen den Inseln dienten als derartige Zwischenlager für Sande auf der Wanderung. Kennzeichnend sind die von Tiderinnen umflossenen Sandbänke M und B, die bis oberhalb SKN aufwuchsen. Tideströme und küstenparallele Brandungsströmungen des vorherrschenden Seeganges aus westlichen Richtungen übernahmen den weiteren Transport der Sedimente, bis sie östlich von Bereich B in die Strandzonen übergeleitet wurden und ihre Schutzfunktionen ausübten (Anl. 6).

Mit dem Bau der Buhne H wurde jedoch dieser Zyklus gestört. Das Zweirinnensystem mit seinen unterschiedlichen Transportfunktionen für Sedimente – Flutrinne/Ebberinne – wurde unterbrochen. Der dreißig Minuten kürzere Flutstrom fließt schneller als der Ebbestrom. Aus diesem Grunde suspendierte Sande überwandern die Buhne nach Süden. Das anschließend abfließende Ebbwasser ist praktisch frei von sandigen Suspensionen. Nur ein Teil nimmt seinen Weg zurück durch die verbliebene Seegattrinne Harle. Südlich der Buhne werden heute nicht unbedeutende Sandmengen zurückgehalten und hinterwandern den Osten Spiekeroogs und Wangerooe. Hier füllen sie das ehemals weiter verzweigte Prielsystem C auf, vergrößern und erhöhen einzelne Platen D oder werden bei Starkwinden in einer Westdrift über die Watten hinweg in die Jade getrieben (Anl. 4).

Auch nördlich der Buhne H veränderten sich die morphologischen Verhältnisse bereits erheblich. Die Einengung der Tideströme auf eine Rinne mit der freigestellten Stauwirkung der Buhne muß auch – jedoch kaum nachweisbar – zum Abfluß von erheblichen Ebbwassermengen über die westlich gelegenen Watten und Gaten geführt haben, da sich die von der Transportkraft des Ebbestromes abhängige Ausdehnung des Riffbogens im Delta des Harlegatts verkleinerte. Die seeseitige Tiefenlinie 3 m unter SKN verlagerte sich innerhalb von 48 Jahren nach dem Bühnenbau um nahezu 1.000 m nach Süden.

Das Bühnenbauwerk stellt trotz der nicht hochwasserfreien Kronenlage eine Verlängerung der Insel nach Westen dar. Damit wurde der Füllungsschwerpunkt des Wattgebietes hinter Wangerooe relativ zum westlichen Inselende weiter nach Osten verschoben. In der Folge neigte sich die Ein- bzw. Ausflußrichtung des Harlestromes bisher um rd. 35 Grad nach Westen und erodierte dabei wellenbrechende Flachwassergebiete (Anl. 3). Mit der Öffnung des Gatts zur Hauptseegangsrichtung und Stoßrichtung des Flutstromes sowie der Schrumpfung des schützenden Riffbogens setzte dann der besondere Angriff auf den Westkopf der Insel ein. Die starke Neigung der Harle nach Westen verursachte seinerzeit obendrein eine Streckung des Riffbogens. Eine Verteilung der von Westen heranwandernden Sedimentmengen auf längere Strecke mit tieferem Riffniveau war die Folge.

Eine weitere Veränderung der Strömungsabläufe im Untersuchungsgebiet ist das Auftreten der Stromrinne „Strandbalje“ S nördlich der Buhne H vor dem Nordweststrand (Anl. 5). In ihr wurden in Dauermessungen über zwei Wochen bei unterschiedlichen Windrichtungen ausschließlich Flutstromrichtungen F gemessen. Diese einsinnig gerichtete Strömung verursacht die Buhne H mit ihrer aufstauenden Wirkung. Im Verlauf der Flut entsteht mit der Vergrößerung des Strömungsquerschnitts oberhalb der Buhne eine Absenkung des Wasserspiegels mit der entsprechenden Strömungsrichtung zur Buhne hin, Eine Ebbe-Rückströmung wurde nicht festgestellt.

Im südlichen Umfeld der Buhne sind ebenfalls deutliche Veränderungen zu erkennen. Der Südwest-Strand SW der Insel liegt nach der Erosion seiner Vorstrandbereiche zwischen Harle und Dove Harle im Angriff der vorherrschenden Winde aus West bis Südwest (Anl. 5).

Tieferes Wasser und größere Streichlänge führen hier zu höheren Wellen mit mehr Brandungsenergie. Der Flutstrom verdriftet die so erodierten Sande südwärts, wo sie vor der Hafeneinfahrt W Flut- und Ebbestrom-Barren bilden. Die kürzlich zur Verhinderung dieser Auswirkung erhöhte und verlängerte Buhne W zeigt hiergegen keine Wirkung (Anl. 5).

Die Schwenkung der Harle-Rinne beeinflusst ebenfalls noch das Festland. Im Schwenkungssektor wurden die jeweiligen Wattgebiete erodiert. Die Folge war und ist die Entstehung von Abbruchkanten am Vorland SM des Landesschutzdeiches in der jeweiligen Stoßrichtung des Flutstromes mit den Brandungswellen aus Nordwest.

Die in Lee der Schwenkungsrichtung liegenden Gebiete sandeten auf, so daß sich die morphologische Wasserscheide hinter der Insel Spiekeroog weiter nach Osten in den Bereich der Zufahrt des Hafens Harlesiel verlagerte. Hier mußte bereits eine rd. 1.000 m lange Verlängerung der bestehenden künstlichen Zufahrt geschaffen werden.

Die Problematik von Strandvorspülungen zum Schutz von Inselbefestigungen

Zwar bietet die aus der Sturmflutanalyse gewonnene Kenntnis über die regelmäßige Wiederkehr von Sandmangelsituationen im Westen der Insel ein Mittel zur Abschätzung der Eintrittszeit eines derartigen Ereignisses. Es ist jedoch auch weiterhin nicht zu vermeiden, daß nur selten die optimale Wirkung einer Vorspülung erreicht wird. Sei es, daß die Maßnahme zu frühzeitig erfolgt, dann ist die Sandmenge im Bedarfsfall schon aufgebraucht, ehe sie wirksam werden kann. Im gegensätzlichen Fall wäre sie ebenfalls überflüssig gewesen.

Es muß also zum richtigen Zeitpunkt, d. h. kurzfristig vor Eintritt möglicher Zerstörungen an den Schutzwerken, die richtige Sandmenge am richtigen Ort eingebracht sein.

Hierzu muß ein ausreichend großer Vorrat an spülfähigem Material mit entsprechender Schutzwirkung in technisch zu handhabender wirtschaftlicher Entfernung bereitliegen.

Außerdem dürfen der Maßnahme keine verzögernden administrativen Vorschriften (Entwurf, Ausschreibung, Entscheidungsfindung) im Wege stehen. Da die Durchführung der Spülung mit den heutigen Geräten in höchstem Maße witterungsabhängig ist, muß hier mit nicht vorhersehbaren Störungen der Maßnahme gerechnet werden.

Die oben aufgeführten Einschränkungen in der Durchführung und Wirksamkeit einer derartigen Baumaßnahme erfordern eine erhebliche Überdimensionierung der Spülmengen, wenn sie ausreichend im richtigen Moment schützen sollen.

Es bleibt die Frage offen, ob wegen der unterschiedlich starken Ausprägung einer Sandmangelphase Zerstörungen überhaupt hätten erwartet werden müssen.

Ein optimal dimensioniertes passives Schutzsystem sollte daher in der Lage sein, die tatsächlichen Mindermengen an sich zu binden oder die zeitlich begrenzte Mangelsituation bautechnisch ertragen zu können.

Für die Insel Wangerooge sind folgende Kriterien für die Beurteilung von Strandvorspülungen und die Möglichkeiten der Bereitstellung von Sandmengen zu betrachten:

Sandentnahme seeseitig der Insel

In Anl. 7 zeigen Pfeile die oberhalb der Linie SKN - 4 m gelegenen Zonen der strandparallelen und strandnahen Wanderung der Sedimente für den natürlichen Aufbau der Insel und ihre Unterhaltung. In diesen Bereich dringen in ruhigen Wetterlagen durch Tide und Dünungswellen bewegte Sande aus dem inselfernen Wanderweg unterhalb der Linie SKN - 5 m am Fuß des Inselsockels ein. Die Entnahme von Sand aus diesen tieferen Bereichen wäre zu vertreten, wenn nicht die Schwierigkeiten aus Witterung und der verhältnismäßig großen Entfernung dagegen sprächen. Eine Baggerung im Raum oberhalb SKN - 4 m scheidet von vornherein aus.

Die dortige Entnahme bedeutet bereits die Beseitigung von Sanden mit Schutzfunktion in einer Mangelsituation mit ihren einhergehenden vermehrten Seegangswirkungen. Dies würde für die Insel eine „kannibalische“ Vorgehensweise bedeuten.

