PIANC•AIPCN
Schifffahrt, Häfen, Wasserstraßen

23.
Internationaler Schifffahrtskongress

Ottawa / Kanada (Juli 1973)
Deutsche Beiträge

Abteilung I — Binnenschiffahrt

Thema 1

Mittel und Methoden, um die Wirtschaftlichkeit, die Sicherheit und den Betrieb der Binnenschiffahrt zu verbessern, insbesondere durch die Anwendung der Elektronik

Berichterstatter: Prof. Dr.-Ing. G. Wiedemann, Ministerialdirigent im Bundesverkehrsministerium Bonn, Technische Universität Hannover.

Teil I:

Dipl.-Ing. W. Hofmann, Oberregierungsbaurat in Bundesanstalt für Wasserbau — Datenverarbeitungszentrale der Wasser- und Schiffahrtsverwaltung — in Karlsruhe; Rechtsanwalt H. U. Pabst, Geschäftsführer des Vereins zur Wahrung der Rheinschifffahrtsinteressen in Duisburg.

Teil II:

Prof. Dr.-Ing. W. Leutzbach, Technische Universität Karlsruhe — Lehrstuhl und Institut für Verkehrswesen —; Dr.-Ing. R. Koehler, Ingenieurbüro für Verkehrswesen, Karlsruhe; Dipl.-Ing. B. Leutwein, Ingenieurbüro für Verkehrswesen, Karlsruhe.

Zusammenfassung

Es werden zwei Beispiele dafür gegeben, daß durch die Elektronik zusätzlich Mittel und Methoden für die Binnenschiffahrt zur Verbesserung der Wirtschaftlichkeit und der Sicherheit des Betriebes entstehen können. Im ersten Abschnitt wird gezeigt, wie durch die Einschaltung einer elektronischen Datenverarbeitung in die Abgabenerhebung an Wasserstraßen der Betrieb für das Schiff und die Verwaltung sicherer und wirtschaftlicher wird und daß hierdurch für viele andere Zwecke wie Statistik, Verkehrsübersicht und auch den Schiffsbetrieb Daten anfallen und verarbeitet werden können, die sonst kaum oder nur mit zusätzlichem Aufwand erhalten werden. Nützlich wäre hierfür und für andere Zwecke ein einheitliches Numerierungssystem für alle Schiffe. Ein Vorschlag ist angeführt. Im zweiten Abschnitt wird ein Beispiel gegeben, wie durch elektronische Datenverarbeitung in Form von Simulationsmodellen Erkenntnisse über den Ablauf des Verkehrs auf Wasserstraßen gewonnen werden, die anders gar nicht oder nur mit erheblichem Zeit- und Geldaufwand möglich sind. Sie sind aber für einen sicheren und leichten Verkehr auf den Wasserstraßen immer notwendigere Unterlagen.

Inhalt

Seite

I. Rationalisierung der Abgabenerhebung und Erfassung von Grunddaten für die Binnenschiffahrt 10

1. bisherige Abgabenerhebung 10
2. Abgabenerhebung mit Hilfe elektronischer Datenverarbeitung 11
3. Erfassung von Grunddaten und Beispiele für ihre Auswertung für die Binnenschiffahrt 11
4. Verbesserungen durch Anwendung der Elektronik 12
5. Mögliche Entwicklung durch ein Numerierungssystem für alle Schiffe 13

II. Erfassung des Verkehrsablaufs auf der Wasserstraße mit Hilfe von Simulationsmodellen ..... Seite 16

1. Freie Strecke ohne Schleusen und in begrenztem Fahrwasser 16

2. Einzelschleusen innerhalb längerer Strecken 22

3. Verbesserung durch Anwendung von Simulationsmodellen 25

In den letzten Jahren sind im Verkehrswesen neben die Konstruktion der einzelnen Elemente wie Fahrzeug, Weg und Umschlagstellen immer mehr Aufgaben getreten, die Bewegungsvorgänge behandeln. Der „Betrieb" im weitesten Sinn gewinnt an Bedeutung. Die Erfahrung hat gezeigt, daß auf diesem Gebiet bisher noch unerschlossene Möglichkeiten liegen, die Wirtschaftlichkeit und die Sicherheit des Verkehrs zu verbessern. Dies gilt auch für den Bereich der Binnenschiffahrt, und zwar für den wirtschaftlichen Sektor und für die Bewegungsvorgänge von Schiff und Gut auf der Wasserstraße selber. Eine weitere Erkenntnis zeigt, daß Bewegungen, die mit einem bestimmten Ziel ausgeführt werden sollen, gesteuert oder geregelt werden müssen. Hierfür sind die Bewegungsvorgänge durch einen Datenfluß zu begleiten, der diese Regelungen richtig auszulösen oder zu begrenzen hat. In der Elektronik, z. B. in der Form der elektronischen Datenverarbeitung (EDV) oder der Simulation von Vorgängen sind hierfür Hilfsmittel gefunden, die Wesentliches zur Klärung, Rationalisierung und Verbesserung des „Betriebes" beitragen können.

Für die Binnenschiffahrt sollen im folgenden an zwei Anwendungsgebieten die vielfältigen Möglichkeiten und Methoden, die die Elektronik auch für sie bietet, angedeutet werden.

Im ersten Abschnitt wird eine Möglichkeit der Datenerfassung und ihrer Ausnutzung gezeigt, wie sie sich aus dem Bemühen ergeben hat, die Abgabenerhebung an den Wasserstraßen der Bundesrepublik Deutschland zu rationalisieren.

Im zweiten Abschnitt wird darauf hingewiesen, daß die Erweiterung der Kenntnisse über die Verkehrsabläufe auf Wasserstraßen mit Hilfe der Elektronik der Form und dem Umfang nach möglich ist.

Die Wirtschaftlichkeit, die Sicherheit und der Betrieb der Binnenschiffahrt werden in beiden Fällen auf verschiedene Weise erheblich verbessert.

I. Rationalisierung der Abgabenerhebung und Erfassung von Grunddaten für die Binnenschiffahrt

1. Bisherige Abgabenerhebung

Die Abgabenerhebung der Binnenschiffahrt an den abgabenpflichtigen Wasserstraßen des Bundesgebietes wird bisher in folgender Weise praktiziert:

Der Schiffsführer füllt im Durchschreibeverfahren auf der Grundlage der Ladepapiere usw. eine von der Wasser- und Schiffahrtsverwaltung vorgeschriebene dreifache Abgabenerklärung aus, in der u. a. folgende Angaben enthalten sind:

a) Schiffskennzeichnung: Schiffsart, Schiffsname, Nationalität, Schiffseigner
b) Abmessungen (Länge, Breite)
c) Tiefgang (wichtig bei Grundberührungen)
d) Tragfähigkeit, Abmessungen
e) Einlade- bzw. Abgangsort (Ladeort)

f) Auslade- bzw. Bestimmungsort (Löschort)

g) Gütermenge

h) Güterart(en)

Der Beamte der ersten in Fahrtrichtung gelegenen dienstbereiten Schleuse (bzw. Hebestelle) stempelt die Nummer der Schleuse und die fortlaufende Nummer der Abgabenerklärung ein, überprüft die Übereinstimmung der Angaben mit den Schiffs- und Ladepapieren und zeichnet die Ausfertigungen ab. Damit hat die Abgabenerklärung die Eigenschaft eines „Fahrscheines" erhalten.

Der Schiffsführer erhält die 2. und 3. Ausfertigung des „Fahrscheines", leitet die 3. Ausfertigung seiner Firma zu und gibt die 2. Ausfertigung vor Verlassen der abgabenpflichtigen Strecke an der letzten zu durchfahrenden Schleuse ab.

2. Abgabenerhebung mit Hilfe elektronischer Datenverarbeitung (EDV)

Inzwischen wird immer mehr die Erhebung der Schiffahrtsabgaben bargeldlos über ein zentrales Stundungskonto abgewickelt. Damit war der Weg freigegeben für eine zentrale Bearbeitung der Schiffahrtsabgabenberechnung und schließlich für eine Übernahme dieser Berechnungen durch die EDV. Die Datenverarbeitungszentrale der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung bei der Bundesanstalt für Wasserbau in Karlsruhe, die auch andere Aufgaben für die Wasserstraßenverwaltung durchführt, wurde hiermit beauftragt.

Voraussetzung der Bearbeitung durch die EDV ist eine entsprechende Verschlüsselung der Daten der Abgabenerklärung. Sie erfolgte in der ersten Phase über ein besonderes Datenblatt, das von besonderem Personal ausgefüllt wurde. Es zeigte sich jedoch bald, daß es möglich und sogar einfacher und fehlersicherer ist, die Verschlüsselungsdaten auf der Abgabenerklärung selbst vom örtlichen Personal der Schleuse (bzw. Hebestelle) eintragen zu lassen. Die so verschlüsselten und geprüften Abgabenerklärungen werden von dort auf dem Postwege zur Datenverarbeitungszentrale in Karlsruhe geschickt.

3. Erfassung von Grunddaten und Beispiele für ihre Auswertung für die Binnenschiffahrt

Die so gewonnenen Daten werden in Karlsruhe nicht nur zur Berechnung der Schifffahrtsabgaben, sondern unter Einsatz einer integrierten Datenverarbeitung für eine Vielzahl von Aufgaben genutzt. Als Beispiele seien folgende genannt:

3.1. Abgabenerhebung

3.11. Schiffahrtsabgabenrechnung alle halbe Monate, firmenweise zusammengefaßt, mit Angabe

des jeweiligen Schiffsnamens,
der Nummer der Schleuse (bzw. der Hebestelle),
der Nummer der Abgabenerklärung,
des Datums der Abfertigung (Lösen des „Fahrscheines"),
der abgabenpflichtigen Strecke von . . . bis . . . ,
der Ladung(en) mit Güternummer,
der Tarifstelle mit Güterklasse und Tarifsatz
sowie des Rechnungsbetrages.

3.12. Rechnungen über Transportorganisationsgebühren, die für die Transportzentralen der Binnenschiffahrt monatlich ausgestellt werden.

3.13. Daneben werden monatlich Zusammenstellungen über die Summen der Abgaben geliefert und bis zum jeweiligen Jahresende für die Jahresübersicht akkumuliert.

3.2. Statistiken

3.21. Gesetzliche Verkehrsstatistik an 19 ausgewählten Schleusen des Wasserstraßennetzes mit monatlichen Durchgangswerten, getrennt nach

— Richtungen
— Art
— Anzahl, beladen und leer
— Tragfähigkeit in t
— Ladung in t und Güterarten

Auch diese Monatswerte werden für die Jahresübersichten in der EDV-Anlage akkumuliert.

3.22. Eine besondere Verkehrsstatistik, nach sogenannten Verkehrsbezirken aufgeschlüsselt, eine Tonnenkilometerstatistik sowie weitere gezielte Statistiken.

Hierbei ist der Einsatz einer computergesteuerten Zeichenmaschine (Plotter) von Nutzen, die über das beschränkte Breitenformat des Schnelldruckers der EDV-Anlage hinaus beliebig große Übersichten ermöglicht.

3.3. Sonderauswertungen

Als Beispiel einer Sonderauswertung kann die Ermittlung des Schiffsdurchgangs am Rhein unterhalb der Moselmündung bei Koblenz genannt werden.

Hier handelt es sich darum, gezielte Aussagen über Tageswerte, Wochen-, Monats- und Jahreswerte der Schiffsdurchgänge zu erhalten, getrennt nach Schiffsart, Schiffsklassen, Tragfähigkeitstonnen, Ladungstonnen, Auslastung u. a.

Obgleich für diesen Bereich keine Zählungen vorlagen, sondern lediglich an der Moselschleuse Koblenz die „Fahrscheine" der Abgabenerhebung und an einer Zählstelle in Koblenz oberhalb der Moselmündung Zählwerte je Tag, lassen sich aus diesen Grunddaten, da sie EDV-gespeichert zur Verfügung stehen, die gewünschten Auswertungen unmittelbar mit Hilfe der Beziehung Verkehr Rhein unterhalb Moselmündung = Verkehr Rhein oberhalb Moselmündung ± „Verkehr Mosel" durchführen.

Es kann außerdem eine Histogrammdarstellung der Häufigkeiten der Tageswerte und eine Darstellung der Tagesganglinie in Diagrammform durch die EDV-Anlage geliefert werden (Bild 1, Bild 2).

4. Verbesserungen durch Anwendung der Elektronik

Neben den eigentlichen Rechnungsstellungen der Abgabenerhebung werden durch die EDV also auch tarif- und verkehrsstatistische Ermittlungen ermöglicht, die früher gar nicht oder nur mit großem Aufwand durchführbar waren.

Außer der Verwaltung können hieraus Schiffahrtsfirmen und Transportzentralen auch auf schiffahrtsbetrieblichem Gebiet Vorteile ziehen.

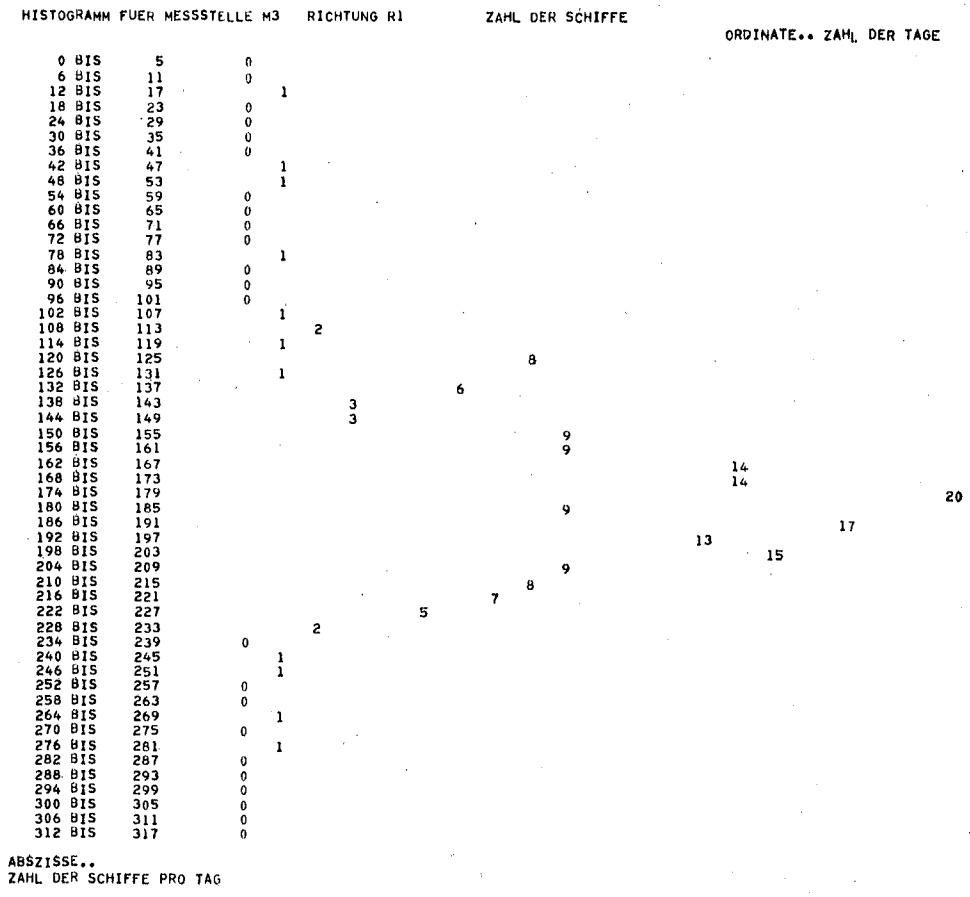


Bild 1

Histogrammdarstellung der Häufigkeiten (Zahl der Schiffe pro Tag) des Schiffsdurchgangs auf dem Rhein bei Koblenz — bergwärtige Richtung — unterhalb der Moselmündung.

Der Verwaltungsaufwand wird gemindert, Hebestellen können vereinigt und in der Regel mit Schleusendienststellen zusammengelegt werden.

Da der Schiffsführer oder ein Schiffsangehöriger im Höchstfall nur zweimal das Schiff zu verlassen hat, nämlich beim „Lösen" und dann beim „Abgeben" des „Fahrscheines", ist hierdurch auch ein entscheidender Beitrag zur Sicherheit des Schiffsbetriebes gegeben.

5. Mögliche Entwicklung durch ein Numerierungssystem für alle Schiffe

Eine wesentliche Verbesserung der Erfassung und Verarbeitung der Daten würde sich ergeben, wenn alle Fahrzeuge nach einem einheitlichen Numerierungssystem gekennzeichnet würden. Frühere Anregungen [1] sind in der Zwischenzeit von der Arbeitsgemeinschaft der Rheinschiffahrt zu folgendem Vorschlag fortentwickelt worden.