Deutlich zeigt Anl. 3 diese Verlagerung einer Entnahmestelle von A nach B. Diese Wanderung von Mangelgebieten erfolgt ebenso wie die der Überschußbereiche mit im Mittel 300 m je Jahr, wie bereits KRÜGER vor über 50 Jahren entdeckte. Die Gewinnungsstelle liegt im Vorstrand der Insel und wandert dabei in absehbarer Zeit als Defizitbereich in die Nähe des trockenen Strandes und der dort angelegten Insel-schutzwerke.

Sandentnahme auf der Wattseite der Insel

Südlich der Insel finden sich oberflächennah lediglich Schluffe und Schlicke. Geeignetes Material des Inselbausandes mit Korngrößen zwischen 0,15 und 0,25 mm Durchmesser stehen nur in tieferen Lagen in nicht ausreichenden Mengen an.

Die wiederholte Entnahme von Material fürerspülungen und Deichbauten können durch die geringe natürliche Ablagerung von Ersatzmaterial, wie festgestellt ist, nicht ausgeglichen werden.

Ein Rückzug der Insel auf höhere Wattbereiche im Süden in Zeiten zukünftigen möglicherweise weiter angestiegenen mittleren Wasserstandes wird durch diese Verhinderung einer ausreichenden Watterhöhung stark eingeschränkt.

Sandentnahme auf dem Ostende der westlichen Nachbarinsel Spiekeroog

Hier liegt Inselbaumaterial im Überfluß. Die Überführung ausreichender Mengen in die Mangelbereiche von Wangerooge mittels Dükerleitung ist technisch mit entsprechend hohem finanziellen Aufwand gegen Seegang und Strömung möglich. Auch läßt sich an die Rückführung der Sedimente in die West-Ost-Wanderung durch Einspülen in die Ebbeströmung denken. Auf diese Weise kann jedoch nicht planmäßig in Mangelsituationen eingegriffen werden. Die Maßnahme wäre auf lange Dauer anzulegen, um das allgemeine Sedimentvolumen auf dem natürlichen Wanderweg zu erhöhen.

Zunächst müßte der Buhne H durch Ab- bzw. Umbau die Wirkung als Sandfang genommen werden, so daß die Hinterwanderung der Insel durch die Sedimente mit ihrer zunehmenden Verschlechterung der Hafenverhältnisse am Festland und auf der Insel unterbleibt.

Die Mobilisierung von Sanden aus dem Spiekerooger Osten oder aus dem Südbereich Wangerooges würde jedoch die Sedimentfracht der West-Ost-Wanderung sehr anreichern und Auswirkungen auf die Baggermengen in der Fahrinne der Jade mit sich bringen.

Sandentnahme auf dem Ostende der Insel Wangerooge

Die Reaktivierung sedimentierten Materials aus diesem Sanddepot A in Anl. 7 durch Rückführung in die Mangelzonen im Westen der Insel und damit in den natürlichen West-Ost-Wanderweg wäre – sofern kostengünstig – eine umfeld- und umwelteträgliche ideale Lösung. Der Transport mittels Pumpstationen und Rohrleitungen in die westlichen Mangelgebiete könnte über die Südseite der Insel erfolgen.

Abzweigungen in Bereiche mit erwünschter Aufhöhung – wie Badestrand vor dem Ort Wangerooge oder im Süden der Insel als Schutz vor Sturmfluten und zur Erweiterung der gesamten hochwasserfreien Flächen – wären einzurichten. Wandersande könnten aus der West-Ost-Drift abgezogen werden und die Baggerungen in der Jade-Fahrrinne vermindern.

Verbesserungsmöglichkeiten des Insel schutzes und die kurz- und langfristig zu erwartenden Auswirkungen

Der heutigen zeitweiligen Bedrohung der Strandsicherheit der Schutzbauwerke der Insel Wangerooge aufgrund des periodisch auftretenden Defizits an Sanden in Bereichen besonders hohen Energieumsatzes ist mit technischen Maßnahmen aus folgenden theoretischen Lösungsansätzen und deren Kombinationen zu begegnen.

- 1) Der an der Insel entlang wandernde Sedimentstrom ist zu verzögern, um möglichst große Anteile seiner Fracht vorübergehend dort zur Zwischenlagerung zu veranlassen, wo seine Sandmassen schützen sollen. Veränderungen im Mengenangebot dieses Inselbaustoffes wurden bisher nicht beobachtet. Die meteorologisch bedingte Geschwindigkeit des Sandumsatzes ist durch Optimierung des Bühnensystems zu verringern.
- 2) Die Standfestigkeit der Schutzwerke ist zu erhöhen. Hierzu zählen insbesondere tiefreichende Flankensicherung der Bühnen und Verstärkung ihrer Köpfe als Schutz bei herannahenden Rinnen und Strandbaljen in Sandmangelsituationen.
- 3) Deckwerke und Bühnen sind durch künstliche Sandzufuhr als aktiver Schutz vor Zerstörung zu bewahren, wenn ausreichende Vorsorge durch Maßnahmen nach 1) und 2), also Verbesserung des Gesamtsystems aller Einzel-Bühnen mit ihren Längen, Höhen, gegenseitigen Abständen, Neigungen und ihrer Standfestigkeit sowie die notwendige Stabilität der Deckwerke aus technischen oder finanziellen Gründen noch nicht erreicht werden konnte.

Unter Berücksichtigung dieser Gesichtspunkte kommen bei der Erhaltung und Unterhaltung der Insel Wangerooge im wesentlichen folgende drei Vorgehensweisen in Betracht:

1. Die heutige Situation wird unverändert beibehalten, d.h. es werden nur Unterhaltungsarbeiten durchgeführt.

Die Folgen werden in der Verschärfung der bereits geschilderten negativen Entwicklungen liegen. Hierbei wirkt sich besonders die weitere West-Schwenkung der Harle aus. Der Verlagerungsdruck der Harle nach Osten wird weiterhin im positiven Sinne durch den Kopf der Bühne H aufgenommen.

2. Erhöhung der Buhne H auf mittleres Tidehochwasser entsprechend der ursprünglichen Planung.

Die Entwicklungen wie unter 1. werden sich noch stärker ausprägen. Zusätzlich wird der Aufstau durch die Buhne H erhöht, die Strömung in der Strandbalje verstärkt und erstmals entlang der Buhne zum Bühnenkopf hin auftreten. Das Seegatt Blaue Balje (östlich der Insel Wangerooge) wird mit größeren Durchflusmengen belastet. Der Verlagerungsdruck dieses Seegatts auf den relativ schwachen Hauptdammkopf von Minsener Oog wächst. Der Übertritt von Flutwasser aus den Seegatten Harle und Blaue Balje in die Jade mit entsprechender Sedimentführung wird sich verstärken.

Südlich der Buhne H könnte im Schutz dieses Bauwerks eine als positiv anzusehende Sandablagerung mit einer Schutzfunktion für den Südweststrand erfolgen.

3. Ein Durchbruch der Buhne H in Verbindung mit der Längenanpassung und Verstärkung einzelner Bühnen.

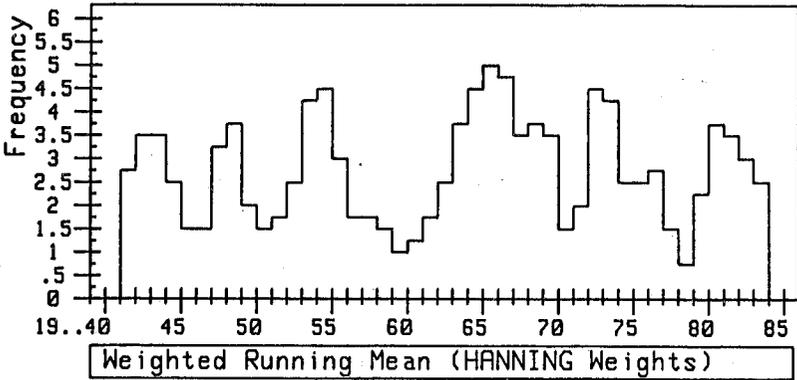
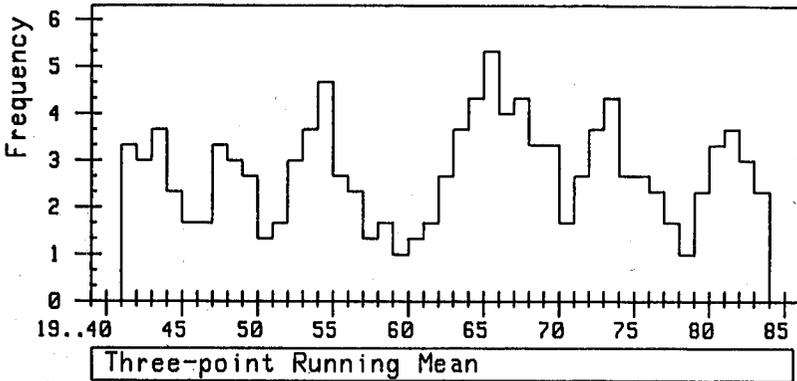
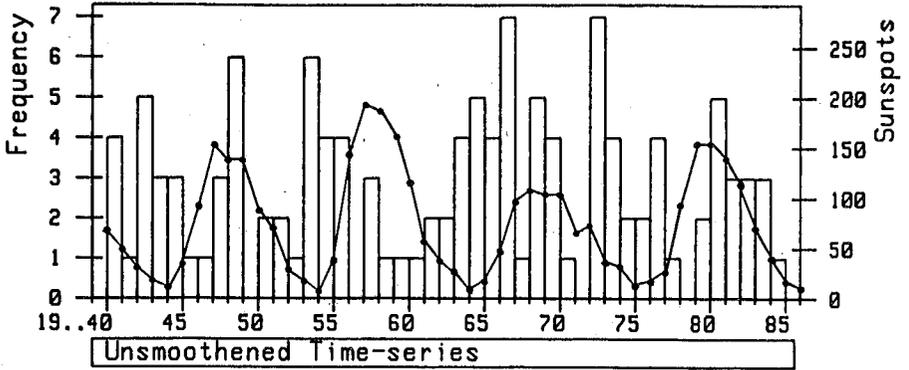
Der Durchbruch sollte etwa 400 m breit sein und zwischen Station 400 bis Station 800 angelegt werden. Der Kopf bei Station 400 ist so widerstandsfähig auszubilden wie der heutige Kopf der Buhne H. Die verbleibende Buhne H von der Wurzel bis Station 400 ist nach den Regeln des Seebuhnenbaus herzurichten. Die Dove Harle kann ihrer ehemaligen Funktion zur Wattenfüllung hinter Wangerooge wieder gerecht werden. Sie wird zusammen mit der Strandbalje Transportrinne für Sedimente in nördliche Richtung. Das Seegatt Harle schwenkt zurück in nördliche Richtung, die Stauwirkung der Buhne H wird aufgehoben, da die Dove Harle wieder Tiderinne wird. Das Bühnensystem am Westkopf kann gemeinsam den Verlagerungsdruck nach Osten aufnehmen. Im übrigen entfallen alle Nachteile, wie unter 1. aufgelistet.