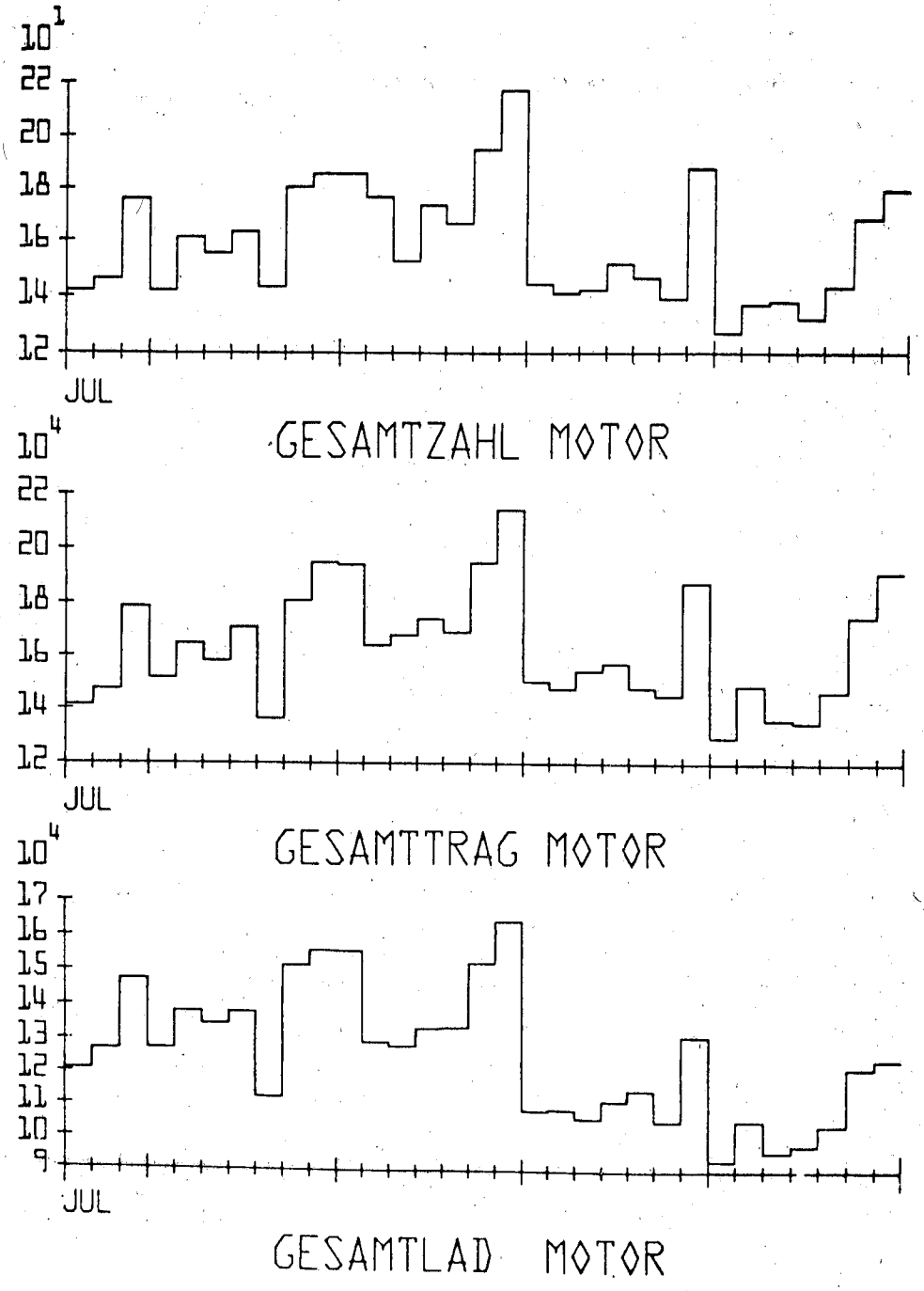


Bild 2

Tagesdaten des Schiffsdurchgangs auf dem Rhein bei Koblenz unterhalb der Moselmündung — bergwärtige Richtung — im Monat Juli 1971.

— Gesamtzahl der Motorschiffe (× 10),
— Gesamttragfähigkeitstonnage der Motorschiffe (× 10^4 t),
— Gesamtladungstonnage der Motorschiffe (× 10^4 t).

Es sollen durch „Numerierung" der Schiffe erfaßt werden:

a) Nationalität (und, falls unerläßlich, Registrierungsort, dessen Angabe dann auch genügt)

b) Schiffsart

c) Schiffsgröße (t) oder -stärke (PS)

d) Eigner

e) Ordnungs-Nummer innerhalb des Unternehmens des Schiffseigners bzw. eines Verbandes

Zu a) Nationalität

Kennzeichnung durch große Buchstaben gemäß Anlage 1 zur Rheinschiffahrtspolizeiverordnung (Kennzeichnung des Registrierungsortes durch die Unterscheidungsbuchstaben der Schiffsuntersuchungs-Kommissionen)

Zu b) Schiffsart

Kennzeichnung durch Ziffern:

0 = Schlepper
1 = Schubboot
2 = Schiebender Selbstfahrer
3 = Selbstfahrer
4 = Motortankschiff
5 = Schleppkahn
6 = Tankschleppkahn
7 = Schubleichter
8 = Tankschubleichter
9 = Fahrgastschiff

Bei weiteren Unterteilungen müßten zwei Stellen bereitgestellt werden.

Zu c) Schiffsgröße

Kennzeichnung durch Ziffern:

0 = Tragfähigkeit bis 250 t oder bis 50 PS
1 = Tragfähigkeit bis 500 t oder bis 100 PS
2 = Tragfähigkeit bis 750 t oder bis 250 PS
. = Tragfähigkeit bis . t oder bis . PS
. = Tragfähigkeit bis . t oder bis . PS
9 = Tragfähigkeit über 2500 t oder über 3000 PS

Zu d) und e)

Größere Schiffahrtsbetriebe mit mehr als 100 Schiffen erhalten nur eine Kennziffer (0 — 9) und für die Schiffe dreistellige Ordnungsziffern; alle anderen Betriebe erhalten zweistellige Kennziffern und für ihre Schiffe zweistellige Ordnungsziffern. Nach der Kennziffer des Eigners wird das Nationalitätszeichen gesetzt.

Beispiele:

a) 771 F 122

7 = Schubleichter
7 = 1750 — 2000 t
1 = Reederei x mit mehr als 100 Schiffen
F = Französische Nationalität
122 = Ordnungsnummer des Schiffes

b) 0317 B 52

0 = Schlepper
3 = 250 — 400 PS
17 = Unternehmen y mit weniger als 100 Schiffen
B = Belgische Nationalität
52 = Ordnungsnummer des Schiffes

Die einheitliche Numerierung würde es erlauben, die Anzahl der Grunddaten für die Abgabenerhebung und die statistischen Auswertungen von bisher 73 Zeichen auf 51 Zeichen zu verringern. Dies würde eine wesentliche Rationalisierung der EDV bedeuten.

Auch wird damit die Kontrolle für die verschiedenen Zwecke, wie grenzpolizeilicher und sonstiger polizeilicher Maßnahmen, und der Aufbau eines zentralen Schiffsbestandswerks erleichtert.

Vor allem aber könnte das vorgeschlagene Numerierungssystem für eine funktionsfähige Kapazitätsregelung, deren Realisierung als marktpolitisches Instrument anerkannt ist, nützlich sein. So könnten Schiffe, durch solche Zahlen außen deutlich gekennzeichnet, sicherer erfaßt werden und unerlaubte Manipulationen wären ausgeschlossen. Dies wäre für die Heranziehung der Schiffseigner zu Beitragszahlungen und die notwendigen Kontrollen usw. wichtig.

Eine systematische, laufende Aufnahme der Schiffsdaten an bestimmten Stellen, z. B. am Rhein in Rotterdam, Emmerich/Lobith, Duisburg, Koblenz, Neuburgweier/Straßburg, Basel, und eine gezielte Auswertung mit Hilfe der EDV würde die Erkenntnisse vermitteln, durch die die Entscheidung über die Bestimmung des Zeitraumes für Stillegungen gegen Entschädigung besser unterbaut wäre.

Die EDV ermöglicht damit die Bereitstellung von Informationssystemen, die als Basis jeweils Datenbänke haben, die die so erfaßten Daten vorhalten. Das Schiffahrtsgewerbe wird auch für eine innerbetriebliche Einsatzregelung ihrer Schiffe Nutzen hieraus ziehen können. Entsprechende Planungen sind eingeleitet.

II. Erfassung des Verkehrsablaufs auf der Wasserstraße mit Hilfe von Simulationsmodellen

Voraussetzung dafür, Wirtschaftlichkeit und Sicherheit des Betriebes auf Wasserstraßen zu verbessern, sind erweiterte und vertiefte Kenntnisse über Ursachen und Wirkungen der Vorgänge auf der Wasserstraße selber. Unterlagen hierfür sind die Grunddaten der Binnenschiffahrt, besondere Messungen und Beobachtungen auf Wasserstraßen. Mit Hilfe der Elektronik können diese Unterlagen aber besser und vielfältiger ausgenützt und zum Teil ergänzt werden. Dies soll an zwei Fällen, in denen Simulationsmodelle benutzt sind, deutlich gemacht werden. Der eine behandelt die freie Strecke und hier besonders Fragen im Zusammenhang mit Überholvorgängen, der andere betrifft den Verkehrsablauf im Schleusenbereich.

1. Freie Strecken ohne Schleusen und in begrenztem Fahrwasser

Für die theoretische Leistungfähigkeit der freien Strecke mit begrenztem Fahrwasser (gemessen als Zahl der Fahrzeuge, die pro Zeitintervall einen Querschnitt überqueren

können) sind vor allem die Geschwindigkeit sowie der Abstand der Schiffe untereinander von erheblichem Einfluß.

Überschlägige Abschätzungen der maximalen Verkehrsstärke gehen von einer konstanten Geschwindigkeit v aller Schiffe und einem konstanten Abstand a der Schiffe untereinander aus. Dann errechnet sich die Leistungsfähigkeit L zu:

$$L = \frac{v\ [km/h]}{a\ [km/Fzg]} = [Fzge/h]$$

Die getroffenen Annahmen entsprechen jedoch meist nicht den tatsächlichen Gegebenheiten. In Wirklichkeit sind auf Grund der Bauart der Schiffe, vor allem aber auf Grund unterschiedlicher Abladung die tatsächlich gefahrenen Geschwindigkeiten relativ großen Streuungen unterworfen.

Das führt unter anderem zu Überholungen auf der Strecke. In [2] wurde eine Methode angegeben, die Auswirkungen mangelnder Überholmöglichkeit zu quantifizieren.

In Fortführung dieser Arbeiten wurde versucht, auf nordwestdeutschen Kanälen den Zusammenhang zwischen Geschwindigkeitsverteilung, Verkehrsstärke und Überholhäufigkeit zu erfassen. Zwar zeigte sich, daß solche Zusammenhänge wohl existieren, doch waren die Beobachtungszeiträume und die beobachtbaren Schiffsmengen zu gering, um daraus quantitative Zusammenhänge ableiten zu können. Aus diesem Grunde wurde ein Simulationsmodell erstellt, das auf folgenden Voraussetzungen beruht:

1. Betrachtet wird eine Kanalstrecke mit zweischiffigem Ausbau. Ein Schiff kann demzufolge ein vor ihm fahrendes Schiff nur dann überholen, wenn während des Überholvorganges auf der zum Überholen notwendigen Strecke kein Gegenverkehr herrscht.
2. Die zum Überholen notwendige Strecke wird nach der in [3] angegebenen Formel errechnet:

$$l = \frac{a + s_1 + s_2 + a}{v_2 - v_1} \cdot v_2$$

l = Weg des überholenden Schiffes [m]
a = Sicherheitsabstand vor und nach dem Überholvorgang [m]
s_1, s_2 = Länge der Schiffe [m]
v_1 = Geschwindigkeit des überholten Schiffes [km/h]
v_2 = Geschwindigkeit des überholenden Schiffes [km/h]

3. An den Eingangsquerschnitten der im Modell betrachteten Strecke treffen die Schiffe zufallsverteilt ein.
4. Das Modell ermöglicht es, verschiedene Ankunftsverteilungen, unterschiedliche Geschwindigkeitsverteilungen, unterschiedliche Verhalten der Schiffe beim Überholen bzw. beim Überholtwerden, sowie unterschiedliches Fahrverhalten in bezug auf den Abstand der Schiffe untereinander zu variieren.

   Die Simulation brachte folgende Ergebnisse:

   1. Bleibt die Verteilung der Geschwindigkeiten unabhängig von der Verkehrsstärke gleich und bleibt auch die Verkehrsstärke der Gegenrichtung konstant, dann nimmt die Zahl der Überholungen bei wachsender Verkehrsstärke zu (Abb. 3).
   2. Je größer die Verkehrsstärke der Gegenrichtung ist, desto geringer ist die Zunahme der Überholungen in der betrachteten Verkehrsrichtung.
   3. Die Anzahl de Überholungen hängt in starkem Maße von der Verteilung der Geschwindigkeiten ab.

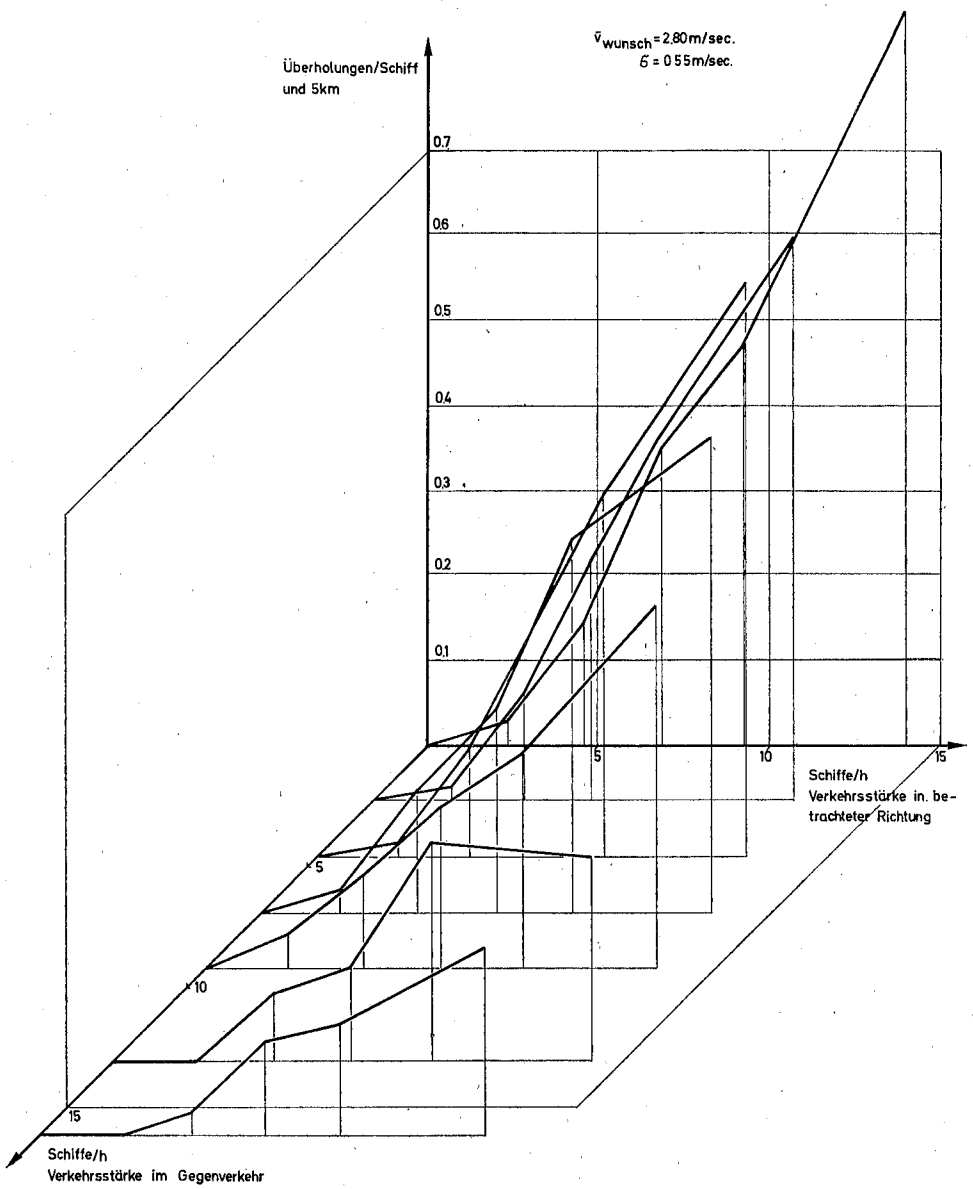


Bild 3

Zusammenhang zwischen Anzahl der Überholungen und der Verkehrsbelastung.

$\bar{v}_{wunsch}$ = Mittelwert der Wunschgeschwindigkeiten

σ = Standardabweichung der Geschwindigkeitsverteilung.

Je geringer die Standardabweichung der Geschwindigkeitsverteilung ist, desto geringer ist die Zahl der notwendigen Überholungen.

4. Bei gleichbleibender Verkehrsstärke in der Gegenrichtung sinkt die mittlere Reisegeschwindigkeit mit wachsender Verkehrsstärke in der betrachteten Richtung (Abb. 4).
5. Wächst die Verkehrsstärke in der Gegenrichtung, so sinkt die mittlere Reisegeschwindigkeit in der betrachteten Richtung in verstärktem Maße.
6. Die Abnahme der mittleren Reisegeschwindigkeit hängt wesentlich von der Standardabweichung der Geschwindigkeitsverteilung ab. Je geringer die Standardabweichung ist, desto geringer ist die Abnahme der mittleren Reisegeschwindigkeit.
7. Es zeigt sich, daß schnellere Schiffe infolge mangelnder Überholmöglichkeit größere Zeitverluste erleiden als langsame. Unter Zeitverlust sei hier die Differenz zwischen tatsächlich benötigter Reisezeit und theoretischer Reisezeit auf Grund der Wunschgeschwindigkeit verstanden.

   Wie Abb. 5 zeigt, wächst der Mittelwert der Zeitverluste mit zunehmender Wunschgeschwindigkeit. Darüber hinaus zeigt die Abb. 5 den überproportionalen Anteil der höheren Geschwindigkeitsklassen am Gesamtzeitverlust aller Schiffe.

   Aus Abb. 6 wird ersichtlich, daß der mittlere Zeitverlust um so größer ist, je höher die Verkehrsstärke auf der betrachteten Wasserstraße ist.

Die Simulation führt also zu plausiblen Ergebnissen.