Da das heutige Inselschutzsystem mit seinen geschilderten Mängeln keine brauchbare Dauerlösung sein kann, ein weiterer Ausbau der Buhne H aus Gründen zu hoher Kosten ausgeschlossen werden muß, ist die dritte Vorgehensweise zu verfolgen.

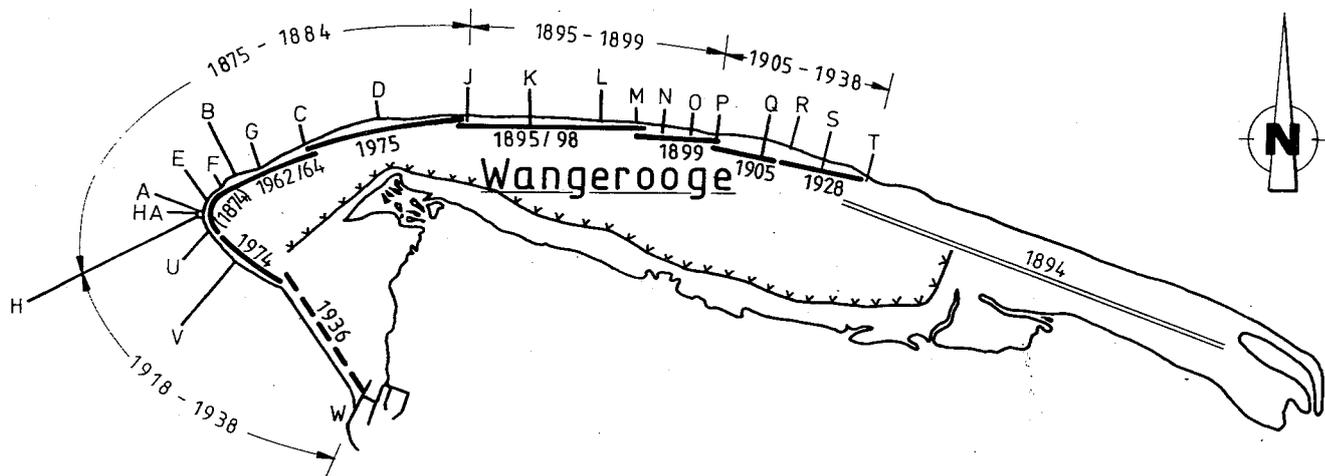
Nachwort

Für die Beurteilung der Inselsituation und die Erarbeitung von Vorschlägen für einen zukünftigen Inselschutz wurden zahlreiche Schwimmkörperbahnen aufgezeichnet, Dauerstrommessungen durchgeführt, Sandwanderungsuntersuchungen mit radioaktiven und fluoreszierenden Tracern vorgenommen sowie Bodenproben analysiert. Ebenso wurden die Ergebnisse intensiver Land- und Seevermessungen im vorliegenden Bericht verarbeitet.

Zu dem Problem des Inselschutzes wurden seit langem viele Berichte verfaßt und ebenso viele kontroverse Meinungen geäußert. Jetzt beginnt jedoch die Zeit, die baldiges Handeln erfordert.

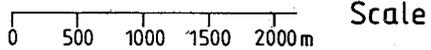


Anl. 1 : Die Ganglinie der Häufigkeit von Sturmtiden mit Windstau ≥ 130 cm am Pegel Wilhelmshaven – Alter Vorhafen. Der oberen Grafik wurde die Ganglinie der mittleren Sonnenfleckenanzahl überlagert.



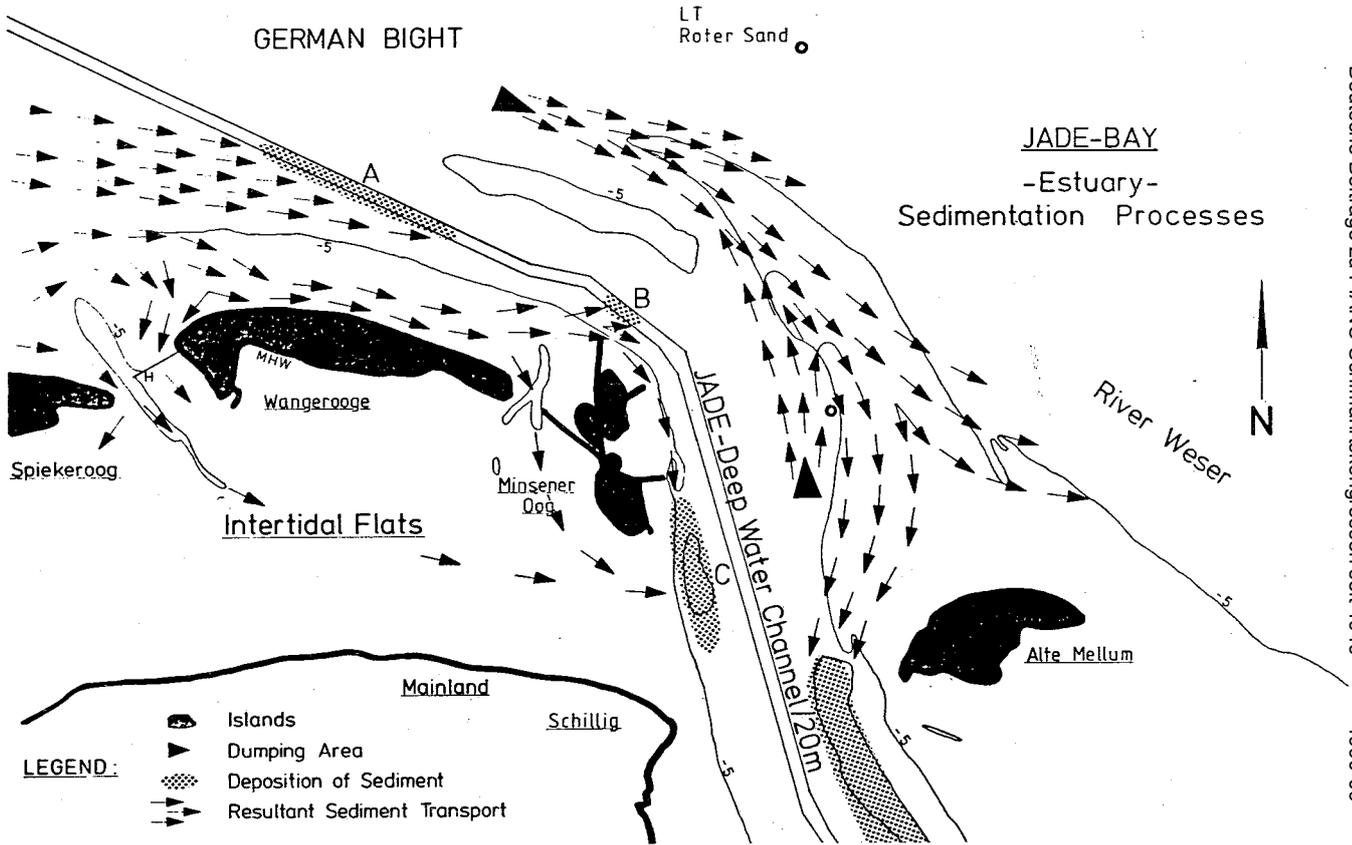
LEGEND:

- A-W Groynes
- Heavily armoured zones
- - - Lightly armoured zones
- == Sand fencing
- x x x Dike



Wangerooge
Groyne System and Shore
Protection Structures

Anl. 2 : Das Bühnen- und Deckwerkssystem der Insel Wangerooge

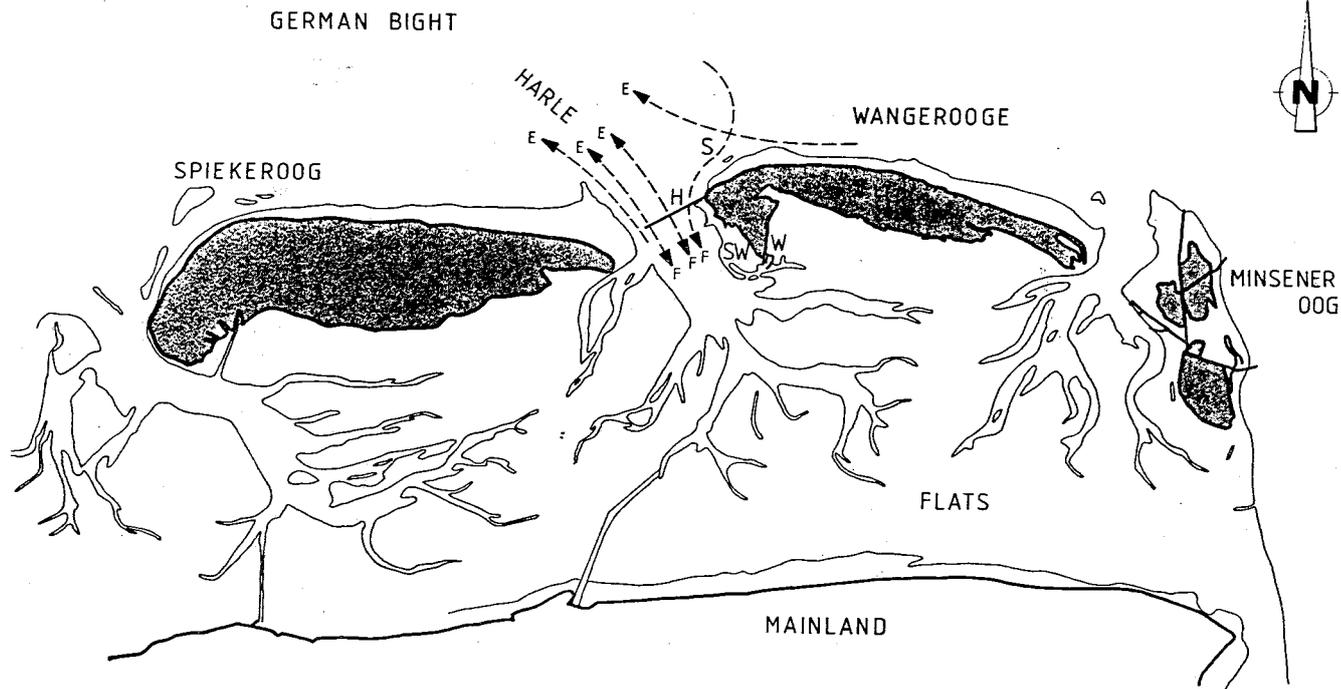


Anl. 4 : Resultierende Sedimentbewegungen um Wangerooge in der West-Ost-Wanderung