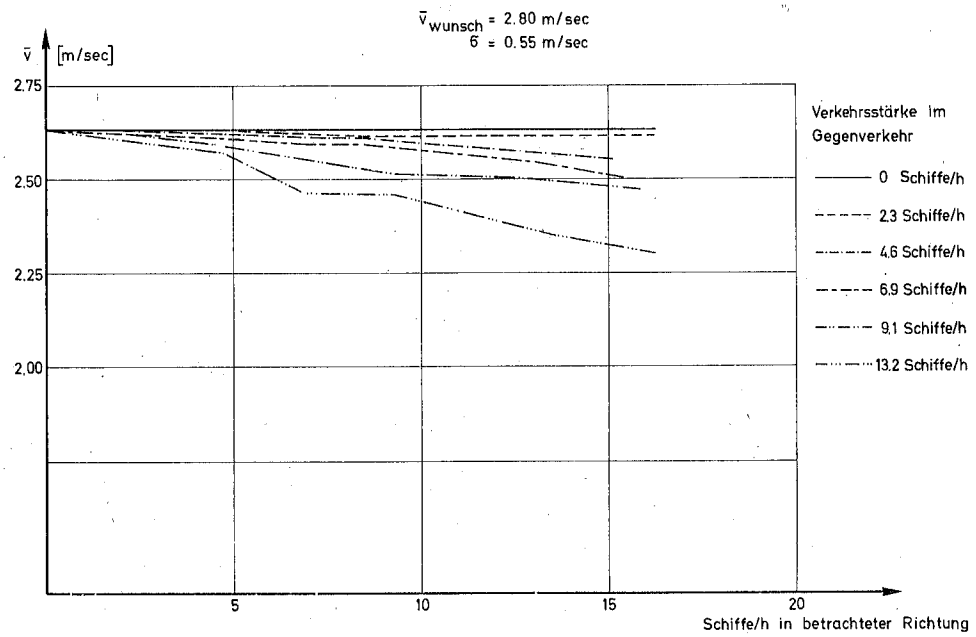


Bild 4

Zusammenhang zwischen mittlerer Geschwindigkeit und Verkehrsbelastung.

$\bar{v}$ = mittlere Reisegeschwindigkeit m/sec

restliche Begriffe siehe Bild 3.

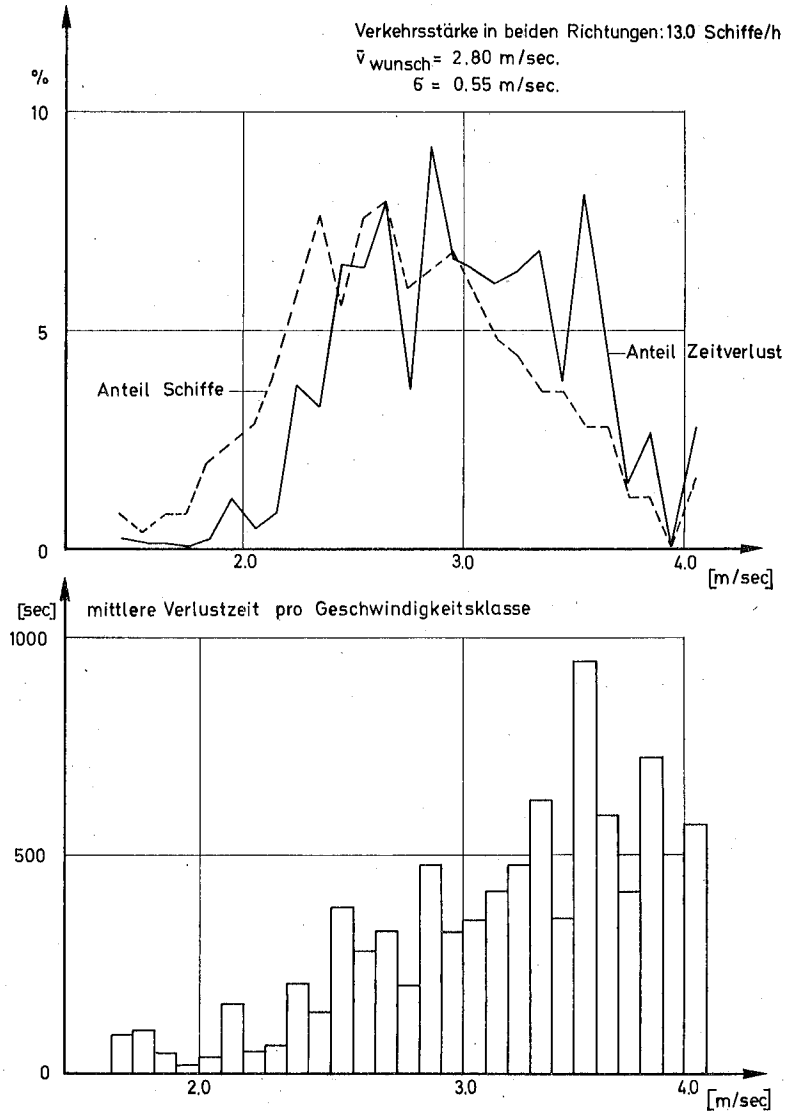


Bild 5

Verteilung der Zeitverluste und der Anzahl von Schiffen pro Geschwindigkeitsklasse.

restliche Begriffe siehe Bild 3.

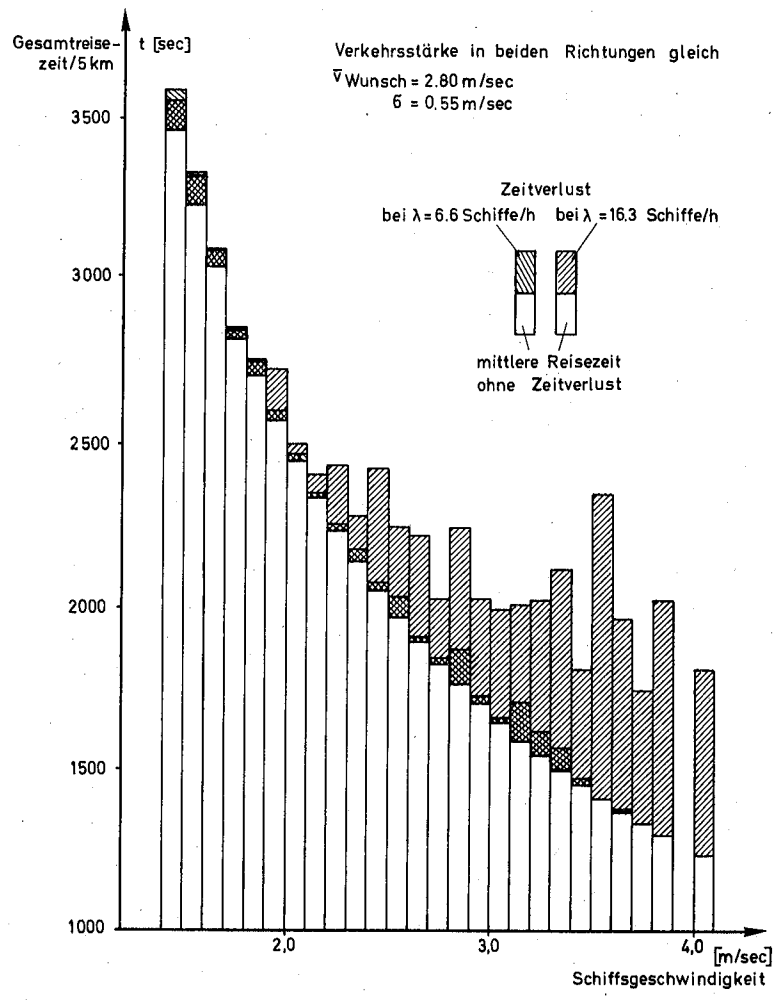


Bild 6

Mittlere Zeitverluste in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit.

λ = Zuflußparameter

restliche Begriffe siehe Anlage 3.

2. Einzelschleusen innerhalb längerer Strecken

Trotz der erwähnten Behinderungen durch mangelnde Überholmöglichkeit bestimmen sehr häufig Schleusen die Leistungsfähigkeit kanalisierter Wasserstraßen.

Zur umfassenden Beurteilung der Belastung einer Schleuse gehören außer den Werten, die die klassischen Berechnungsverfahren [4], [5] bieten, aber auch Informationen über Wartezeitverluste der Schiffahrt in Abhängigkeit vom Auslastungsgrad der Schleuse.

In [3] wurde daher versucht, eine praktische Leistungsfähigkeit auf der Basis der für das Einzelschiff zumutbaren Wartezeit vor der Schleusung zu ermitteln.

Der Betriebsablauf vor und in einer Schleuse läßt sich als Warteschlangenproblem auffassen. Es wird dabei von folgender Modellvorstellung ausgegangen:

Die Schiffe werden in der Reihenfolge ihres Eintreffens geschleust, ihre Ankünfte an der Schleuse seien zufallsverteilt, die Bedienungszeiten werden als konstant angenommen. Mit Hilfe der Theorie der Warteschlangen soll die Wahrscheinlichkeit berechnet werden, mit der eine Wartezeit bestimmter Länge auftritt bzw. überschritten wird.

Zur Lösung dieses Problems wurde zur Auswertung auf einer EDV-Anlage ein Simulationsmodell entwickelt, mit Hilfe dessen der Verkehrsauflauf an einer Schleuse unter Berücksichtigung verschiedener Schleusungszeiten, verschiedener Schleusenarten, unterschiedlicher Schiffszusammensetzungen sowie verschiedener Ankunftsverteilungen nachvollzogen wurde. Zusätzlich wurden folgende Voraussetzungen getroffen:

1. Die Schleusungszeiten für Leerschleusungen und für Schleusungen mit Schiff sind jeweils für einen Schleusentyp konstant.
2. Es wird davon ausgegangen, daß die Schleusungsdauer unabhängig von der Zahl der Schiffe ist, die sich in der Kammer befinden. In Untersuchungen an Schleusen unterschiedlicher Größe im nordwestdeutschen Kanalgebiet konnte kein Zusammenhang zwischen der Anzahl der Schiffe pro Kammer und der Schleusungsdauer nachgewiesen werden [6].
3. Es wird ein stationärer Zustand betrachtet; d. h. der Zuflußparameter λ [Schiffe/Zeiteinheit] ist konstant.
4. Der Betrachtungszeitraum muß hinreichend lang sein, so daß alle möglichen Zustände des Systems sich einspielen können.

Dieses Simulationsmodell wurde für Einkammerschleusen und für Zweikammerschleusen mit Kammern gleicher Größe erstellt. Es wurde für die Einkammerschleuse davon ausgegangenen, daß sie entweder nach Bedarf oder in konstantem Takt in Betrieb genommen wird, während für die Zweikammerschleuse eine Schleusung mit konstantem Takt angenommen wurde, d. h. die Schleusung erfolgt ohne Berücksichtigung des Verkehrsanfalls in konstanten Zeitabständen, die sich aus der Schleusungszeit mit Schiffen in der Kammer ergeben. Dieser Zustand tritt auch ein, wenn ständig Schiffe auf Schleusung warten.

In den Abbildungen 7 und 8 sind Beispiele von Ergebnissen dieser Simulationsmodelle dargestellt. Allen ermittelten Kurven gemeinsam ist, daß die mittlere Wartezeit bis zu einem gewissen Auslastungsgrad, der sich als Quotient aus Zuflußparameter und reziproker Schleusungszeit darstellt, relativ schwach ansteigt, um nach Überschreitung eines bestimmten Auslastungsgrades exponentiell gegen unendlich zu gehen. Der kritische Auslastungsgrad liegt zwischen 0,6 und 0,7. Bei höherem Auslastungsgrad wird eine Schleuse bzw. Schleusengruppe als überlastet angesehen.

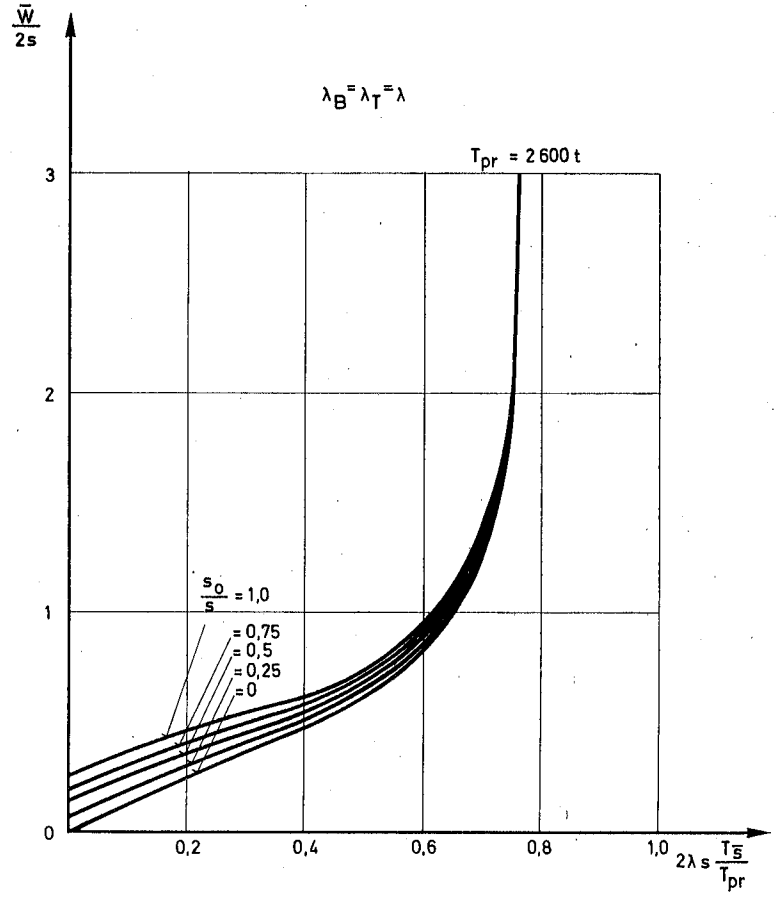


Bild 7

$\bar{w}$ — stationär für Einkammerschleuse mit mehreren Schiffen pro Kammer.

$\frac{\bar{w}}{2_s}$ = auf die Schleusungszeit bezogene mittlere Wartezeit

λ = Zuflußparameter

λ_B = Zuflußparameter zu Berg

λ_T = Zuflußparameter zu Tal

T_{pr} = ausnutzbare Kammertonnage

T_s = mittlere Schiffstonnage

s = Schleusungszeit mit Schiffen in der Kammer

s_0 = Leerschleusungszeit

$2_s \frac{T_s}{T_{pr}}$ = Ausnutzungsgrad der Schleusenanlage

Mit Hilfe der Modelle kann auch untersucht werden, welche Wartezeitreduzierungen durch den Bau weiterer Schleusenkammern an derselben Staustufe möglich sind [3]. Abbildung 9 zeigt die Unterschiede von zu erwartenden mittleren Wartezeiten bei zwei Kammern gegenüber einer Kammer. Die Reduzierung beträgt bei einer Auslastung der Einkammerschleuse von 0,65 und der Zweikammerschleuse von 0,32 ca. 74 %.

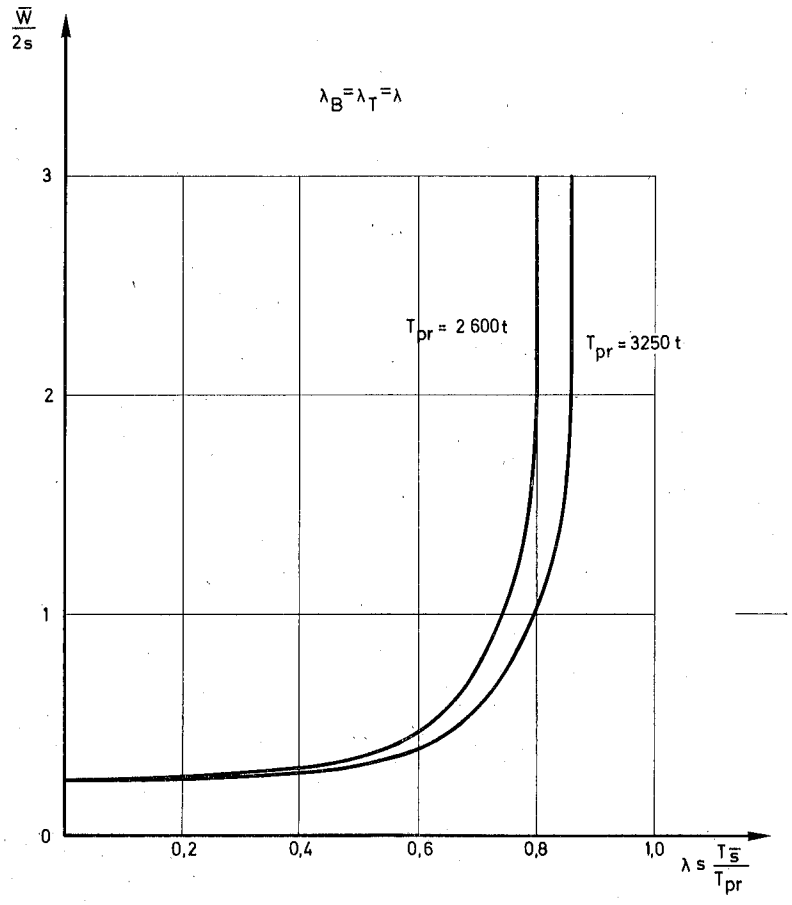


Bild 8

$\overline{w}$ — stationär für Zweikammerschleuse mit mehreren Schiffen pro Kammer und Schleusung in konstantem Takt

Begriffe wie Bild 7.

Die Ergebnisse der Simulation wurden durch Messungen an Schleusen überprüft. An einer Einkammerschleuse wurde eine mittlere Wartezeit von 5,17 Stunden gemessen; die Simulation ergab eine Wartezeit von 5,6 Stunden.

An einer Zweikammerschleuse mit gleichen Kammern wurde eine mittlere Wartezeit von 2,6 Stunden gemessen, während sich aus der Simulation eine mittlere Wartezeit von 2,8 Stunden ergab. In beiden Fällen ist die Übereinstimmung von praktischer Messung und Simulationsergebnis sehr gut. Größere Abweichungen ergaben sich dort, wo die Ankunftsverteilung der Schiffe an der Schleuse nicht rein zufällig war und bereits eine gewisse Vormeldung der Schiffe von Schleuse zu Schleuse besteht, wodurch sich natürlich Wartezeiten reduzieren lassen.