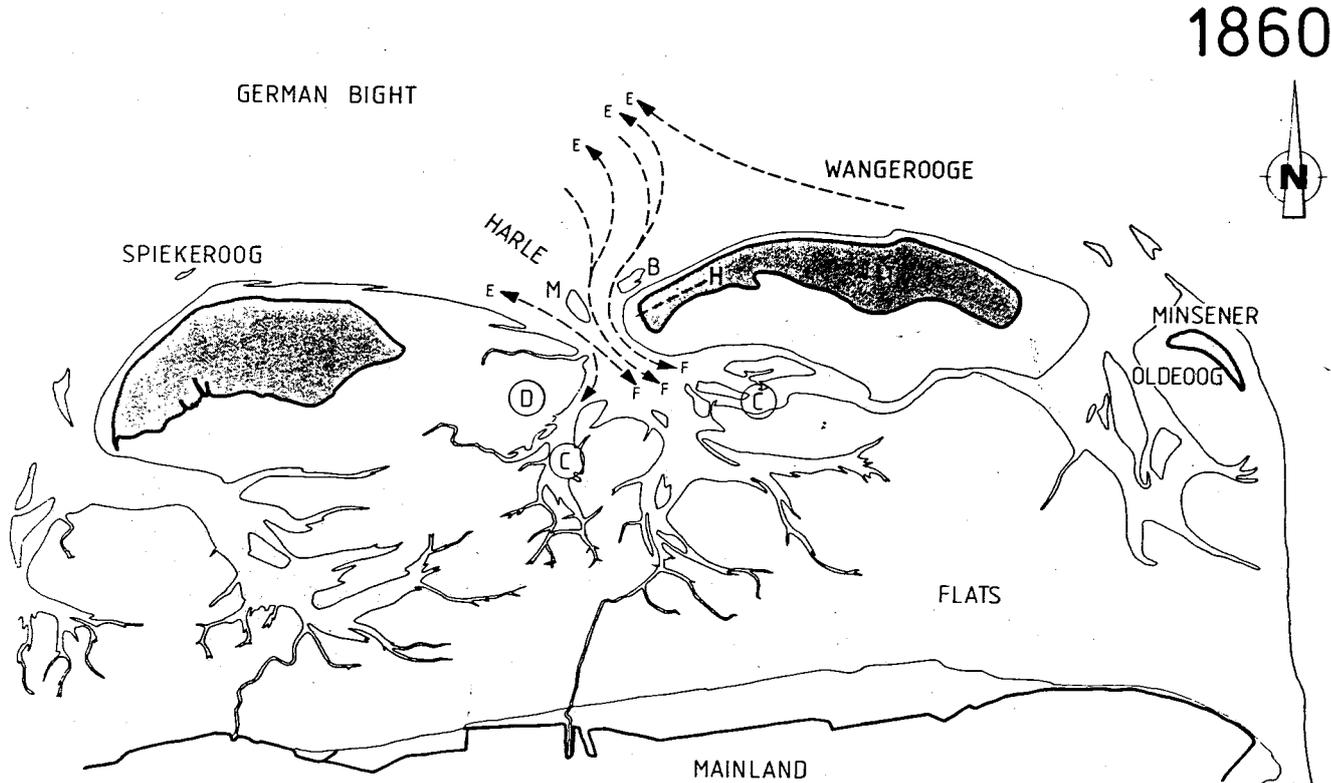
1988

Deutsche Beiträge zu PLANOC-Schiffahrtskongressen seit 1949

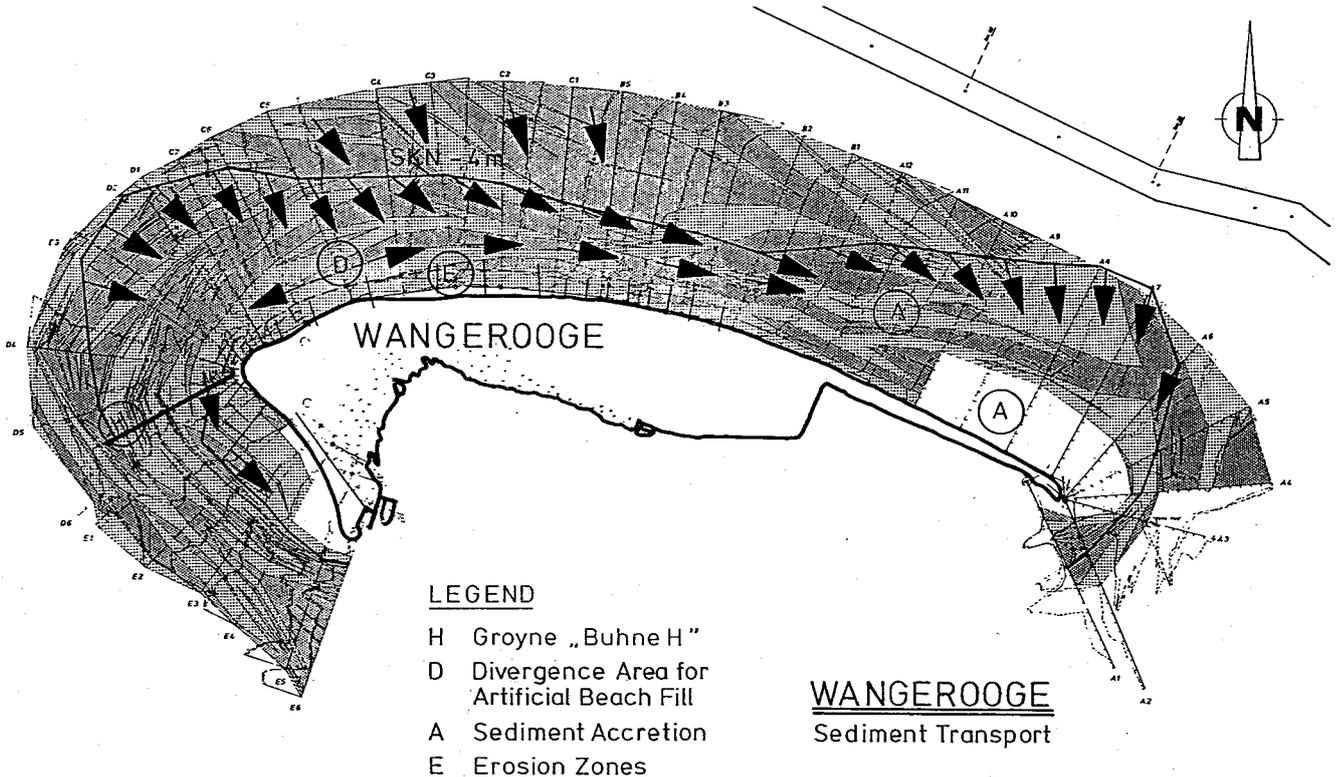
1990-09

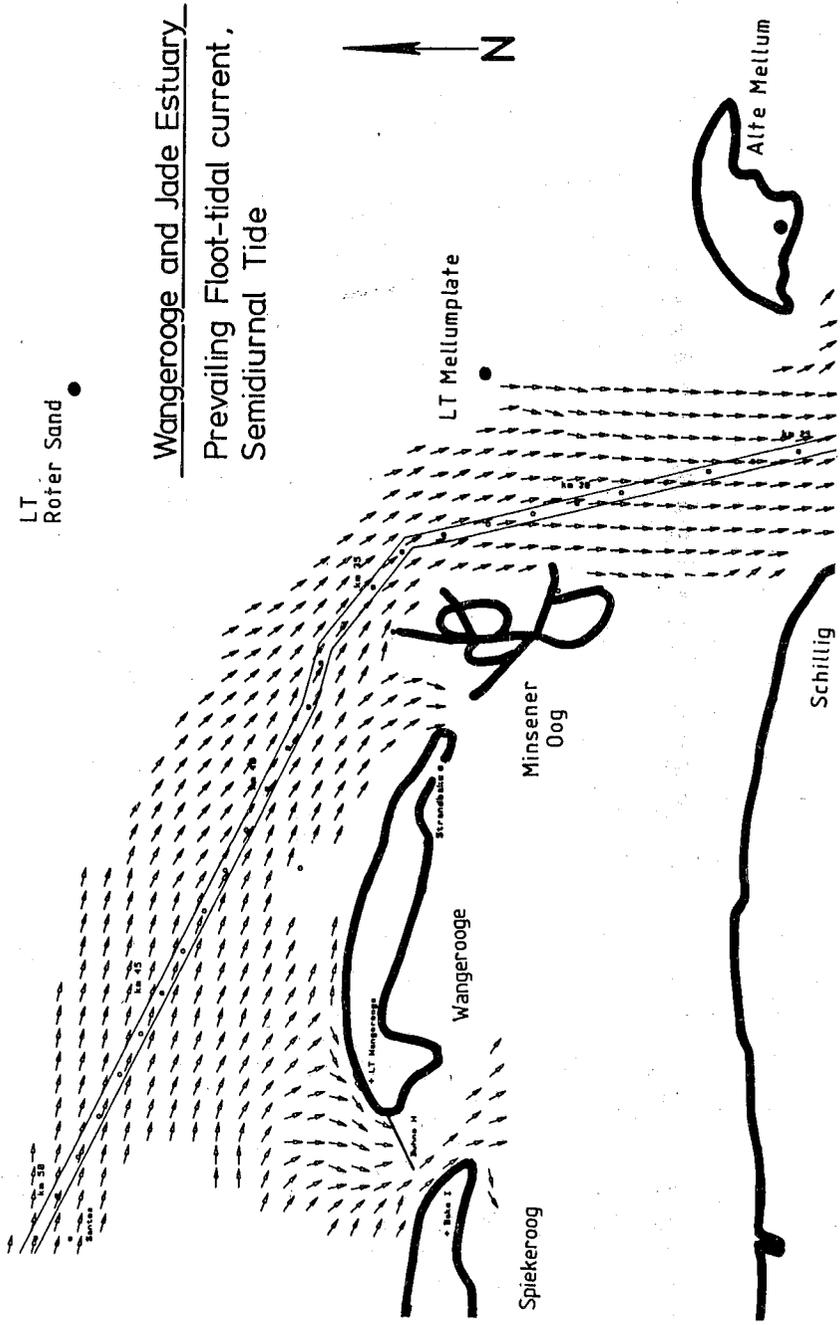


97 Anl. 5 : Der heutige Verlauf der Tideströme im Harle Gat

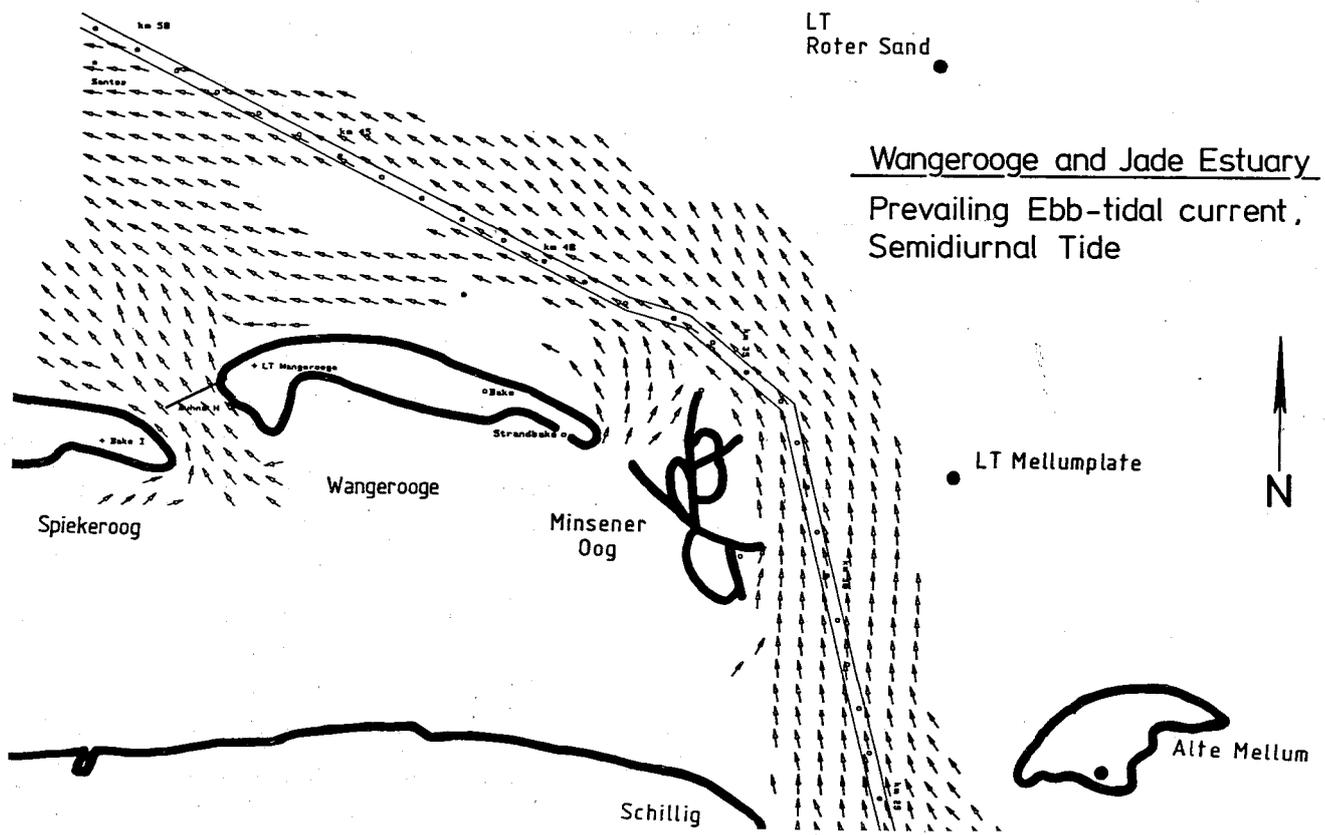


Anl. 6 : Der Verlauf der Tidenströme im Harle Gat um 1860





Anl. 8 : Richtungen der Tideströme bei Wangerooge : Flut



Anl. 9 : Richtungen der Tideströme bei Wangerooge : Ebbe

Abteilung II

Seehäfen und Seeschiffahrtsstraßen

(für die gewerbliche und die Sportschiffahrt und den Fischfang)

zu Thema 2. 4:

Thema des deutschen Berichts

Innovative Technologien und Systeme für die deutschen Seehäfen

Berichterstatter:

Dipl.-Volkswirt Klaus Heitmann, Zentralverband der deutschen Seehafenbetriebe e.V., Hamburg

Dipl.-Ing. Wolfgang Becker, Amt für Strom- und Hafenanbau, Hamburg

Inhalt

1.	Bedarf an technologischer Weiterentwicklung	103
2.	Schwerpunkte der Forschungs- und Entwicklungsprogramme	104
2.1	Container-Terminal 2000	104
2.2	Information und Kommunikation	106
3.	Anpassung der Infrastruktur	108
4.	Wirkung und Bedeutung der Vorhaben	110

Zusammenfassung

In den deutschen Seehäfen werden verstärkt Bemühungen unternommen, die eingesetzten Technologien weiterzuentwickeln. Die einzelnen Vorhaben konzentrieren sich auf zwei Bereiche, den Ausbau der Informations- und Kommunikationssysteme sowie auf die Optimierung und zunehmende Automatisierung der technologischen Verfahren zum physischen Ablauf. Die notwendige Weiterentwicklung auf technologischem Gebiet dient der Erhaltung und Verbesserung der Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Seehäfen und soll den bestehenden Wettbewerbsvorsprung im Bereich der Datenverarbeitungssysteme sichern.

Diese Vorhaben setzen einen entsprechenden Ausbau der staatlichen und überbetrieblichen Infrastruktur der Häfen voraus. Die zuständigen Institutionen haben bereits erste Maßnahmen eingeleitet.

1. Bedarf an technologischer Weiterentwicklung

Im Seeverkehr vollzieht sich ein Strukturwandel, der in seinen Auswirkungen auf die Seehäfen von den Umschlagplätzen weniger die Anpassung an ein Mengenwachstum als vielmehr Rationalisierung der Betriebsabläufe und bessere Organisation der Güterströme verlangt. Die Seehäfen erbringen ihre Leistungen eingebunden in intermodale Transportketten, von denen in zunehmendem Maße eine Optimierung durch EDV-gesteuerte Informationssysteme erwartet wird. In Zukunft werden die Seehäfen daher noch mehr Rationalisierungsreserven als bisher ausschöpfen und sich noch stärker in die logistischen Systeme der Verloader und Reedereien eingliedern müssen.

Die deutschen Seehäfen haben frühzeitig begonnen, sich auf diese Entwicklungen einzustellen und ihre Anlagen und Einrichtungen den strukturellen Veränderungen auf den Transportmärkten angepaßt. In der Leistungsfähigkeit ihrer Einrichtungen nehmen die deutschen Seehäfen nicht nur in Europa eine Spitzenposition ein. Die Technologie der zum physischen Ablauf eingesetzten Umschlaggeräte und Lagereinrichtungen ist auf einem hohen Stand. Ebenso befinden sich hochleistungsfähige betriebliche, überbetriebliche und hafenübergreifende Datenverarbeitungssysteme im Einsatz. Aufgabenstellung für die Zukunft ist daher die Realisierung optimaler Abläufe unter Nutzung von Information und Technik, wobei das Ziel die Optimierung der logistischen Funktionen der deutschen Seehäfen ist.

Es werden daher verstärkt Bemühungen unternommen, die eingesetzten Technologien sowohl im Bereich von Umschlag und Lagerung als auch auf dem Gebiet der Informations- und Kommunikationssysteme weiterzuentwickeln. Durch den Einsatz neuer Technologien und Methoden soll die Leistungsfähigkeit des Umschlag- und Transportablaufs in den deutschen Seehäfen erhöht sowie die Kommunikation innerhalb der Seehafenverkehrswirtschaft und die kommunikative Anbindung der Hinterlandverkehre verbessert werden. Die notwendige Weiterentwicklung auf technologischem Gebiet dient der Erhaltung und Verbesserung der Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Seehäfen und soll den bestehenden Wettbewerbsvorsprung im Bereich der Datenverarbeitungssysteme sichern.

Die deutschen Seehäfen reagieren damit auch auf die Herausforderungen des europäischen Binnenmarktes 1993, der nicht nur zu einer noch stärkeren Bündelung von Verkehrsströmen führen wird, sondern auch zu einer Umlenkung und zu standortpolitischen Neuorientierungen bei der Sammlung und Verteilung von Gütern. Nach Fortfall aller ökonomischen Binnengrenzen in diesem Großraum Europa werden die Seehäfen an den dann nur noch bestehenden ökonomischen Außengrenzen der Gemeinschaft eine größere Bedeutung als bisher erhalten. Noch weit mehr als heute werden dann Qualität, Zuverlässigkeit, Schnelligkeit, Vielfalt der Dienstleistungen und Kosten über die Wahl des Hafens entscheiden.

Die Beschleunigung im Durchsatz zwischen Schiff und Kai sowie im Terminal und zwischen Terminal und Landverkehrsträger ist nur mit Hilfe hochwertiger prozeßgesteuerter Umschlaggeräte und moderner datenverarbeitungsgestützter Ortungs-

Optimierungs- und Dispositionsverfahren möglich. Produktionssysteme mit einem so hohen Integrationsgrad unterschiedlichster technologischer Komponenten sind bisher in den Seehäfen nicht bekannt. Prozeßgesteuerte Betriebssysteme für den Umschlag zu erarbeiten, aber auch komplexe Kommunikations-, Informations- und Datenverarbeitungssysteme, sind Aufgaben, die die Möglichkeiten der einzelnen Unternehmen überfordern und eine gemeinsame von außen unterstützte Anstrengung notwendig macht. An dem vom Bundesminister für Forschung und Technologie geförderten Forschungsprogramm „Innovative Seehafentechnologien“ sind daher die Kooperationsgemeinschaft ISETEC aus Hamburg und Bremen sowie die Arbeitsgruppen ISAS und ISAN aus Schleswig-Holstein und Niedersachsen beteiligt.

2. Schwerpunkte der Forschungs- und Entwicklungsprogramme

Die einzelnen Vorhaben konzentrieren sich auf zwei Bereiche, den Ausbau der Informations- und Kommunikationssysteme sowie auf die Optimierung und zunehmende Automatisierung der technologischen Verfahren zum physischen Ablauf. In diesem Bereich der Entwicklung neuer Umschlag- und Lagertechniken für den Hafen steht der Containerumschlag mit datenverarbeitungsgestützter Vernetzung und einer ganzheitlichen, automatisierten Prozeßsteuerung im Mittelpunkt.

2.1 Container-Terminal 2000

Rahmenprojekt ist die Entwicklung und Implementierung eines prozeßgesteuerten Container-Umschlagssystems zur Einsatzplanung und Steuerung der am Umschlag beteiligten Geräte. Neben der Realisierung technischer Voraussetzungen, wie z.B. eines digitalen Datenfunk-Kommunikations-Systems, sollen Verfahren und Systeme zur Optimierung des Geräteeinsatzes und zur Platzplanung für die An-/Auslieferung und Lagerung der Container entwickelt werden. Dabei wird die computergestützte Schiffsplanung aufgrund der Wechselbeziehung zur landseitigen Platzplanung in die Systementwicklung mit einbezogen.

Der Einsatz der am Containerumschlag im Seehafen beteiligten Geräte (Van Carrier, Service Trailer und Containerbrücken) kann heute nicht optimal gestaltet werden. In einem flexiblen Gesamtsystem sollen daher der Fahrzeugeinsatz optimiert, die Geräteauslastung gesteigert und die Informationsaktualität und Betriebstransparenz erhöht werden. Für die perfekte Platz- und Schiffsplanung wird ein interaktives DV-System entwickelt. Digitale Kommunikation mit den Transportgeräten und die verbesserte Disposition an den Containerbrücken sind weitere wesentliche Bestandteile des geplanten Container-Terminal-Steuerungssystems.

Zur Realisierung einer prozeßgesteuerten Geräteeinsatzplanung ist auch die Entwicklung eines Ortungs- und Positionierungssystems für mobiles Umschlaggerät und Container erforderlich. Aus den heute angewandten Technologien für Positionsmeßsysteme

me soll ein spezifisches System für die Van-Carrier-Ortung mit Ankoppelung an den Prozeßrechner entwickelt werden, um Suchprozesse und Leerfahrten zu vermeiden und Stellflächen optimaler zu nutzen.

Der Container kann als logistisches Element der Transportkette seinen vollen Rationalisierungseffekt nur entfalten, wenn er an allen Schnittstellen des Transports identifiziert wird und zeitnah in die entsprechenden Dispositionssysteme eingeht. Im Gegensatz zur heutigen manuellen Erfassung bietet die Automatisierung den Vorteil, die Informationen fehlerfrei zu erfassen und den Informationsfluß sowie die Abwicklung zu beschleunigen. Es wird daher untersucht, welche Lesesysteme sich für die Containeridentifizierung eignen und ob sie in den Seehafenterminals eingesetzt werden können.