3. Verbesserung durch Anwendung von Simulationsmodellen

Die Simulation des Verkehrsablaufes erlaubt die Beurteilung der Auswirkungen von Änderungen einzelner Elemente des Systems, wenn diese Änderungen praktisch nicht oder nur schwer beobachtbar sind, oder wenn solche Änderungen erst in Zukunft zu erwarten sind.

Mit Hilfe der Simulation lassen sich solche Änderungen des Systems in verkehrlicher, technischer wie auch betrieblicher Hinsicht erfassen.

Durch Anwendung der Elektronik werden also wertvolle Unterlagen geschaffen, die es möglich machen, Investitionen an Wasserstraßen wirtschaftlicher zu gestalten und zugleich die Sicherheit und den Betrieb der Binnenschiffahrt zu verbessern.

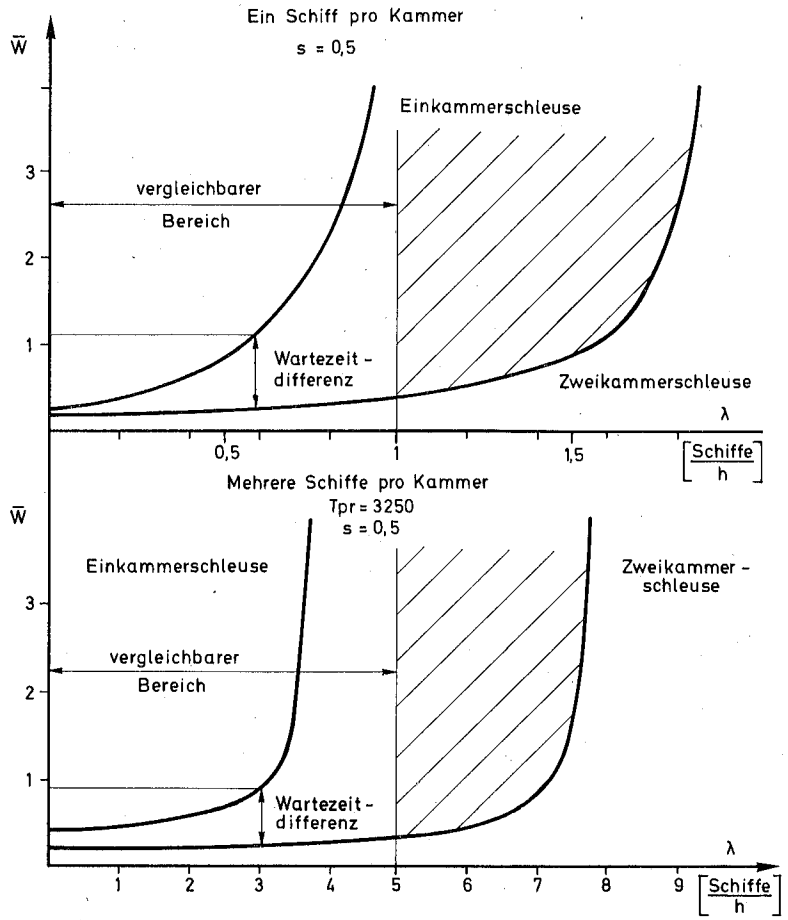


Bild 9

Unterschiede der Wartezeit bei zwei Kammern und gleichem Zufluß.

restliche Begriffe siehe Bild 7.

Schrifttumsverzeichnis

[1] Pabst, H. U.: Zeitschrift für Binnenschiffahrt 1968, S. 434 ff.

[2] Wiedemann, G. u. a.: Leistungsfähigkeit einer Wasserstraße in verkehrlicher und betrieblich-technischer Hinsicht. Deutsche Berichte zum XXII. Internationalen Schifffahrtskongreß, Paris 1969, BVM, Bonn 1969.

[3] Koehler, R.: Verkehrsablauf auf Binnenwasserstraßen. Schriftenreihe des Instituts für Verkehrswesen, Universität Karlsruhe, Heft 3/1968.

[4] Mistol, G.: Die Leistungsfähigkeit von Fluß- und Kanalschleusen. Die Bautechnik, 10. Jhg., Heft 16/17.

[5] Seifert, H., Röhnisch, A.: Die Leistungsfähigkeit von Schleusen. Deutsche Berichte zum XXIII. Internationalen Schiffahrtskongreß, Rom 1953.

[6] Leutzbach, W., Koehler, R., Leutwein, B.: Generalverkehrsplan Nordrhein-Westfalen. Systemanalyse Binnenwasserstraßen — Betriebsablauf, 1966/1967.

Abteilung I — Binnenschiffahrt

Thema 2

Binnenhäfen (öffentliche und private, Handels- und Industriehäfen); ihre Rolle in der Entwicklung einer industrialisierten Region oder eines Ballungsraumes. Allgemeine Konzeption des Ausbaus und der Ausrüstung; Bau- und Betriebsverwaltung.

von

A. W. Adler, Oberbaudirektor Dipl.-Ing., Landeshafenverwaltung Bayern, Regensburg; G. Finke, Hafendirektor Dr.-Ing., Duisburg-Ruhrorter Häfen AG, Duisburg; H. J. Froböse, Regierungsrat Dr. rer. pol., Bundesverkehrsministerium, Bonn; J. Richter, Hafendirektor Dr.-Ing., Hafenbetriebsgesellschaft Braunschweig; H. J. Sonntag, Oberbaurat Dipl.-Ing., Strom- und Hafenbau, Hamburg; J. Spohr, Hafendirektor a. D. Rechtsanwalt Dr. jur., Duisburg

Zusammenfassung

Binnenhäfen liegen an schiffbaren Binnengewässern. Bei größeren Anlagen haben sie die Form von Hafenbecken, bei kleineren sind es Umschlagplätze unmittelbar an der Wasserstraße. Nach Aufgaben oder Besitzverhältnissen nennt man sie: Öffentlicher Binnenhafen, Privat-, Werks-, Handels- oder Industriehafen.

Binnenhäfen sind Verkehrsstationen, die als Anfang, Ende oder Brechungsstelle von Transportvorgängen mit Binnenschiff außer dem Güterumschlag weitere Funktionen für Handel und Industrie, den engeren Wirtschaftsraum und das Hinterland haben. Durch gütermäßige Umschichtung, z. B. Änderung der Energiestruktur (Kohle — Erdöl), kann sich die Inanspruchnahme von Hafenanlagen ändern. Gründe hierfür liegen nicht allein bei der Schiffahrt, sondern auch, besonders im gebrochenen Verkehr, in der Preisgestaltung der Schienen- und Straßenverkehrsunternehmen.

Handels- und Industriefunktionen machen die Binnenhäfen zu standortbildenden Kräften, von denen Ballungsimpulse ausgehen. Ursprünglich reine Handelshäfen erweitern sich oft zu Industriehäfen. Hauptfunktion eines Hafens ist jedoch stets der Schiffsgüterumschlag.

In der Bundesrepublik Deutschland besitzen von den Großstädten über 250 000 Einwohner nur 3 keine Binnenhäfen. Ein großer Teil der Industriebetriebe liegt an Wasserstraßen und bedient sich des Schiffstransports. Wo natürliche Wasserstraßen fehlten, sind z. T. künstliche (Kanäle) mit entsprechenden Hafenanlagen gebaut. Alle Wasserstraßen- und Kanalbauten mit ihren Häfen haben größere Verkehrsaufkommen, als erwartet, gebracht. In Hafengebieten sind neue Betriebe entstanden, die zur Aktivierung vorhandener, bisher ungenutzter Leistungsreserven führten; in ihnen ist die Industriewachstumskraft größer als anderenorts. Entlang neuer Wasserstraßen läßt sich eine bandartige Verteilung der Industrie-, Lagerei- und Handelsbetriebe feststellen.

Grundstücksmäßig, technisch und organisatorisch gut ausgestattete Binnenhäfen bieten einen Service, der den Verkehr mit Gütern zu Land und zu Wasser wesentlich beschleunigt und verbilligt. In Hafenbereichen angesiedelte Industrien haben einen begünstigten Standort.

Beim Bau neuer Hafenanlagen sind die Entwicklungen in der Schiffahrt zu Großraumschiffen und zu mehr unbemannten Schiffen, der Schubschiffahrt, zu berücksichtigen.

Neben schnellerem Schiffsumlauf und beschleunigtem Umschlag ist den zunehmenden Transporten gefährlicher Güter Rechnung zu tragen. Schubverbände sollten möglichst geschlossen in die Hafenmündungen einfahren können, um erst dort aufgelöst zu werden. Im Hafen sollte der Umschlag auf wenige, sehr leistungsfähige Plätze bzw. Umschlaganlagen konzentriert werden.

Nach der Form unterscheidet man Parallel-, Dreieck-, Molen- und Stichhäfen. Die beiden ersteren, vornehmlich nur an Schiffahrtskanälen, sollten heute, wenn es wirtschaftlich zu vertreten ist, nicht mehr gebaut werden, um den Durchgangsverkehr der Wasserstraße nicht zu beeinträchtigen. Molenhäfen sind für alle Wasserstraßen geeignet. Es empfiehlt sich, sie nur für höchstens 5 Schiffslängen und nicht schmaler als 40 m auszuführen. Stichhäfen sind die vorteilhafteste Hafenform, mit deren Ausbau einem Verkehrszuwachs Rechnung getragen werden kann; sie bieten die besten Betriebsmöglichkeiten.

Umschlag von Öl oder sonstigen gefährlichen Gütern ist an Plätzen unmittelbar an der Wasserstraße nicht mehr zu empfehlen. Für geringeren Verkehr bietet sich der Molenhafen an. An größeren Umschlagplätzen, z. B. Raffinerien, werden besondere Ölhäfen gebaut, deren Form sich nach betrieblichen Notwendigkeiten und örtlichen Möglichkeiten richtet.

Hafenmündungen sind spitzwinklig, kleiner als 30°, zur Wasserstraße und bei Flüssen an ablagerungsfreien Stellen anzulegen. Ihr Fahrwasser ist 45 bis 70 m breit anzulegen. Hafenbecken sollten eine Breite von mindestens rd. 75 m haben. Bei längeren Hafenbecken wird ein Verhältnis Länge zur Breite wie 10 : 1 empfohlen.

Umschlagplätze sind von Liegeplätzen für wartende Schiffe zu trennen, letztere wiederum für bemannte und unbemannte Fahrzeuge. In der Nähe der Hafenmündung ist ein besonderer Liege- und Koppelplatz für Schubverbände zu planen.

Die Leistungssteigerung der Umschlagplätze, unbemannte Schiffe und erhöhte Anforderungen der Verkehrssicherungspflicht erfordern meistens im Hafen senkrechte oder gebrochene Uferform, hauptsächlich ausgeführt mit verankerten Spundwänden.

Die Ausrüstung eines Hafens beginnt mit den Einrichtungen zur Geländeerschließung wie Straßen, Gleisanlagen, Stromversorgung, Kranbahnen, u. a. Ihre wichtigsten Teile sind die Umschlaganlagen. In den öffentlichen Häfen mit ihren vielseitigen und wechselnden Aufgaben sind Allzweckgeräte notwendig, deshalb sind Krane immer noch das geeignetste Umschlaggerät. Stückgutkrane und Verladebrücken werden neu kaum noch beschafft, sondern Portalkrane bevorzugt. Neue Krane sollten mindestens 8 t Tragfähigkeit haben, schwerere mit 15, 25 und 40 t werden immer mehr eingesetzt. Sie sollen wenig fahren, gewissermaßen aus dem Stand arbeiten; jeglicher Weitertransport des Gutes ist mit Zusatzgeräten, insbesondere Flurfördergeräten, durchzuführen.

Für immer mehr Güter wird vollkommen witterungsgeschützte Einlagerung gefordert, woraus sich vermehrter Bedarf an Lagerhallen ergibt. Bei einigen Gütern wird sogar Umschlag unter Dach verlangt, was zu überdachten Umschlagplätzen in Verbindung mit großen Lagerhallen führt.

Bau- und Betriebsverwaltung sind nur 2 Bereiche der Hafenverwaltung, die noch weitere Aufgabenbereiche umfaßt, z. B. Finanz-, Verkehrs- und Grundstücksangelegenheiten. Die Verwaltung der Binnenhäfen ist somit sehr vielgestaltig. Dieses trifft insbesondere für die öffentlichen Häfen zu, auf die sich die nachstehenden Ausführungen beziehen.

Aufgabe der Bauverwaltung ist die technische Instandhaltung mit betriebsbereiter Vorhaltung aller Hafenanlagen und deren Betriebsvorrichtungen. Sie erstreckt sich vornehmlich auf die sorgfältig wahrzunehmende Verkehrssicherungspflicht zu Wasser und zu

Lande (Gleisanlagen, Straßen, Brücken, Hochwasserschutzanlagen). Diese wichtigen Aufgaben sollten gut eingearbeitetem Fachpersonal der Hafenverwaltung obliegen.

Auch für die allgemeine Wartung der Betriebsanlagen empfiehlt sich der Einsatz eigenen Personals. Mit Instandsetzungen und Baggerungen können Unternehmer beauftragt werden. Überprüfen der Hafensohle durch Peilen ist meistens 2 × im Jahr notwendig, zusätzlich nach besonderen Vorkommnissen. Baggerungen sind eine wesentliche Instandssetzungsmaßnahme für die Betriebsfähigkeit des Hafens. Als Gerät hierfür sind Eimerkettenbagger am besten geeignet, um eine ebene Hafensohle herzustellen und gleichzeitig Hindernisse aufzufinden. Problematischer als das Baggern selbst ist Abtransport und Unterbringung der Baggermassen. Schon beim Bau eines Hafens sollte daher langfristig für Unterbringungsmöglichkeiten von Baggergut gesorgt werden. Hindernisse auf der Hafensohle sind zu kennzeichnen und zu beseitigen; derartige Arbeiten müssen auch bei Einsatz von Unternehmen von der Hafenverwaltung überwacht werden.

Bauwerke im und am Wasser sowie auf Hafengelände sind möglichst laufend so instand zu halten, daß ihre Benutzbarkeit und Sicherheit in betrieblicher wie auch bautechnischer Hinsicht jederzeit gewährleistet bleiben.

Befindet sich das Eigentum an allen stationären Hafen- und Betriebsanlagen in einer Hand, so ist die Organisation hinsichtlich der Aufgabendurchführung der Bauverwaltung nicht schwierig. Anders stellt sich die Lage dar bei den sog. „gemischt-wirtschaftlichen" Häfen, in denen sich alle oder ein Teil der Umschlaganlagen, Lagerhäuser usw. im Eigentum privater Dritter befinden. Hier hat die Hafenverwaltung durch Genehmigungsvorbehalt Einfluß, damit sich alle Fremdanlagen den technischen Gegebenheiten und der Hafenfunktion einordnen. Sonst erforderliche Genehmigungen durch andere zuständige Behörden bleiben unberührt.

Die Betriebsverwaltung eines Hafens hat die Aufgabe, für den möglichst wirtschaftlichen Einsatz aller Betriebsmittel und -anlagen zu sorgen. Durch unterschiedliche Eigentumsverhältnisse in Häfen ist die Handhabung weniger einheitlich und nicht immer befriedigend. Ziel muß es in erster Linie sein, die Aufenthaltsdauer der Schiffe im Hafen auf das unbedingt notwendige Maß für deren Be- und Entladung zu beschränken. Der Verband öffentlicher Binnenhäfen in der Bundesrepublik Deutschland ist der Frage nachgegangen, in wessen Verantwortungsbereich die Ursachen für die Aufenthaltszeiten in den Häfen vor und nach dem Umschlagvorgang zu suchen sind. Über die Ergebnisse wird in tabellarischen Aufstellungen berichtet. Hieraus folgt, daß hafeneigene Betriebsverwaltungen nur zum geringsten Teil für überlange Hafenaufenthalte veantwortlich sind, weil ihre Betriebsführung den größten Teil der in den Häfen installierten Umschlagkapazität nicht erfaßt. So ergibt sich zwangsweise die Frage, ob die Organisation der Betriebsverwaltung verbesserungsfähig ist, um gleichmäßigere Auslastung und vielleicht auch Verringerung der vorzuhaltenden Umschlagkapazität zu erreichen. Es ist einer, den jeweiligen örtlichen Verhältnissen Rechnung tragenden, speziellen Prüfung wert, durch organisatorische Maßnahmen im gesamten Hafenbereich einen möglichst großen Nutzeffekt für die Binnenschiffahrt zu erzielen. Kooperation in den einzelnen Funktionsbereichen und Konzentration der Umschlaganlagen für bestimmte Güter dürften Verbesserungen ermöglichen. Für die Organisation einer Betriebsverwaltung stehen viele rechtliche Gestaltungsmöglichkeiten offen. Die öffentlichen Binnenhäfen als Mittler des Verkehrs für Binnenschiffahrt, Eisenbahn und Straßenverkehr haben bei der derzeitigen Wettbewerbslage immer den Grundsatz der Selbstkostendeckung und finanziellen Eigenständigkeit zu wahren.

Der Bericht schließt mit statistischen Daten und einem Ausblick auf die Verkehrsentwicklung.

Inhalt

Seite

1. Begriffsbestimmung und Abgrenzung des Themas 30
2. Volkswirtschaftliche Funktionen von Binnenhäfen 31
3. Bedeutung von Binnenhäfen 33
   3.1 in bestehenden Industriegebieten und Ballungsräumen 33
   3.2 in künftigen Entwicklungsgebieten und Ballungsräumen 34
4. Neue Gesichtspunkte für die Struktur von Binnenhäfen 35
   4.1 Bau 35
   4.2 Ausrüstung 36
5. Verwaltung der Binnenhäfen 44
   5.1 Bauverwaltung 45
   5.2 Betriebsverwaltung 48
6. Statistische Daten und Ausblick 53

Hinweis

Im Berichtstext geklammerte Ziffern [1] usw. verweisen auf die Ziffern des Schrifttumsverzeichnisses.