Neben der Identifizierung des Containers ist die lückenlose Kenntnis über den Zustand der Container eine weitere Voraussetzung für eine effiziente Steuerung des Ladungsflusses. Eine verspätete Erkennung von Containerbeschädigungen kann zu einer Beschädigung der Ladung führen und macht kostenintensive Zusatztransporte und Umdispositionen notwendig. Auch hier bietet die Automatisierung die Möglichkeit, Schäden am Container weitestgehend fehlerfrei zu erfassen und den Informationsfluß zu beschleunigen. Da auf dem Markt noch keine Systeme zur Container-Schadenserkennung angeboten werden, andererseits die grundlegenden Technologien aber vorhanden sind, werden entsprechende Systeme für eine Zustandkontrolle des Containers konzipiert.

Eine deutliche Steigerung der Leistungsfähigkeit und damit Erhöhung der Produktivität von Containerbrücken wird angesichts steigender Tageskosten in der Containerschiffahrt erforderlich. Es wird daher untersucht, welche Automatisierungsschritte des Lösch-/Ladeprozesses bzw. technische Neukonzeptionen anwendbar sind. Im einzelnen geht es dabei um die Anwendung von Verfahren zur automatischen Schwingungsdämpfung, zur dynamischen Abstandsmessung, zum Ausgleich von Relationsbewegungen sowie um die Konzeption eines innovativen Kranrechners. Darüber hinaus sollen Arbeitsschutzmaßnahmen die Belastung des Brückenpersonals mindern.

Die Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit der Geräte und Anlagen sollen durch ein DV-gesteuertes Planungs- und Steuerungssystem optimiert werden. Wartung, Instandhaltung und Materialwirtschaft sind dabei Inhalte systematisch vernetzter Subsysteme.

Die derzeitige Form des Umschlags massenhafter Stückgüter ist äußerst personal- und zeitaufwendig und damit kostenintensiv. Es ist daher ein automatisiertes System mit zentraler Weichensteuerung nach dem Elevatorprinzip in Vorbereitung, um den Kraneinsatz und Zwischentransporte zu ersetzen.

Für die Zwischenlagerung von Containern wurde ein Containerhochregallager entwickelt, das in flächensparender Kompaktausführung verfahrbarer, treppenförmiger Regale den direkten, vertikalen Zugriff auf jeden gestauten Container ermöglicht.

Das vollautomatisierbare Containerhochregallager kann als integrierter Baustein eines prozeßgesteuerten Terminals eine maximale Flächenausnutzung bei Erhalt der Flexibilität der Umschlagleistung erreichen.

Außerdem wurde ein Gelenkkran für die automatisierte Zwischenlagerung von Containern auf modernen Terminals sowie als alleiniges Container-Kransystem für kleine Häfen zu einem Container-Lagerplatz-Gelenkkran weiterentwickelt, dessen kennzeichnende Merkmale ein einziger Festpunkt für alle Lagerplatzbewegungen von Containern und der sichere vollautomatische Kranbetrieb sind.

Auch für andere Güter sollen die Umschlag-, Lager- und Transporttechniken verbessert werden. Im einzelnen wird untersucht, wie der Umschlag eines besonders empfindlichen Gutes unter ökologischen und ökonomischen Gesichtspunkten verbessert werden kann. Bei diesem Projekt werden technische Lösungsmöglichkeiten untersucht, das Aerosol in der Transportkette bei der Lagerung und beim Umschlag zu reduzieren, um den heutigen ökologischen Anforderungen gerecht zu werden und mit verschiedenen Produktqualitäten auf die steigenden Kundenanforderungen kurzfristig reagieren zu können.

Zudem wird ein Konzept entwickelt, wie der Materialfluß unter technisch-organisatorischen und wirtschaftlichen Randbedingungen im Hafenbetrieb verbessert werden kann. U. a. sollen durch das Konzept störungsbedingte Stillstandszeiten von Anlagen reduziert, Schadensfolgekosten durch Ausfall vermindert, Wartungskosten, -häufigkeit und -zeiten reduziert sowie das Instandhaltungspersonal effektiver eingesetzt, die Anlagensicherheit und -zuverlässigkeit erhöht und die Lebensdauer der eingesetzten Einheiten verlängert werden.

2.2 Information und Kommunikation

Schneller und sicherer Warentransport setzt auch schnellen und sicheren Datentransfer voraus. Effiziente Logistik bedeutet vor diesem Hintergrund, daß die Kommunikation dem Transport der Waren vorausgeht. Dem Hafenkunden bietet ein so verbesserter Service spürbar bessere Dispositionsmöglichkeiten. Außerdem ist die erhebliche Reduzierung papiergebundener Mitteilungen wirtschaftlicher. Weniger Belege bedeuten geringeren Verwaltungsaufwand und folglich auch geringe Kosten. Gleichzeitig erhöhen DV-Systeme die Transparenz, denn Zusammenhänge lassen sich am Bildschirm umfassend darstellen. Voraussetzung ist jedoch ein komplexer Datenverbund, der sämtliche Schnittstellen der Transportkette integriert. Eine Herausforderung ist hier das Problem der Kompatibilität der bereits arbeitenden Systeme bei unterschiedlichen Partnern.

Um den mit einigen Systemen erzielten Wettbewerbsvorsprung deutscher Seehäfen zu halten und die Leistungsfähigkeit weiterhin zu steigern, ist es erforderlich, bestehende Systeme zu optimieren, neue Systeme zu entwickeln und vor allem eine überbetriebliche Kommunikation zwischen Systemen sowohl innerhalb der Seehafenverkehrswirtschaft als auch zu den Hinterlandverkehren zu ermöglichen.

Mit dem Vorhaben „Hafensteckdose“ wird in deutschen Seehäfen eine universale, einheitliche Schnittstelle angestrebt, die entlang der gesamten Transportkette eine offene Telekommunikation ermöglicht. Dabei gilt es, die Informationsbeziehungen zwischen den Bereichen der Hafenwirtschaft und ihren Kunden sowie den Seegüterumschlagplätzen untereinander auf der Basis moderner Informations- und Kommunikationssysteme auszubauen und weiterzuentwickeln.

Hierfür wird eine generelle EDV-technische Kommunikationsschnittstelle für alle an der Kommunikation mit den einzelnen Unternehmen der Seehafenverkehrswirtschaft interessierten Firmen nach dem Prinzip entwickelt, daß jeder mit dem Hafen auf Basis seiner eigenen Systeme kommunizieren kann. Eine derartige Universalschnittstelle soll angesichts fehlender Standards als Adapter im technischen und als Dolmetscher im dateninhaltlichen Bereich wirken. Zugleich wird die sogenannte Hafensteckdose, je nach Anforderung, die Verbindung zu den jeweiligen Netzen und Rechnern aufbauen und danach ordnungsgemäß beenden. Daneben soll die Möglichkeit eröffnet werden, über einen Bildschirm zu verschiedenen Zielrechnern zu gelangen (terminal-sharing). Zentrale Anwendungen und Datenhaltung z. B. für Gefahrgutinformationssysteme und Bundesbahn sind Systeme, die solche technischen Einrichtungen erfordern.

Die Dienstleistung „Hafensteckdose“ ergänzt damit die aus den Anforderungen der Just-in-time-Produktion immer stärker nachgefragten und bereitgestellten Logistik-Informationssysteme und den Informationsverbund mit den Geschäftspartnern.

Im Unterschied zu der Entwicklung eines zentralen Kommunikationssystems soll für die weit auseinanderliegenden Seehäfen ein dezentrales Kommunikationssystem entwickelt werden. Der Verbund und die Adaption unterschiedlicher Hardware wird über Netzwerke und ein zu entwickelndes Kommunikations-Interface hergestellt.

Darüber hinaus werden die vorhandenen Container-DV-Systeme deutscher Seehäfen und die Logistik-Informationssysteme im Hinterlandverkehr mit dem Logistik-Informationssystem der Bundesbahn verbunden. Durch den Aufbau örtlicher Systeme sollen die eisenbahnspezifischen Abläufe innerhalb des Seehafens verbessert werden.

Um die Wettbewerbssituation im Containerverkehr über deutsche Seehäfen zu festigen, ist die Optimierung der logistischen Funktionen im Bereich der Hinterlandverkehre erforderlich. Die heute existierenden Container-Informationssysteme und -Kontrollsysteme beschränken sich jeweils nur auf einzelne Unternehmensbereiche. Mit dem Zusammenschluß der verschiedenen Informationssysteme soll entlang der gesamten Transportkette eine umfassende Kontrolle ermöglicht werden, die zu einer Minimierung der Transportkosten genutzt werden kann.

Die Deutsche Bundesbahn bietet in ihrem Bereich über die Schnittstelle GATEWAY und den dahinterliegenden zentralen Anwendungen eine Plattform für den Austausch von Logistikdaten. Mit der Anbindung der DV-Systeme der deutschen Seehäfen an

die DB-Systeme via GATEWAY soll eine lückenlose Kontrolle der Verkehre entlang der gesamten Transportkette ermöglicht werden. Aktuelle Informationen über Zustand und Bewegung der Waren und Transportträger werden den beteiligten Unternehmen frühzeitig verfügbar gemacht, so daß erstmalig in diesem Bereich eine optimale Disposition von Geräten und Personal möglich ist.

Auf der Basis des angestrebten umfassenden Kommunikations- und Datennetzes lassen sich weitere spezielle DV-Systeme einrichten. Ein solches Projekt ist die DV-gestützte Abwicklung des Gefahrgutumschlags im Hafen.

Im einzelnen ist die genaue Verfolgung der Gefahrgutbewegungen im Hafen vorgesehen sowie die Bereitstellung wichtiger Informationen aus der Stoff- und Regelwerkdatenbank. Diese Systeme sollen alle Beteiligten schneller mit aktuellen Informationen versorgen, um die Sicherheit in den Häfen zu gewährleisten und in einem eventuellen Schadensfall die Bekämpfungsmaßnahmen effizient einleiten zu können. Die Gefahrgutabwicklung innerhalb des Hafengebietes wird damit transparenter und sicherer.

Für die problemfreie Nutzung des Angebots auch seitens kleiner und mittlerer Unternehmen werden kostengünstige EDV-Lösungen erarbeitet. Die große Anzahl von mittelständischen und kleinen Firmen soll in die Vorteile eines überbetrieblichen Datenkommunikationssystems innerhalb der Seehafenverkehrswirtschaft eingebunden werden. Dabei soll die Einstiegsschwelle so niedrig wie möglich gehalten werden, d.h. es werden Systeme entwickelt, die über verschiedene Medien dem Spediteur oder dem die Speditionen selbst vornehmenden Exporteur gestatten, zu niedrigsten Kosten die speditionelle Dokumentation und die damit verbundene Kommunikation zu realisieren.

Schließlich soll die zentrale Annahme und hafeninterne Verteilung von Stückgütern im Export-Sammelladungsverkehr DV-mäßig untersucht werden. Wegen der schnell wechselnden Vorgänge in der operationellen Warenbewegung konnte die administrative Abwicklung nicht immer schritthalten. Mit der Entwicklung eines Informationssystems soll die Synchronität zwischen administrativer Steuerung und operativem Vorgang wiederhergestellt und durch Anschluß an bereichsübergreifende Datennetze neue dispositive Instrumente für Ladung, Personal- und Geräteinsatz angeboten werden.

Soweit die Schwerpunkte der derzeit in Arbeit befindlichen Projekte.

Um die Interessen der im Hafen Beschäftigten bei der Planung und Entwicklung der neuen Technologien zu berücksichtigen, werden die Teilprojekte begleitend auf ihre Sozialverträglichkeit hin untersucht.

3. Anpassung der Infrastruktur

Die beschriebenen Entwicklungen von Technologie und Kommunikation werden sich nur dann in die Realität umsetzen lassen, wenn durch den Ausbau der staatli-

chen und überbetrieblichen Infrastruktur die notwendigen Voraussetzungen dafür geschaffen werden. Dazu sind sowohl bauliche als auch organisatorische Maßnahmen erforderlich.

Am deutlichsten werden sich die Veränderungen im Umfeld der heutigen Stückgutumschlaganlagen zeigen. Die durch neue Kommunikationsangebote verbesserten Logistiksysteme und die Konzentrationsprozesse in der nationalen und internationalen Transportwirtschaft eröffnen den Betreibern der Umschlaganlagen die Chance, zusätzliche Dienstleistungen anzubieten. Diese Funktionen müssen auf den Terminals oder in deren unmittelbarer Nähe untergebracht werden. Dazu ist die Erschließung von bislang nicht genutzten Reserveflächen und die Umstrukturierung älterer Hafensareale erforderlich. Wenn durch die Zuschüttung nicht mehr benötigter Hafenbecken und die dadurch mögliche Neuorganisation der Landflächen nicht ausreichend Raum für neue Aktivitäten geschaffen werden kann, müssen rechtzeitig neue Flächen zur Erweiterung der Häfen zur Verfügung gestellt werden. Nur so kann den am alten Standort nicht mehr erweiterungsfähigen Betrieben oder ansiedlungswilligen Neubewerbern ein attraktives Angebot unterbreitet werden.

Die Kaimauern der Umschlaganlagen werden künftig häufiger von größeren Containerschiffen frequentiert werden, die in vielen Fällen auch von größeren und schwereren Containerbrücken (post-panmax) bedient werden müssen. Außerdem wird im Zuge der weiteren Rationalisierung durch bessere Datenkommunikation und optimale Logistiksysteme die Kapazität der Schiffe besser ausgelastet werden, was generell eine häufigere Ausnutzung der größtmöglichen Tiefgänge zur Folge haben wird. Beide Aspekte werden zur Verstärkung vorhandener und zum Bau neuer, tragfähiger Kaimauern führen.

Eine straffere Organisation der weltweiten Transportketten wird die Umlaufgeschwindigkeit der Schiffe weiter erhöhen. Es wird zu untersuchen sein, ob und wie eine Beschleunigung von Revierfahrten und die Verkürzung oder Vermeidung von Zeitverlusten durch Schleusungen oder komplizierte Wendemanöver zu erreichen sind.

In gleicher Weise wird der Verkehrsfluß zwischen Hafen und Hinterland optimiert werden müssen. Moderne logistische Konzepte dürfen nicht durch quantitative oder qualitative Grenzen der Hinterlandverbindungen behindert werden. Daher müssen Kapazitätsengpässe bei Straßen, Bahnhöfen und Gleisen sowie Binnenwasserstraßen beseitigt und diese Verkehrsstrassen auf einen durchrationalisierten Verkehrsfluß vorbereitet werden.

Zur Sicherung der qualitativen Leistungsbereitschaft und flexibler Reaktionsmöglichkeiten auf die Anforderungen neuer Logistikkonzepte müssen Serviceangebote der Verkehrsträger und der Hafenbetriebe das rein quantitative Angebot unterstützen, wobei der Ausbau der überbetrieblichen Verkehrs- und Kommunikationsinfrastruktur eine wichtige Voraussetzung darstellt. Darunter fallen z.B. die Einrichtung von Autohöfen, Verkehrsleitsystemen und Informationsmöglichkeiten für den Lkw-

Verkehr, wie z.B. Ladungsbörsen, oder kurze und garantierte Transportzeiten sowie der Ware vorausseilende Informationen bei der Bahn und ausgefeilte, kombinierte Transportangebote aller Hinterlandverkehrsträger. Die administrativen Institutionen unterstützen die Hafen- und Transportwirtschaft dabei durch den Ausbau der Kommunikationswege, initiieren entsprechende Forschungsprogramme für neu zu erschließende Bereiche der Datenkommunikation und beteiligen sich aktiv an der Entwicklung von servicefreundlicher Software dort, wo sie im Warenfluß integriert sind wie beim Zoll oder wie bei der Hafenbahn.

4. Wirkung und Bedeutung der Vorhaben

Durch die Realisierung der Projekte werden sowohl die Produktivität als auch die Leistungsqualität der Dienstleistungen deutscher Seehäfen erheblich zunehmen. Die weitere Optimierung des Umschlagprozesses bietet mehr Sicherheit, Schnelligkeit und verbesserte Wirtschaftlichkeit, bei einem für den Hafenkunden äußerst günstigen Kosten-Nutzen-Verhältnis.

Die Logistik im Hafen wird durch die vorgesehene möglichst optimale Kommunikation zwischen allen beteiligten Unternehmen zu allen Funktionen der Disposition und des physischen Ablaufs in starkem Maße verbessert. Durch die angestrebte Erleichterung des Informationsflusses werden über die Verbesserung der Disposition hohe Produktivitätszunahmen und durch die verbesserte Möglichkeit zur Kontrolle eine Steigerung der Zuverlässigkeit der Dienstleistungen deutscher Seehäfen erwartet.

Eine weitgehende Abstimmung der Logistik und Technologie zu den see- und landseitigen Zu- und Ablaufverkehren wird die deutschen Seehäfen noch intensiver in die Ladungsströme der Transportketten integrieren. Wichtige Schnittstellen zum Hinterlandverkehr bestehen z.B. gegenüber der Deutschen Bundesbahn. Der automatisierte Informationsaustausch im Containerverkehr zwischen Seehafen und Hinterlandverkehr wird das Einzugspotential deutscher Seehäfen stärken und einen optimalen Transportfluß für die verladende Wirtschaft gewährleisten.

Durch die Verfügung über die entsprechende Technologie wird die Übernahme weiterer Dienstleistungen durch die deutschen Seehäfen ermöglicht. Entsprechend dem Denken in Transportketten können zunehmend Funktionen der Distribution der Versender in deutsche Seehäfen verlagert werden. Die Umschlagplätze wandeln sich damit zu Dienstleistungszentren, die Problemlösungen für die komplette Logistikkette vom Hersteller bis zum Empfänger anbieten und immer mehr Distributionsaufgaben übernehmen können.