1. Begriffsbestimmung und Abgrenzung des Themas

Nach Professor Dr. Karl Förster [1], Rhein-Main-Donau AG München, gehören „Ströme zu den Reichtümern, die die Natur den Menschen bietet. Sie sind um so wertvoller, je besser sie mit Hilfe der Technik erschlossen sind". Zu den Erschließungsmaßnahmen gehört der moderne technische Ausbau der Wasserstraßen und der daran gelegenen Binnenhäfen.

Binnenhäfen sind Plätze, die an schiffbaren Binnengewässern liegen oder mit ihnen verbunden sind und in jeder Beziehung für die hauptzweckbestimmte Ausnutzung, den Umschlag von Gütern (Beladen oder Entladen von Binnenschiffen), ausgerüstet sind. Eingeschlossen sind dabei sowohl Häfen in Beckenform, bei denen die Wasserflächen beckenartig von Land oder Kunstbauten umschlossen sind mit Stichkanalverbindung zur Wasserstraße, als auch Umschlagplätze, bei denen die Wasserflächen des Hafens in der Regel durch Erweiterung der Wasserstraße geschaffen worden sind.

Nicht miteinbezogen werden hier also reine Schutz-, Personen-, Unterhaltungs- und Werfthäfen ohne bzw. mit nur untergeordneten Umschlagfunktionen.

Die Abgrenzung zu den Seehäfen ist dadurch gegeben, daß diese über eine Seewasserstraße erreichbar sind und vorwiegend von seegängigen Schiffen angelaufen werden, während Binnenhäfen hauptsächlich von Schiffen benutzt werden, die überwiegend auf Binnengewässern verkehren.

Als öffentliche Binnenhäfen werden unabhängig von Eigentumsverhältnissen und Organisationsformen solche Häfen verstanden, die dem allgemeinen Verkehr dienen, d. h., von jedermann unter den gleichen Bedingungen gegen Entrichtung festgesetzter Entgelte benutzt werden können. Im Gegensatz dazu ist in privaten Häfen der

Benutzerkreis eingeengt und wird durch den Eigentümer bestimmt; diese Häfen werden auch „nicht öffentliche" Häfen oder „Werkshäfen" genannt. „Handelshafen" ist ein Binnenhafen oder Haftenteil, dessen Zweckbestimmung im Umschlag solcher Güter liegt, die den Hafen nach eventueller Zwischenlagerung unbearbeitet mit dem Binnenschiff einerseits oder den Landverkehrsmitteln Eisenbahn, Lastkraftwagen oder Rohrleitungen andererseits wieder verlassen.

Der Begriff „Industriehafen" umfaßt diejenigen Binnenhäfen oder Teile davon, in denen Industriebetriebe ansässig sind, die die Ufer- und Umschlaganlagen für den Umschlag von Gütern eigenen Bedarfs zur Be- oder Verarbeitung benutzen.

2. Volkswirtschaftliche Funktionen von Binnenhäfen

Der Gütertransport auf den Wasserstraßen erfordert Binnenhäfen für den Umschlag der Güter in oder aus Schiff.

Im Jahre 1970 sind auf den Binnenwasserstraßen der Bundesrepublik Deutschland (BRD) rd. 240 Mio t befördert worden, davon im Durchgangsverkehr rd. 12 Mio t und im grenzüberschreitenden Verkehr rd. 122 Mio t; da jede transportierte Tonne ein- und ausgeladen werden muß, ergibt sich eine Umschlagleistung von rd. 480 Mio t, davon im Gebiet der BRD von rd. 332 Mio t. Die letzte Zahl beinhaltet die Leistung aller BRD-Binnenhäfen.

Die Binnenhäfen sind also Verkehrsstationen, die Start, Ziel oder Brechungsstelle der Transportvorgänge durch Be- oder Entladen der Schiffe mit/ohne Zu- oder Abfahrt der Güter auf Schiene oder Straße darstellen. Dieser Güterumschlag ist Hauptaufgabe aller Binnenhäfen, jedoch nicht ihre einzige Funktion, denn neben ihrer Bindung an die schiffbare Wasserstraße tritt ihre Verflechtung mit Schiene und Straße — neuerdings auch Pipeline. Diese Verkehrsfunktionen hängen mit den Handels- und/oder Industriefunktionen eines Hafens eng zusammen. Erst die komplexe Beschreibung aller Funktionen vermag die Aufgaben der Binnenhäfen darzustellen und daraus mögliche Auswirkungen auf ihren engeren Wirtschaftsraum und die Bedeutung für das Hinterland abzuleiten.

Durch die Erfüllung von Verkehrsfunktionen sind die Binnenhäfen in das Transportsystem eingegliedert. Beim Vergleich der Verkehrsleistungen in der BRD ergibt sich von 1938 bis 1970 eine Steigerung der transportierten Gütermengen in der Binnenschifffahrt von rd. 137 Mio t auf rd. 240 Mio t, die einen Anteil an den Transportmengen aller Verkehrsträger (ohne Güternahverkehr auf Straßen und Luftverkehr) von 22 bzw. 27 % darstellen. Damit haben sich auch die Leistungen aller Binnenhäfen in der BRD entsprechend gesteigert — und zwar trotz einer vielfachen Vermehrung des Straßenfernverkehrs seit 1938 und ständig steigender Pipeline-Leistungen seit 1960 [2].

Die Entwicklung von Leistungsvolumen und -fähigkeit der Binnenhäfen ist in hohem Maße von schwankenden Transportaufkommen und -strömen abhängig. Die Nachfrage nach Transportleistungen insgesamt und nach denen der Binnenschiffahrt im besonderen bestimmen den Umfang der gefragten Hafenleistungen. So bestimmen beispielsweise gütermäßige Umschichtungen durch Änderung der Energiestruktur (Kohle — Erdöl) oder Wettbewerbsauswirkungen durch die Tarifpolitik der Verkehrsträger die Inanspruchnahme von Hafenleistungen, ohne daß die Hafenverwaltungen selbst entscheidend in diese Entwicklungen eingreifen können. Es gibt keine Besitzstand-Garantie im Verkehr.

Der Wasserstraßentransport mit Umschlag in bestimmten Häfen wird nicht nur von Angebotsbedingungen der Binnenschiffahrt und speziellen Hafenfazilitäten bestimmt, sondern im gebrochenen Verkehr Wasserstraße-Schiene oder Straße vor allem durch die

Qualitäts- und Preisgestaltung der Landverkehrsträger im Zu- bzw. Ablauf der Güter. Die Binnenschiffahrt ist dabei der Konkurrenz der Eisenbahnen und in zunehmendem Maße auch der Rohrleitungen (Pipeline) ausgesetzt. Im Vergleich zu diesen Verkehrsträgern tritt die Konkurrenz des Kraftwagens zurück, da die im Straßenfernverkehr beförderten Güter sich häufig infolge Hochwertigkeit, Eilbedürftigkeit etc. dem Wasserstraßentransport entziehen, während auf kurzen Entfernungen im landseitigen Zu- und Ablaufverkehr der Häfen die Komplementärfunktion des Kraftwagens in bezug auf die Binnenschiffahrt überwiegt.

Die mit ihren Verkehrsfunktionen in Zusammenhang stehenden wirtschaftsfördernden und wirtschaftsgestaltenden Aufgaben und Ausstrahlungen der Binnenhäfen äußern sich in ihrer Handels- und/oder Industriefunktion und verleihen den Binnenhäfen den Charakter von Agglomerationszentren.

Die Handelsfunktion erstreckt sich auf Weiterleitung und Verteilung der Umschlaggüter über den Hafen- und Ortsbereich hinaus. Sie umfaßt Zwischenlagerung oder Lagerhaltung, z. T. mit Bearbeitung der gelagerten Ware zum Zwecke der Qualitätserhaltung. Die Handelsfunktion stellt das Bindeglied zwischen Produktion und Konsumtion dar. Sie gibt den Verkehrsleistungen der Häfen je nach der Wirtschaftsstruktur der Einzugsgebiete wesentliche Impulse. In der Handelsfunktion spiegelt sich Größe und Transportergiebigkeit des Hinterlandes wider, auf das sich der Güterumschlag des Hafens erstreckt. Spedition, Lagerei und Handel sind im Hafen auf das engste verzahnt und zum Teil auch unternehmensmäßig integriert.

Die Abgrenzung der Handelsfunktion von der Industrie- oder Industrieversorgungsfunktion ist häufig fließend. Die Industrieversorgungsfunktion erstreckt sich auf den Hafenumschlag für den lokalen Wirtschaftsbereich und könnte damit im Grunde als Handelsfunktion für die Nachfrage der örtlichen Wirtschaft bezeichnet werden. Die eigentliche Industriefunktion ergibt sich allerdings aus der Durchsetzung des Hafengebietes mit Industriebetrieben. Der Hafen wird selbst Industriegebiet und nähert sich in diesen Teilen damit der Funktion eines Werkshafens.

Die Erfüllung von Handels- und Industriefunktionen und die Aufgabe von Binnenschiffahrt und -häfen, dem bedienten Gebiet durch möglichst vorteilhafte Versorgung zu tunlichst geringen Kosten zu verhelfen [3], läßt auch die Binnenhäfen zu standortbildenden Kräften werden, von denen immer stärkere Ballungsimpulse ausgehen. Die Ansiedlung von Handelsbetrieben unterstützt gleichzeitig die Ansiedlung weiterer vor- und nachgelagerter Betriebe, schafft Arbeitsplätze und damit die Voraussetzung für eine günstige wirtschaftliche Entwicklung. In noch größerem Maße ergeben sich diese Auswirkungen durch Ansiedlungen von Industriebetrieben, zumal diese gegenüber den Handelsbetrieben durchweg umfangreichere Betriebsgrößen, eine kontinuierliche Beschäftigung und infolge der Notwendigkeit des Rohstoffbezuges und Produktabsatzes eine wesentlich stärkere gütermäßige Bindung zum Hafen aufweisen. Diese Vorteile haben auch an vielen Orten eine Entwicklungstendenz vom reinen Handels- zum Handels- und Industriehafen ausgelöst.

Der durch Handels- und Industriefunktion erzielte Agglomerationseffekt beinhaltet eine Intensivierung und eine quantitative Vermehrung der Wirtschaftsvorgänge dieser Räume. Trotz Handels- und Industriefunktion bleibt jedoch der Grad der Tätigkeit der ursprünglichen Verkehrsfunktion das maßgebliche Kriterium für die Beurteilung der Binnenhafentätigkeit. Deshalb bedeuten Hafenansiedlungen von Unternehmen, die die Möglichkeit günstiger Wasserstraßentransporte nicht nutzen, eine unzweckmäßige Verwendung volkswirtschaftlich wertvollen Geländes. Auch in Zukunft wird die Entwicklung eines Binnenhafens von dem Grad der Erfüllung seiner ursprünglichen Funktion — dem

Schiffsgüterumschlag — entscheidend geprägt werden, denn erst die Erfüllung dieser Funktion schafft die Voraussetzung zur Lösung der vielfältigen Aufgaben, denen sich Binnenhäfen heute und künftig gegenübersehen.

3. Bedeutung von Binnenhäfen

3.1 Die Bedeutung der Binnenhäfen in bestehenden Industriegebieten und Ballungsräumen

In der Bundesrepublik Deutschland (BRD) besitzen alle Großstädte mit mindestens 250 000 Einwohnern — ausgenommen München, Wuppertal und Bochum — Binnenhäfen. Ca. $^3/_4$ der Gesamtstahlproduktion werden in Hütten erzeugt, die in Binnenhafengebieten liegen; ca. $^3/_4$ der Zechen für Steinkohlenförderung liegen im Bereich von Hafenanlagen, ebenso die bedeutendsten Werke der Chemie, der Industrie für Steine und Erden, der Wärmekraftwerke, der Industrie mit großem Kühlwasserbedarf sowie der Mineralölerzeugung. Dieser natürliche Reichtum „strömendes Wasser" wird nicht nur in der BRD genutzt, alle westeuropäischen und zum großen Teil auch die osteuropäischen Länder haben die verkehrspolitische Notwendigkeit des Ausbaues der Wasserstraßen und ihrer Binnenhäfen erkannt und in den vergangenen 100 Jahren damit einen entscheidenden Anteil an der Entwicklung von Industrie- und Versorgungsanlagen geleistet und es außerdem ermöglicht, das ständig steigende Transportvolumen, vor allem auch im grenzüberschreitenden Verkehr, zu bewältigen.

Wo ausgedehnte Ansiedlungsgebiete oder große natürliche Bodenschätze zur Verfügung standen oder wo eine besondere Entwicklung der Produktivität erwartet werden konnte, jedoch keine natürlichen Wasserstraßen vorhanden waren, hat man in diesen Räumen künstliche Wasserstraßen angelegt. Auch hier war es selbstverständlich nur mit Hilfe von Binnenhäfen möglich, die wirtschaftlichen Chancen optimal zu nutzen. So haben sich die großen und leistungsfähigen industriellen Ballungsräume im mitteleuropäischen Bereich vor allem auf 2 sich überkreuzende Achsen konzentriert. Die eine dieser Achsen verläuft längs des Rheins von Rotterdam bis Basel und die andere, aus dem Raume Paris kommend, über das Ruhrgebiet und längs des Mittellandkanales bis in den Raum Berlin. Als Anschluß an diese beiden großen Verkehrsmagistralen ist eine dritte Achse fast diagonal von Nordwest- nach Südosteuropa verlaufend — die Rhein-Main-Donau-Achse — z. Z. im Ausbau begriffen. Binnenhäfen haben als Glieder dieser Verkehrswege die verkehrswirtschaftlichen Verbindungen zwischen den Bezugs-, Produktions- und Absatzmärkten geschaffen.

Es würde den Rahmen dieses Berichtes zu sehr ausweiten, wollte man den Wert und die Leistungen der west- und osteuropäischen Binnenhäfen in den einzelnen Ballungsräumen in ihrer entscheidenden Mittlerrolle zwischen leistungsfähigen Wasserstraßen und der industriellen und allgemein wirtschaftlichen Entwicklung des sie umgebenden Gebietes aufzeigen. Es sei hier nur auf die allseits bekannte Tatsache hingewiesen, daß alle Wasserstraßenausbauten und Kanalbauten Neuverkehr ergeben haben, die alle den Bauvorhaben zugrunde gelegten Verkehrsprognosen um ein mehrfaches überschritten. Errichtung und Betrieb von Binnenhäfen an den neu dem Verkehr erschlossenen Wasserstraßen brachten nicht nur eine Verbesserung der Transportsituation für Produktion, Lagerei und Güterverteilung sowie für die Versorgung der Industrie mit Kühlwasser und vielfach auch Energie, sondern vor allem auch durch Entstehung von Folgebetrieben aller Art Aktivierungen vieler vorhandener und zum Teil ungenutzter Leistungsreserven. So kann man mit Recht die Mitwirkung der Binnenhäfen an der Entstehung von

großen Industrien und wirtschaftlich bedeutenden Entwicklungsräumen zu ausgewogenen, krisenfesten und weiterhin wachstumsstarken Bereichen in der Vergangenheit feststellen.

Ursprünglich haben Binnenhäfen nur eine Umschlags- und Lagerfunktion erfüllt; sie sind aber bald auch in die Rolle einer Industriefunktion hineingewachsen und haben in den bestehenden Industriegebieten und Ballungsräumen die ihnen von der Volkswirtschaft gestellten Aufgaben erfüllt. Sie haben dabei nicht nur ihre Bedeutung in der Entwickung von Industrieregionen des Binnenlandes bewiesen, sondern infolge des starken Austauschbedürfnisses von Gütern zwischen Industrienationen eines Kontinents oder deren Verbindung zu Überseegebieten auch den Außenhandel in besonderer Weise gefördert [3].

Funktion und Leistung der Binnenhäfen kann man jedoch nicht in allen Ländern nach gleichen Gesichtspunkten beurteilen. Der Grund hierfür liegt in der geographischen Situation des jeweiligen Landes oder der Region. In den vielen west- und osteuropäischen Ländern jedenfalls führten die vorher aufgezeigten Leistungen der Binnenhäfen zu entscheidenden volkswirtschaftlichen Entwicklungen.

Untersuchungen in der Bundesrepublik Deutschland haben ergeben, daß in den sog. „nassen Kreisen" (= Gebiete mit Wasserstraßentransportmöglichkeiten) sowohl die Industrieumsätze als auch die Zahl der in der Industrie beschäftigten Personen um das 3- bis 4fache größer sind als in den „trockenen Kreisen". Ganz allgemein konnte festgestellt werden, daß in Binnenhafengebieten die industrielle Wachstumskraft wesentlich stärker war. Trotzdem werden neben manch anderen Institutionen auch die Binnenhäfen auf die Dauer gesehen von gewissen Strukturveränderungen nicht verschont bleiben. Die industrielle Intensivierungs- und Konzentrationsperiode in bundesdeutschen und anderen europäischen Ballungsräumen dürfte sich aus einer Reihe von Gründen (Umweltschutz) im bisherigen Umfang nicht mehr fortsetzen. Hieraus könnten sich Folgerungen auch für die organisatorische und die technische Entwicklung von bestehenden und künftigen Binnenhäfen ergeben.

3.2 *Die Bedeutung der Binnenhäfen in künftigen Entwicklungsgebieten und Ballungsräumen*

Inwieweit Binnenhäfen bedeutungsvoll und notwendig für die Entwicklung künftiger Wirtschaftszentren und Ballungsgebiete sein werden, ist in erster Linie abhängig von der Frage, ob sich in Zukunft vorhandene industrielle Ballungsräume noch wesentlich erweitern lassen oder neue Industriezentren analog den vor allem im westeuropäischen Raum vorhandenen entstehen werden. Aus Gründen der allgemeinen Verkehrs- und Arbeitsmarktsituation sowie vor allem auch des Umweltschutzes für die bestehenden Ballungsräume dürfte sich wohl eine gewisse Verlangsamung ihrer Entwicklung einstellen und sich dafür bei neu entstehenden Wirtschaftszentren die Notwendigkeit zu einer industriellen Dezentralisierung ergeben. Diese Tendenz, vielfach soziologisch und ökologisch erwünscht, ist schon erkennbar an der allgemeinen Entwicklung von Wirtschaftsgebieten entlang neuer Wasserstraßen; hier wird bereits eine bandartige Verteilung der Industrie, der Lagerei- und Handelsbetriebe deutlich. Hier bieten sich wiederum in ganz besonderer Weise Binnenhäfen als unentbehrliches Bindeglied zwischen Verkehrs-, Versorgungs- und Produktionswirtschaft an. In solchen Gebieten werden genauso wie bei der Entstehung der bisherigen großen Ballungsgebiete gerade die Binnenhäfen wesentlicher Anlaß zur Entwicklung von Mittelpunkten wirtschaftlicher Aktivität sein.

Ein grundstückmäßig, technisch und organisatorisch gut ausgestatteter Hafen bietet einen Service, der in der Lage ist, den gesamten Verkehr zu Land und zu Wasser über den Hafen wesentlich zu beschleunigen und damit zu verbilligen sowie gleichzeitig auch

in Zukunft zahlreichen Unternehmungen des Handels, der Spedition und selbstverständlich jeglicher Industrien — mit Vorzug der wassergebundenen — Ansiedlungs- und Entwicklungsräume zu geben. Ist man bereit, Binnenhäfen mit den erforderlichen modernen Anlagen und organisatorischen Maßnahmen sowie vor allem mit einem großflächigen hafeneigenen Gebiet hinter intensiv zu nutzenden Ufern auszustatten, so wird man für künftige Entwicklungsräume entlang von Wasserstraßen wichtige Voraussetzungen zur Verbesserung der Infrastruktur und eine zwingend notwendige Ergänzung für eine sich entwickelnde Industrieregion schaffen.

Sind Häfen technisch zweckmäßig und modern ausgebaut und liegen sie zu den anderen Verkehrsträgern — Schiene und Straße — geographisch günstig, besitzen sie ein entsprechend großes Einzugs- und Ansiedlungsgebiet, so wird die den Binnenhäfen schon immer eigene Anziehungskraft auch in Zukunft in vollem Umfange gegeben sein. Nach wie vor sind Betriebe der Spedition, des Handels und der Lagerei, der Stahlproduktion und Großchemie, der Kunststoffindustrie als der z. Z. bedeutendsten Wachstumsindustrie, der Erdölraffinerien, der zement-, kies- und bimsverarbeitenden Werke, der Zellstoff- und Papierindustrie, vieler metallverarbeitender Industrien und Hersteller landwirtschaftlicher Hilfsgüter am Wasser-, Bahn- und Straßenverkehr gleichermaßen interessiert. Da Wasserstraßen und Binnenhäfen und damit Binnenschiffahrt und Hafenwirtschaft unverzichtbare Bestandteile unserer Zeit sind, auch Gegner der Wasserstraße erkannt haben, daß die künftig notwendigen Verkehrsleistungen nur im Zusammenwirken aller Verkehrsträger erbracht werden können, ist die Frage nach der Bedeutung der Binnenhäfen für sich entwickelnde Wirtschafts- und Verkehrszentren hinsichtlich ihrer Verkehrsleistungen unbedingt zu bejahen. Für ihre standortbildende Kraft hat nach wie vor folgende Feststellung Gültigkeit, die der international anerkannte Hafenfachmann Dipl.-Ing. Paul Feuchter, München, getroffen hat [4]:

> „Wenn sie (die Häfen) sich früher vorwiegend nur als ein Bindeglied der Verkehrswirtschaft sahen, sind sie heute vermöge ihrer standortbildenden Kraft zu beachtlichen Wirtschaftszentren angewachsen. Für die kommenden Jahrzehnte kann sicherlich erwartet werden, daß im Hinblick auf die Erfordernisse einer wassernahen Lage der meisten modernen Industrien die Binnenhäfen einer steigenden Entwicklung entgegensehen, wenn vorausgesetzt ist, daß sie ausreichende Ansiedlungsmöglichkeiten zu bieten imstande sind. Die moderne Wirtschaft verlangt, alle vorhandenen Verkehrswege nach freier Wahl beschreiten zu können, beginnend an der Rohstoffbasis bzw. Produktionsstätte. Die Zunahme des Verkehrsaufkommens wird eines Tages der Leistungsfähigkeit aller Verkehrswege ein Optimum abverlangen. In Hafenbereichen gelegene Industrien werden sich zu ihrer Standortwahl in Zukunft beglückwünschen können."

4. Neue Gesichtspunkte für die Struktur von Binnenhäfen

4.1 Bau

4.1.1 Allgemeine Gesichtspunkte

Beim Bau von neuen Hafenanlagen ist von folgenden Entwicklungen in der Schiffahrt auszugehen: Die durchschnittliche Auslastung der Schiffe vergrößert sich, Lade-, Lösch- und Liegezeiten werden kürzer, die Anzahl der Schubleichter und Tankschiffe nimmt weiter zu, dagegen der Anteil des Kahnraums ohne eigene Triebkraft ab; immer mehr Schiffe ohne Besatzung werden in den Häfen liegen und Schiffsreeden auf der Wasserstraße deshalb weniger benutzt. Die Schiffe haben meistens nur noch einen, höchstens

zwei oder drei Laderäume, wodurch der Güterumschlag sich wesentlich vereinfacht. Auf den Wasserstraßen wird versucht, in Tag- und Nachtbetrieb und außerdem schneller, mit größerer Ladung und streckenweise mit größeren Schubverbänden zu fahren [12]. Diese schiffahrtstechnische und hafenbetriebliche Entwicklung — vor allen Dingen im Hinblick auf die Zunahme der Transporte gefährlicher Güter — kann je nach den örtlichen Gegebenheiten bedingen, Umschlagplätze unmittelbar an der Wasserstraße möglichst zu vermeiden, zumal hier unbemannte Schiffe wegen der starken Wellen- und Sogwirkung der vorbeifahrenden Schiffahrt ohnehin nicht gut liegen. Sie brauchen mehr Schutz gegen den fließenden Verkehr durch geschützte Hafenbecken. Dies gilt aus Sicherheitsgründen besonders für Tank- und sonstige Schiffe zur Beförderung gefährlicher Güter.

Für einen Binnenhafen ist es wichtig, daß seine Hafensohle tief genug liegt und die Schiffe jederzeit mit der auf der angeschlossenen Wasserstraße jeweils möglichen Tauchtiefe in den Zielhafen einlaufen können. Sicherheitshalber empfiehlt sich eine 30 cm oder noch größere Übertiefe. Lediglich unmittelbar in der Hafenmündung ist hiervon abzusehen, da sie schnell verlanden würde.

Zur Beschleunigung des Verkehrs der Schubverbände und zwecks sicheren Ablegens der Schubleichter ist anzustreben, daß geschlossene Schubverbände in die Hafenmündung ein- bzw. ausfahren können. In allen Hafenzufahrten und Hafenbecken müssen sich zwei Schiffe ohne Behinderung und Gefahren mit 5 km/h Fahrgeschwindigkeit begegnen können. Krümmungen sind weitmöglichst zu vermeiden — dieses ist auch wegen der Kranbahn- und Hafenbahngleise erwünscht —; sie sind erforderlichenfalls nicht unter 500 m Halbmesser anzulegen.

Letztlich muß es wegen der hohen Investitionskosten das Ziel eines jeden Hafens sein, einen möglichst hohen Umschlag je lfd. Meter Ufer zu erreichen. Hierzu ist es notwendig, den Umschlag auf wenige, aber sehr leistungsfähige Plätze bzw. Umschlaganlagen zu konzentrieren.

4.1.2 Hafenformen

Hinsichtlich der Hafenform wird nach Parallel-, Dreieck-, Molen- und Stichhäfen unterschieden [13]. Der Parallelhafen unmittelbar an der Wasserstraße (Bild 1) ist die einfachste Hafenform mit den geringsten Herstellungskosten. Er wird auch als Uferumschlagstelle, Lände, Werft usw. bezeichnet. Da diese Häfen selbst bei Zurücknahme der Uferanlage die Fahrgeschwindigkeit des durchgehenden Verkehrs beeinträchtigen, sollte heute diese Hafenform, wenn es wirtschaftlich vertretbar ist, nach Möglichkeit nicht mehr ausgeführt werden. Diese Form kommt evtl. noch bei Hafenneubauten mit geringer Umschlagerwartung, keinesfalls aber für den Umschlag gefährlicher Güter, in Frage. Letzteres gilt ganz besonders für Anlagen an Flüssen, aber auch an Kanälen. Parallelhäfen an Flüssen haben ferner den Nachteil, nicht als Schutzhafen dienen zu können. An Kanälen sollten sie im allgemeinen mit einem Wendebecken angelegt werden.

Der Dreieckhafen (Bild 2) sollte wegen der großen Änderung des Wasserquerschnitts, die Wasserabfluß und Ablagerungen beeinflußt, nur an Kanälen gebaut werden. Die für den Parallelhafen aufgeführten Vor- und Nachteile gelten auch für den Dreieckhafen.

Molenhäfen (Bild 3) sind dagegen für alle Wasserstraßen geeignet. Sie bieten Schutz gegen Angriffe der Wasserbewegung und des durchgehenden Verkehrs auf der parallel vorbeiführenden Wasserstraße. Der Trenndamm kann dabei so breit und hafenseitig so ausgebaut werden, daß er an der Hafenseite für Umschlag ohne Zwischenlagerung an Ort und Stelle (z. B. von Öl) nutzbar ist. Bild 3 zeigt die Lösung für einen

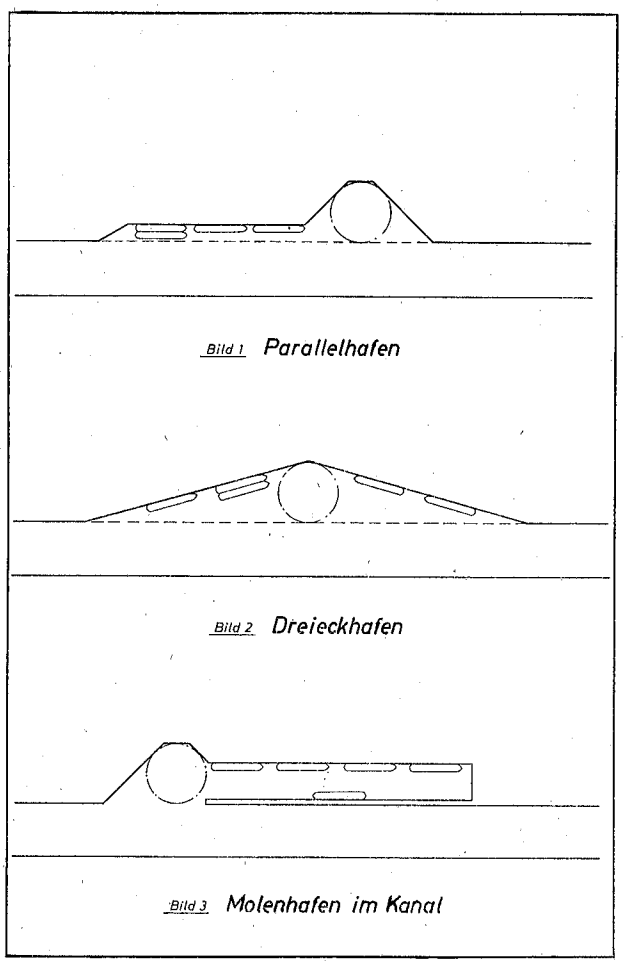


Bild 1 Parallelhafen

Bild 2 Dreieckhafen

Bild 3 Molenhafen im Kanal

Molenhafen mit Wendebecken am Kanal. Am Fluß muß das Wendebecken entfallen, da es eine zu starke Erweiterung des Flußquerschnitts und dadurch Ablagerungen mit mangelnder Wassertiefe zur Folge hätte. Länge und Breite der Molenhäfen hängen von den örtlichen Verhältnissen ab. Sie sind allgemein bis zu 5 Schiffslängen und nicht unter 40 m Fahrwasserbreite zu empfehlen.

Stichhäfen mit einer Mündung und einem oder mehreren Hafenbecken sind die günstigste Hafenform, mit deren Ausbau dem Verkehrszuwachs am besten von Fall zu Fall Rechnung getragen werden kann. Sie bieten der durchgehenden sowie der Hafenschiffahrt die besten Betriebsmöglichkeiten. Geländeumfang und -ausbau sind den örtlichen Gegebenheiten und Verkehrserwartungen anzupassen (Bild 4).

4.1.3 Ölhäfen

Öl oder sonstige gefährliche Güter sollten an Plätzen unmittelbar an der Wasserstraße aus den genannten Gründen nicht mehr umgeschlagen werden, zumal es erfahrungsgemäß für die vorbeifahrende Schiffahrt je nach Wind- und Strömungsverhältnissen

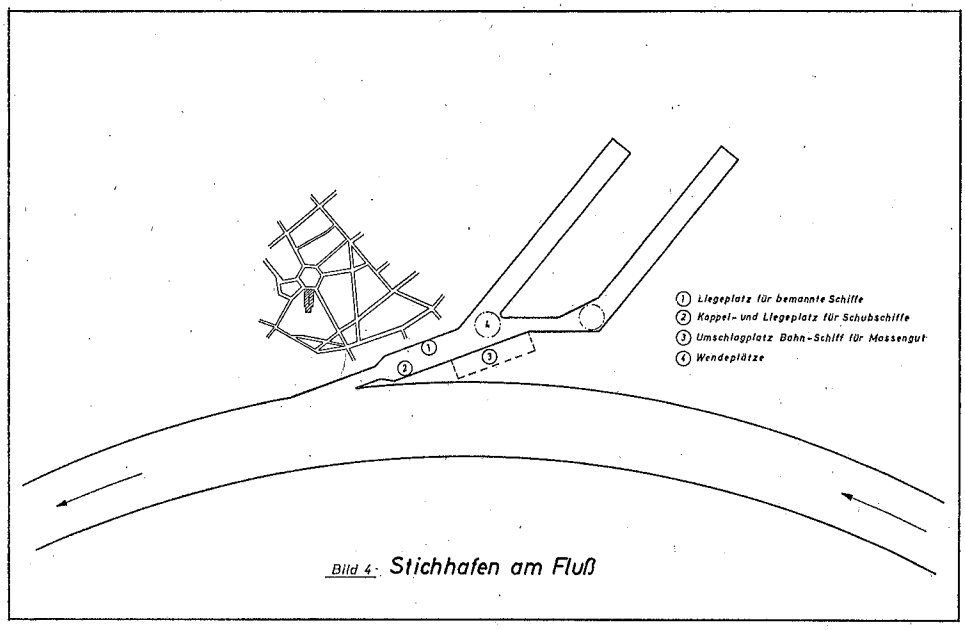


Bild 4: Stichhafen am Fluß

schwierig sein kann, die vorgeschriebenen Sicherheitsabstände zu den Umschlaganlagen bzw. vorgelegten Schiffen einzuhalten.

Molenhäfen sind dagegen als Ölhäfen gut geeignet und zu empfehlen. Größere Mineralölmengen, insbesondere von Raffinerien, sollten an Hafenbecken in Stichhäfen umgeschlagen werden, deren Form abweichend von der üblicher Becken je nach betrieblichen Absichten, Verkehrsumfang und örtlichen Möglichkeiten gestaltet werden kann. Getrennte Liegeplätze für wartende, nicht gerade am Umschlag beteiligte Schiffe sind aus Sicherheitsgründen besonders zu empfehlen.

4.1.4 Hafenmündung

Mit Rücksicht auf Ein- und Ausfahrt von Schiffsverbänden, vor allem geschlossener Schubverbände, muß die Hafenmündung nautisch gut angelegt und für die Schiffsführer übersichtlich sein. Ihre Lage ist bei Flüssen an einer von Ablagerungen freien Stelle zu wählen, die im allgemeinen an einer Krümmungsaußenseite gegeben ist. Sie ist zur Wasserstraße spitzwinkelig und gestreckt möglichst unter einem Winkel kleiner als 30° anzulegen [12]. Dies dürfte sich heute bei der Motor- und Schubschiffahrt auch für Kanalhäfen empfehlen. Schiffsschrauben und fahrende Schiffe verhindern bei nicht zu breit gewählten Mündungen nennenswerte Ablagerungen; deshalb kann auch auf bauliche Maßnahmen hiergegen verzichtet werden; es sind gut ausgebaute geradlinige Ufer zu empefhlen. Da der Schiffsverband aus nautischen Gründen bei der Einfahrt in den Hafen wie auch bei der Ausfahrt zunächst das stromseitige Ufer der Mündung ansteuert, ist es zweckmäßig, dieses Ufer nicht geböscht, sondern senkrecht auszubilden. Die Fahrwasserbreite ist mit 45 bis 70 m und bei Flußhäfen schmaler als bei Kanalhäfen zu wählen.

4.1.5 Hafenzufahrten und Wendeplätze

In Hafenzufahrten müssen sich Schiffe — wobei davon ausgegangen ist, daß auch Schubverbände in Häfen üblicherweise nur mit einer Schiffsbreite fahren — ohne nau-

tische Schwierigkeiten begegnen können. Ihre Breite soll deshalb für jeden Betriebswasserstand nicht unter 45 m betragen. Die Stichhäfen müssen ausreichende Wendemöglichkeiten bieten und deshalb einen oder mehrere Wendeplätze haben, deren Durchmesser mindestens der 1,5fachen Schiffslänge entspricht, somit für das Europaschiff rd. 120 m.

4.1.6 Hafenbecken

Die Breite der Hafenbecken ist heute so zu planen, daß an beiden Ufern nebeneinander 2 Schiffe mit je 11,4 m Breite liegen können und dazwischen noch 30 m Fahrwasser verbleiben. Somit sind mindestens rd. 75 m Hafenbreite nötig. Für längere Hafenbecken — wobei über 1200 m Länge aus hafenbetrieblichen Gründen nicht zweckmäßig ist — wird ein Verhältnis der Länge zur Breite von etwa 10 : 1 empfohlen [12].

Die Hafenzungen zwischen Hafenbecken sind jetzt entschieden breiter als früher vorzusehen, weil an den Umschlagplätzen mit geringerer Uferlänge aber um so größerer Geländetiefe gearbeitet wird. Ihre Breite ist nicht unter 200 m, zweckmäßiger sogar bis 300 m anzulegen.

Zur Aufteilung der Hafenbecken in ihrer Nutzung wird vorgeschlagen, Liegeplätze möglichst nahe der Hafenbecken-Einfahrt, die wichtigsten Umschlagplätze in der Mitte der Becken und an deren Ende Umschlaganlagen für Industrieunternehmen, die im oder nahe am Hafen liegen, anzuordnen. Vor Kopf, also am Hafenbecken-Ende läßt sich u. U. noch eine Werft mit Helling ansiedeln.

4.1.7 Schiffsliegeplätze

Aus betrieblichen Gründen sind in Häfen mit starkem Verkehr Liegeplätze für bemannte und unbemannte Fahrzeuge zu trennen. Neben den schon erwähnten, in den Hafenbecken selbst ausgewiesenen Liegeplätzen, ist ihre Anordnung nahe der Hafenmündung äußerst wichtig. Es empfiehlt sich, gleich im Anschluß an die Mündung eine wesentliche Verbreiterung der Wasserfläche vorzunehmen und beide Ufer als Liegeplätze in ausreichender Länge auszuweisen (Bild 4); dabei ist die Seite mit den besten Zugangswegen zum Ort für bemannte Schiffe und gegenüber für die Schubschiffahrt zu planen; letzterer ist als spezieller Liege- und Koppelplatz für Schubschiffe zu erklären. Er muß deshalb mindestens so lang und breit sein, daß ein geschlossener Schubverband in den für die vorbeiführende Wasserstraße zugelassenen Abmessungen außerhalb des Fahrwassers ablegen kann. Von hier werden die Schubleichter im allgemeinen einzeln zu den Umschlagplätzen oder sonstigen Liegeplätzen weiterbefördert. Liegeplätze sollten nicht breiter als für 4 Schiffe nebeneinander sein, da sonst die gegenseitigen und verkehrlichen Behinderungen beim Ablegen zu groß werden, zumal auch bei den bemannten Fahrzeugen nicht immer Personal an Bord ist.

Für Tankschiffe sind gesonderte Liegeplätze anzuordnen. Sofern sie ausschließlich den Transport von Gütern, die nach der Verordnung über die Beförderung gefährlicher Güter auf dem Rhein (ADNR) der Gefahrenklasse III Kategorie K 3 zuzuordnen sind, ausführen, können sie auch die allgemeinen Liegeplätze benutzen.

In Schutzzeiten (Hochwasser, Eis) erfordern Schubleichter viele Liegeplätze.

4.1.8 Umschlagplätze

Außer den schon unter 4.1.6 erwähnten Umschlagplätzen in den Hafenbecken selbst, sollte möglichst nahe der Hafenmündung ein sehr leistungsfähiger Umschlagplatz für den

gebrochenen Transportweg mit der Eisenbahn, möglichst sogar für Ganzzüge, verfügbar sein, bis zu dem noch geschlossene Schubverbände fahren können.

Die Erwägungen nach 4.1.7 und 4.1.8 führen von der Hafenmündung aus gesehen zu folgendem Hafenaufbau:

Nach kurzer schmaler Mündung wesentliche Hafenverbreiterung mit beiderseitigen Liegeplätzen von u. U. unterschiedlicher Länge, anschließend ein großer Massengutumschlagplatz für den Bahnverkehr, erst hiernach weitere Aufgliederung der Hafenanlagen in Zufahrten, Wendeplätze und Hafenbecken (Bild 4).

4.1.9 Uferform und -höhe

Die Leistungssteigerung der Umschlagplätze, das Vorlegen unbemannter Schiffe und erhöhte Anforderungen der Verkehrssicherungspflicht erfordern an den meisten Uferabschnitten senkrechte Ausführung (Bild 5). Geböschte Uferanlagen sind für die Bereiche der Umschlag- und Liegeplätze wenig geeignet, außer an Ölumschlagplätzen. Da die Uferhöhen an natürlichen Wasserstraßen (Ströme, Flüsse) z. T. außerordentlich groß sind, wird dort vielfach das gebrochene Ufer (Bild 6) angewandt, da es außer billigeren

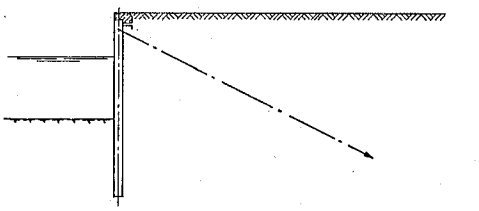


Bild 5 Senkrechtes Ufer im Kanalhafen

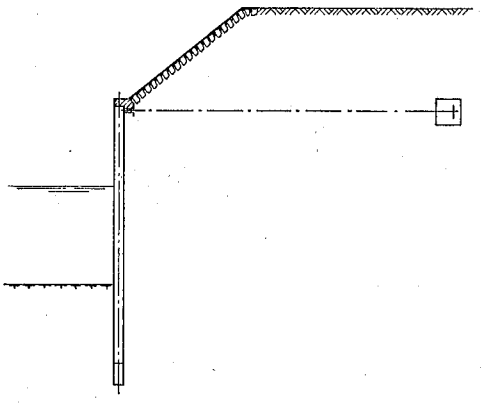


Bild 6 Gebrochenes Ufer im Flußhafen

Herstellungskosten den Vorteil bietet, für die üblichen Wasserstände sehr betriebsgünstig zu sein. Lediglich in den kurzen Zeiten der seltenen hohen Wasserstände ist das Anlegen der Schiffe im Vergleich zu vollkommen senkrechten Ufern erschwert.

Für Liegeplätze der Motorschiffe sind senkrechte Ufer — keine Böschungen mit Dalben — zumindest im Bereich der vorherrschenden Wasserstände zu empfehlen. Dalben sollten überhaupt nur bei Umschlagplätzen noch Verwendung finden. Auch für Schubschiffliegeplätze können sie u. U. noch genügen, aber ihre Schadenanfälligkeit wird auf lange Sicht beachtlich sein.

In Kanalhäfen sollte die Uferhöhe über dem konstanten oder angestauten Wasserstand nach Möglichkeit nicht unter 2 m gewählt werden. Da nur ein geringer Prozentsatz der in Binnenhäfen gelagerten Güter wasserempfindlich ist und die Schiffahrt bei Hochwasser ruht, ist es in Flußhäfen nicht notwendig, die Hafenplätze alle vollkommen hochwasserfrei anzulegen. Für die meisten Plätze ist etwa der höchste schiffbare Wasserstand eine geeignete Höhenlage.

4.1.10 Uferkonstruktion

Die senkrechten und gebrochenen Ufer (Bild 5 und 6) werden meistens mit verankerten Spundwänden, im übrigen unter günstigen örtlichen Bedingungen in Beton- bzw. Stahlbeton gebaut. Aus statischen Gründen lassen sich Spundwände meistens nicht mehr mit der Kranbahn verbinden, so daß diese besonders gegründet werden muß. Bei den modernen und leistungsfähigen Kranen erfordern die hohen Kranradlasten und ihre Seitendrücke schon eine besondere Gründung.

4.1.11 Sonstige Hafeneinrichtungen

Im Bereich des mündungsnahen Liegeplatzes für bemannte Fahrzeuge sind auch Versorgungseinrichtungen für Personal und Schiffsausrüstung vorzusehen, damit diese auch vom durchgehenden Verkehr mit nur kurzer Fahrtunterbrechung aufgesucht werden können.

Häfen, die in Zukunft mit lebhaftem Containerverkehr rechnen, sollten vorsorglich hierfür einen geeigneten Platz bereithalten, der außer den entsprechenden Umschlaganlagen ausreichende Abstellflächen, Bahn- und Straßenanschluß haben muß. Im Falle zunehmenden Lash-Verkehrs ist auch für diese Spezialfahrzeuge ein gesonderter Liegeplatz vorzusehen.

4.2 Ausrüstung

4.2.1 Einrichtungen zur Geländeerschließung

Erste Voraussetzung für die Erschließung eines Hafengeländes ist nach Anschluß an die Wasserstraße seine Erschließung und Anbindung an Eisenbahn und Fernverkehrsstraße. Im allgemeinen sind für Binnenhäfen Straßen- und Bahnanschluß erforderlich; letzterer ist zumindest von vornherein einzuplanen. Beide Anschlüsse sollten bezüglich ihrer Leistungsfähigkeit gleichwertig sein, damit die Wahl des Transportweges vom Kunden frei entschieden werden kann.

Straßen im Hafen sind für Schwerlastverkehr auszubauen und möglichst auch für stoßweisen Verkehr zu bemessen. Da die Ladestraßen ausschließlich für das Be- und Entladen freigehalten werden müssen, sind zusätzlich ausreichende Parkflächen vorzusehen und an den Enden der Hafenstraßen Wendeplätze mit einem Durchmesser für die längsten zugelassenen Fahrzeuge zu errichten.

Für neue Anlagen sind aus Gründen der Betriebssicherheit Gleisanlagen und Straßenflächen so gegeneinander abzugrenzen, daß diese beiden Verkehre sich nicht überschneiden. Beim Ausbau der Gleisanlagen muß berücksichtigt werden, daß die Bahntransporte in Zukunft vermehrt mit Ganzzügen abgewickelt werden und dafür entsprechende Gleislängen zur Verfügung stehen. Auch Waggonverzugsanlagen können für derartige Zwecke sowie für größere Wagengruppen empfehlenswert sein, um den Be- und Entladevorgang zu beschleunigen. Zumindest bei Massengutumschlag sind darüber hinaus Gleiswaagen erforderlich, auch um Überladungen und dadurch bedingte Verzögerungen in der Zugabfertigung auszuschließen. Wenn es die speziellen Betriebsverhältnisse zulassen, kommt auch eine kombinierte Gleis- und Straßenwaage hierfür in Frage.

In dem gesamten Hafengelände ist eine gute Stromversorgung notwendig, die vorsorglich von vornherein auf große Leistung ausgelegt werden sollte, da zusätzliche Krane, aber auch andere Spezialanlagen z.T. erheblichen Stromverbrauch haben. Trafostationen müssen in ausreichender Zahl und in Abständen vorgesehen werden, um Spannungsverluste möglichst gering zu halten. Für die Stromversorgung der Krane sind Leitungskabel oder Schleifleitungskanäle notwendig.

Auch die Errichtung von Kranbahnen im Bereich der Umschlagplätze gehört zur Ausrüstung der Binnenhäfen. Ferner eine Wasserversorgung nicht nur für die Hafenbetriebsanlagen, sondern auch zur Trinkwasserversorgung der Schiffe. Desgleichen ist für einwandfreie Entwässerung und Kanalisation zu sorgen. Alle wesentlichen Uferbereiche, Gleisanlagen und Straßen bedürfen einer Orientierungsbeleuchtung, die eine reibungslose Abwicklung des Verkehrs in den Häfen, speziell an und auf den Uferanlagen, bei Dunkelheit gestattet. Für die Ufer eines Hafens besteht keine allgemeine Beleuchtungspflicht, sondern nur für die Bereiche, wo es die Verkehrsverhältnisse erfordern.

4.2.2 Umschlaganlagen und Fördergeräte

In öffentlichen Häfen mit ihren vielseitigen Aufgaben sind Krane als Allzweckgeräte immer noch die wichtigsten Umschlaganlagen. Dagegen kann in Werkshäfen vielfach Spezialanlagen für bestimmte Güter der Vorzug gegeben werden. Bei Stückgütern ist die Tendenz zu immer größeren Paket- und Palettengewichten festzustellen. Bei Umschlagbetrieb muß in Zukunft davon ausgegangen werden, daß die Schiffe, vor allem wenn sie unbemannt sind, vor der Umschlagstelle nicht verholt werden und nur für die Dauer des Umschlagvorganges vorliegen, in der übrigen Zeit aber an besonderen Liegeplätzen abgelegt werden. Der Umschlag ist möglichst auf wenige Plätze mit leistungsstarken Anlagen zu konzentrieren, um einen hohen t-Umschlag je laufende Meter Ufer zu erreichen. Von Sonderfällen abgesehen, werden in Binnenhäfen keine speziellen Stückgutkrane mehr aufgestellt; Stückgut wird entweder nach Abhängen des Greifers mit Massengutkranen oder mittels Hallenlaufkran umgeschlagen. Die Leistungsfähigkeit der Portalkrane und ihre Reichweite ebenso wie die Verwendung moderner Flurfördergeräte haben dazu geführt, daß ein Abgehen von den früheren großen Verladebrücken festzustellen ist; deren rückwärtige Kranschiene ist nämlich in der Lagerplatzausnutzung hinderlich, außerdem muß mit schweren Verladebrücken im Verhältnis zum Transportgut zu viel Konstruktionsgewicht bewegt werden.

Krane für Massengut, die auch gelegentlich Stückgut umschlagen, sollten mindestens 8 t Tragfähigkeit haben. Es kommen auch schwerere Krane mit 15, 25 und 40 t Tragfähigkeit zum Einsatz, letztere für Containerumschlag und Schwerlasten. Die Krane dürfen im Interesse der Umschlagleistung nicht viel verfahren werden und brauchen deshalb eine verhältnismäßig große Ausladung bzw. Reichweite. Andererseits muß ihre Kranbahn so lang sein, daß bei den unbemannten Schiffen, deren Zahl immer mehr zunimmt, jegliches Verholen dieser Schiffe sich erübrigt. Die Krane sollten gewissermaßen aus dem Stand

arbeiten können. Es werden in erster Linie Greiferkrane und diese als Portalwippdrehkrane mit oder ohne Unterwagen gebaut und verwendet.

Die Entwicklung bei Schiffen und Kranen macht es erforderlich, daß für den Umschlagplatz eine entschieden größere Geländetiefe als früher zur Verfügung steht. Das rückwärtige Gelände kann durch Zusatzgeräte, wozu neben den Flurfördergeräten auch Förderbänder gehören, bedient werden. Im übrigen kann die Kranleistung durch Einsatz von Trichtern und Bunkern gesteigert werden. Auf diese Weise läßt sich der Weitertransport des Gutes im rückwärtigen oder seitlichen Bereich in oder aus Fahrzeugen der Bahn und Straße wesentlich beschleunigen und eine bessere Platzausnutzung erreichen. Zudem sind diese Zusatzgeräte billiger und wirtschaftlicher als eine größere Anzahl oder Reichweite der Krane.

Abschließend ist bezüglich der Entwicklung der Umschlaganlagen festzuhalten, daß für Massengut in Zukunft den parallel zum Ufer verlaufenden Kranen mit 8 t oder mehr Tragfähigkeit, dagegen für Stückgut den senkrecht zum Ufer errichteten Laufkranen der Vorzug zu geben ist; letzteren besonders dann, wenn der Umschlagplatz eine moderne Lagerhalle besitzt.

4.2.3 Lagerplätze

Der Anteil des unmittelbaren Umschlags zwischen Schiff einerseits und Eisenbahnwagen oder Lkw andererseits wird immer geringer, und das Gut muß mehr und mehr, wenn auch nur kurzfristig, zwischengelagert werden. Im modernen Hafen geht es deshalb nicht ohne ausreichend große Lagerplätze und Lagerhallen. Die Anforderungen an die Qualität der Einlagerungen haben sich wesentlich verändert. Auch für Freilagerplätze werden in vermehrtem Umfang fester und sauberer Lagerboden und gute seitliche Abgrenzung verlangt. Wenn die Möglichkeit zur Veränderung nicht ausgeschlossen ist, sind aufnehmbare Plattenbeläge und verstellbare Abgrenzungen, besonders für Schüttgüter, zu empfehlen.

4.2.4 Lagerhallen

In den Häfen wird immer mehr sorgfältige und vollkommen witterungsgeschützte Einlagerung der Güter gefordert. Das hat einen vermehrten Bedarf an Lagerhallen zur Folge.

Hallen mit beweglichem Dach oder Öffnungsluken im Dach, durch die das Gut mittels Uferkran befördert wird, haben sich nicht bewährt, es sind deshalb ausschließlich feste Dächer zu empfehlen. Die Hallen werden quer zum Ufer mit möglichst großer Tiefe und eingeplanter weiterer Verlängerungsmöglichkeit gebaut und mit leistungsfähigen Hallenlaufkranen für Haken- und Greiferbetrieb ausgestattet. Es wird ausschließlich die eingeschossige Bauweise bei den heutigen hohen Stapelmöglichkeiten gewählt und auch auf Unterkellerung verzichtet. Desgleichen sind die Hallen ebenerdig, d. h., ohne Rampe angelegt. Selbst zur Eisenbahnseite hin wird vielfach auf eine Rampe verzichtet, da Ent- oder Beladung mit Hubstaplern auch ohne sie möglich sind.

4.2.5 Überdachte Umschlagplätze

Für immer mehr Güter wird nicht nur witterungsgeschützte Einlagerung, sondern auch der Umschlag unter Dach gefordert. Da die mit Kraftfahrzeugen oder Bahn transportierten Güter im allgemeinen verhältnismäßig leicht in überdachten Umschlaganlagen verladen werden können, ist es für die Schiffahrt wichtig, auch ihre Umschlagbedingungen zu verbessern. Es ist deshalb davon auszugehen, daß derartige überdachte Umschlaganlagen in Verbindung mit Lagerhallen mehr und mehr gefordert werden [14]. Der Um-

schlag an diesen Anlagen bringt neben der Wetterunabhängigkeit auch noch den Vorteil eines entschieden günstigeren Personaleinsatzes. Bei Hallenneubauten sollte die Möglichkeit einer späteren Erweiterung zu überdachtem Wasserumschlagplatz wenigstens schon eingeplant werden, wenn dessen Anlage nicht sofort zweckmäßig erscheint.

4.2.6 Speicher

Speicher werden heute fast ausschließlich für Getreide, Mehl, Zement, Futtermittel und dgl. gebaut. Getreide wird meistens mittels Elevatoren oder Sauganlagen, im übrigen aber auch mit Kranen und Spezialgreifern umgeschlagen; Mehl auch noch über Sackrutschen.

4.2.7 Lager- und Umschlageinrichtungen für Öl und sonstige flüssige Stoffe

Ölumschlaganlagen sind entsprechend den hierfür erlassenen Vorschriften so einzurichten, daß Gefahren einer Ölverschmutzung weitmöglichst ausgeschlossen werden. Für den Anschluß zwischen Schiff- und Landanlage sind biegsame Rohrleitungen — diese können Schlauchverbindungen oder bewegliche Gelenkrohre sein — zu verwenden. An Ölumschlagplätzen genügen geböschte Ufer mit Dalbenanlagen; die Umschlaganlagen sind auf Leitungs- und Bedienungsbrücken verlegt, die wasserseitig auf einem Ponton schwimmen, oder sie liegen auf entsprechend dem jeweiligen Wasserstand höhenverstellbaren Bühnen. Bei größerem Umschlagbetrieb sind Pieranlagen (Fingerpier) zu empfehlen.

4.2.8 Sonstige Anlagen

In öffentlichen Häfen ist verschiedentlich auch ein Schwerlastkran gefragt. Dazu muß festgestellt werden, daß die Erstellung eines solchen nur zu vertreten ist, wenn von bestimmten Interessenten eine ausreichende Grundauslastung garantiert wird. Andernfalls ist eine solche Anlage unwirtschaftlich, zumal für derartigen Umschlag vielfach der Mobilkran eine beweglichere Konkurrenz ist; er kann jedoch nur zum Einsatz kommen, wenn die Ufereinfassung die auftretenden Drücke aufnehmen kann.

In Werkshäfen finden sich häufig entsprechend den dort umgeschlagenen Gütern Spezialanlagen, so z. B. Sieb-, Sortier- und Bunkereinrichtungen, wie überhaupt die Werkshäfen speziell auf die Güter des angeschlossenen Werkes in ihren Umschlaggeräten ausgerüstet sind.

5. Verwaltung der Binnenhäfen

Da dieser Abschnitt sich nach der Themenstellung nur mit der „Bau- und Betriebsverwaltung" zu befassen hat, scheint zur Klarstellung der Begriffe der Hinweis erforderlich, daß sowohl die Bauverwaltung wie auch die Betriebsverwaltung nur zwei Bereiche der Hafenverwaltung sind, die außerdem noch weitere Aufgabenbereiche umfaßt, wie z. B. die Grundstücks-, Verkehrs- und die Finanzverwaltung [4] [5].

Die Internationale Binnenhafenkonferenz 1937 in Köln hat schon festgestellt, daß die Verwaltung der Binnenhäfen wegen der wirtschaftlichen Kompliziertheit, Vielgestaltigkeit und Empfindsamkeit eines Binnenhafens ein besonderes Maß von Verantwortung erfordert, wobei für den Aufgabenbereich in erster Linie Struktur und Funktion des Hafens maßgebend sind; unter Struktur sind vor allem die Eigentumsverhältnisse, unter Funktion ist die Zweckbestimmung des Hafens zu verstehen. [6]

Auch das Bundesverkehrsministerium der BRD trifft in einem Bericht 1971 noch dieselbe Feststellung: „Die Eigentumsverhältnisse und die Rechts- und Organisationsformen der Binnenhäfen sind sehr unterschiedlich" [7]. Es bleibt nur festzustellen, daß sich trotz der Erkenntnisse auf der Internationalen Binnenhafenkonferenz und Deutschen Hafentagung 1937 in Köln die Verhältnisse bis zum Zeitpunkt der Vorlage dieses Berichts nicht grundsätzlich geändert haben. Trotzdem soll versucht werden, die beiden Teilbereiche ‚Bauverwaltung' und Betriebsverwaltung' aus dem Gesamtbereich ‚Hafenverwaltung' hier mit dem Ziele darzustellen, ihre Aufgabenbereiche zu umreißen und Grundsätze für deren Organisation herauszuarbeiten, die nicht nur den heutigen Erfordernissen und technischen Möglichkeiten in den Häfen selbst, sondern darüber hinaus auch der Verkehrswirtschaft und dabei speziell der Binnenschiffahrt entsprechen.

Es liegt in der Natur der Sache, daß sich die Ausführungen in erster Linie auf die öffentlichen Binnenhäfen erstrecken, deren Hafenwirtschaft und damit ihre Funktionen grundsätzlich vielgestaltiger und umfangreicher sind als die der privaten und/oder Werkshäfen.

5.1 Bauverwaltung

5.1.1 Aufgaben

Die Aufgabe der Bauverwaltung eines öffentlichen Binnenhafens ist die technische Instandhaltung und betriebsbereite Vorhaltung aller Hafenanlagen und deren Betriebsvorrichtungen. Sie ersteckt sich im einzelnen auf folgendes:

5.1.1.1 Verkehrssicherungspflicht zu Wasser

Vordringlichste Aufgabe ist die Verkehrssicherungspflicht [14]. Sie erfordert für Hafensohle, Hafeneinfahrt und Uferanlagen unter und über Wasser sowie bei den Verkehrszeichen stets eine solche Beschaffenheit, daß der Verkehr mit zugelassenen Schiffen und sonstigen schwimmenden Geräten unter den für den Hafenbetrieb gegebenen Voraussetzungen jederzeit sicher und ungestört abgewickelt werden kann. Auf die Verkehrszeichen im Wasser ist besonders deshalb zu achten, weil sie leicht durch vorbeifahrende Fahrzeuge versetzt oder abgetrieben werden können. Ferner sind alle Mängel an Anlagen, die ihre Benutzbarkeit gefährden oder ausschließen, unverzüglich zu kennzeichnen, die Gefahrenbereiche notfalls abzusperren und Instandsetzungen baldigst vorzunehmen. Auch die Umschlagplätze gilt es daraufhin zu überwachen, ob Umschlaggut oder sonstige Gegenstände ins Wasser fallen und zu Gefahren für die Schiffe werden können. Die Uferanlagen sollen auf die Ordnungsmäßigkeit ihres Zustandes einmal jährlich hinsichtlich etwaiger Veränderungen, Beschädigungsmöglichkeiten für Schiffe sowie Zustand der Festmacheeinrichtungen und Treppen überprüft werden.

5.1.1.2 Verkehrssicherungspflicht zu Lande

Auch auf den Landanlagen des Hafens sind Aufgaben der Verkehrssicherungspflicht wahrzunehmen; in erster Linie an den Gleisanlagen, damit sie den Vorschriften entsprechen und ihre Betriebssicherheit gewährleistet ist. Hierbei ist zu berücksichtigen, daß im Hafenbetrieb — das gilt vor allem an den Umschlagplätzen — nicht Verhältnisse wie in Bahnhöfen oder freien Eisenbahnstrecken vorliegen, sondern in besonderem Maße auf die Gleis- und Profilfreiheit geachtet werden muß.

Auch auf Straßen und Brücken ist die Sicherungspflicht einschl. der Beschilderung mit Verkehrszeichen zu beachten, damit sie ohne Gefahren benutzt werden können. In einigen Hafenbereichen befinden sich Hochwasserschutzanlagen, die ordnungsgemäß

unterhalten werden müssen. Ferner sind mit Rücksicht auf etwaige Unfallgefahren Uferwege und Treppen in regelmäßigen Zeitabständen zu überprüfen.

Die Aufgaben der Verkehrssicherungspflicht zu Wasser wie auch zu Lande sollten mit eigenem, gut eingearbeitetem Fachpersonal der Hafenverwaltung wahrgenommen werden. Auch für die allgemeine Wartung der Betriebsanlagen empfiehlt sich eigenes Stammpersonal. Dagegen können für Instandsetzungen Unternehmerkräfte herangezogen werden. Auch für Baggerungen empfiehlt sich Unternehmereinsatz, da nur in sehr großen Häfen ein eigener Bagger laufend und wirtschaftlich beschäftigt werden kann.

5.1.1.3 Peilen

Das Überprüfen der Hafensohle durch Peilen ist in der Regel zweimal im Jahr notwendig und zusätzlich nach besonderen Vorkommnissen, durch die sich stellenweise die Hafensohle verändert haben könnte [14]. In von Schiffen belegten Bereichen müssen bei Verdacht auf Untiefen oder Hindernisse Peilungen nachgeholt werden. Zum Peilen dient heute in erster Linie das Echolot, aber auch noch Peilrahmen und Stangen werden gebraucht. Schwierig ist die Kontrolle von Unterwasserböschungen, die einwandfrei nur bei Niedrigwasser möglich ist und in diesen Zeiten dann auch erfolgen muß.

Die beste Kontrolle der Hafensohle ist das Baggern mit einem Eimerkettenbagger. Um eine häufigere Kontrolle zu haben, empfiehlt es sich, bei Vertiefungsbaggerungen nicht auf einmal die volle Tiefe herzustellen, sondern je nach Erfordernis des Vertiefungsmaßes nach und nach im Laufe der Jahre mehrere Baggerungen vorzunehmen, d. h. bezüglich der Tiefe in Teilabschnitten vorzugehen.

5.1.1.4 Baggern

Baggerungen sind in gewissen Zeitabständen in fast allen Häfen erforderlich und daher eine der wesentlichen Instadsetzungsmaßnahmen für die Betriebsfähigkeit des Hafens. Bei Niedrigwasser können sowohl Kolke wie Untiefen durch mahlende Schiffsschrauben entstehen. An Umschlagplätzen kann oft wegen ins Wasser gefallenen Ladeguts Baggereinsatz erforderlich werden; es darf den Umschlagfirmen mit Rücksicht auf die Gefährdung der Standsicherheit von Uferanlagen nicht überlassen werden, etwa mit ihrem Krangreifer von sich aus die ausreichende Tiefe wiederherzustellen.

Eine ebene Hafensohle läßt sich am besten mit Eimerkettenbaggern herstellen. Diese Geräte sind auch unempfindlich gegen Fremdkörper im Baggergut, die beim Verladebetrieb, besonders an Schrottumschlagplätzen, nicht auszuschließen sind. Im übrigen sind Schwimmkrane oder Greifbagger auf Pontons nur in begrenztem Umfang geeignet, eine ordnungsgemäße ebene Hafensohle herzustellen und werden deshalb nur gelegentlich, um in Notfällen eine Untiefe schnell zu beseitigen, verwendet. Besondere Sorgfalt ist darauf zu verwenden, daß vor Ufermauern, Brückenpfeilern und sonstigen Unterwasserbauten nicht zu tief oder Unterwasserböschungen nicht angebaggert und so diese Bauwerke in ihrem Bestand beeinträchtigt werden.

Alle beim Baggern angetroffenen Hindernisse, leicht vom Personal am Gang der Baggerkette erkennbar, sind, sofern sie nicht sofort von der Eimerkette erfaßt und hochbefördert werden, zu kennzeichnen und zu beseitigen; keinesfalls ist ein Einbaggern in die Tiefe zuzulassen.

Technisch ist heute nicht so sehr die Ausführung des Baggerns ein Problem, als der Abtransport und das Unterbringen der Baggermassen, da das Verklappen im Strom oder in Auskiesungen mit Rücksicht auf Trinkwasserschutzgebiete vielfach nicht zugelassen ist. Schon beim Bau eines neuen Hafens empfiehlt es sich, langfristig für Unterbringungsmöglichkeiten von Baggergut Vorsorge zu treffen.

5.1.1.5 Hindernissuche

Für das Peilen und die Hindernissuche hat das Baggern immer noch den zuverlässigsten Erfolg. Hierbei werden die meisten Hindernisse gefunden und beseitigt. Zur Angabe und Markierung von Hindernissen ist es zweckmäßig, die Ufer des Hafens mit einer Kilometrierung zu versehen. Trotz der Ortsangabe der Verluststelle ist die Ankersuche dennoch oft langwierig und erfolglos. Aber auch alle anderen Hindernisse sind zu kennzeichnen und zu beseitigen. Wenn das Beseitigen eines Hindernisses auch dem Verursacher obliegt, so ist dieser mangels Gerät und Fachpersonal meistens nicht dazu in der Lage und wendet sich an die Hafenverwaltung; diese ist allen Hafenbenutzern gegenüber verantwortlich, alle Gefahren abzuwenden. Auch bei Einsatz von anderen Unternehmen bei der Suche müssen die Arbeiten von der Hafenverwaltung überwacht werden. Sie genügt ihrer Verkehrssicherungspflicht nicht, wenn sie sich lediglich von der erfolgten Beseitigung durch einen Dritten unterrichten läßt. Alle Arbeiten unter Wasser bedürfen der Kontrolle durch sie.

5.1.1.6 Wartungsarbeiten

Weitere Wartungsarbeiten sind außer Peilen und Baggern die Kontrolle der Kranbahnen auf ordnungsgemäßen Zustand, das Einhalten ihrer Spurweite und Höhenlage, da Land- und Wasserschiene in Binnenhäfen meistens unterschiedliche Gründungen und damit ungleichmäßige Setzungen haben können. Auch die Schleifleitungskanäle erfordern regelmäßiges Reinigen und Instandhalten. Straßen, Senken, Entwässerung und Kanalisation sind zu säubern und im Bedarfsfalle Straßen, Brücken und Treppen auch zu streuen, ferner die Hafenbeleuchtung zu überprüfen.

5.1.1.7 Instandsetzungen der Anlagen

Alle Bauwerke in und am Wasser sowie auf dem Hafengelände müssen — möglichst laufend — so instandgehalten werden, daß ihre Benutzbarkeit und Sicherheit in betrieblicher wie auch in bautechnischer Hinsicht jederzeit gewährleistet bleiben. Erforderliche Instandsetzungen sind besonders in Häfen mit wechselndem Wasserstand so schnell als möglich unter Ausnutzung niedriger Wasserstände auszuführen, da etwaige Mängel nach steigendem Wasser unter der Wasserlinie zu Gefahrenstellen für die Schiffe werden können. Ganz besonders gilt dies für Dalben und Reibehölzer, sofern letztere noch verwendet werden. Festgestellte Schäden an Böschungen sollten möglichst umgehend behoben werden; sie entstehen meistens unter Wasser, wo sich ihr Umfang bei mehrmaligem Überfluten unter Umständen schnell vergrößert und den Instandsetzungsaufwand sehr verteuert.

5.1.2 Organisation

Träger der Bauverwaltung in den öffentlichen Binnenhäfen ist, wenn von der Organisationsform im einzelnen hier abgesehen wird, der Eigentümer der zu verwaltenden Anlagen, der ja auch als solcher nach allen einschlägigen Rechtsvorschriften Dritten gegenüber für ordnungsmäßigen Zustand und betriebssichere Nutzungsmöglichkeiten seiner Anlagen verantwortlich ist. Befindet sich also das Eigentum an allen stationären Hafenanlagen und Betriebsvorrichtungen in einer Hand, so ergeben sich keinerlei Schwierigkeiten und Kompetenzzweifel hinsichtlich der Verantwortlichkeit für ordnungsgemäße Aufgabendurchführung.

Anders ist die Lage bei sogenannten „gemischtwirtschaftlichen" Häfen, in denen sich alle oder ein Teil der Umschlaganlagen, Lagerhäuser usw. im Eigentum privater Dritter

befinden, denen dann die Aufgaben und Verpflichtungen zur ordnungsmäßigen Instandhaltung ihrer Anlagen obliegen. Da die Errichtung dieser Privat-Anlagen in öffentlichen Binnenhäfen einer Genehmigungspflicht der Hafenverwaltung unterliegt, hat diese im Rahmen ihrer Genehmigungskompetenz die Verpflichtung, darauf zu achten, daß die privat errichteten Anlagen nicht nur mit der Zielsetzung ihrer Hafenfunktion konform gehen, sondern sich auch den technischen Gegebenheiten der stationären Hafenanlagen zweckentsprechend anpassen und eingliedern. Darüber hinaus ergibt sich für die Hafenverwaltung bzw. deren Bauverwaltung im Rahmen ihrer Genehmigungskompetenz die Verpflichtung, sich nach Fertigstellung privater Anlagen im Hafenbereich davon zu überzeugen, daß alle sonstigen zur Errichtung dieser Anlagen erforderlichen behördlichen Genehmigungen erteilt worden sind. Die Überwachung der Einhaltung dieser sonst erforderlichen behördlichen Genehmigungen und der damit ggf. verbundenen Auflagen fällt hingegen in die Zuständigkeit dieser Behörden.

5.2 *Betriebsverwaltung*

5.2.1 Aufgaben

Die Betriebsverwaltung eines öffentlichen Binnenhafens hat die Aufgabe für den nach der Funktion des Hafens möglichst wirtschaftlichen Einsatz aller Betriebsmittel und Betriebsanlagen des Hafens zu sorgen. Zu den Betriebsmitteln und -anlagen eines öffentlichen Binnenhafens sind hierbei im weitesten Sinne des Wortes alle der Funktion des Hafens dienenden Anlage- und Ausrüstungsgegenstände zu rechnen, die nach Einzelfunktionsbereichen aufgegliedert auf folgende Betriebsteile des Hafens entfallen:

- Wasserflächen,
- Uferanlagen,
- Umschlaganlagen,
- bebaute und unbebaute Hafengrundstücke,
- Hafenstraßen,
- Hafeneisenbahn.

Befinden sich die Wirtschaftsgüter dieser Betriebsbereiche im alleinigen Eigentum der, in welcher Rechtsform auch immer organisierten Hafenverwaltung, so ist ohne weiteres unter ihrer verantwortlichen Leitung die Betriebsverwaltung zu einem der Hafenfunktion zweckentsprechenden Einsatz aller Betriebsmittel und -anlagen mit dem größten wirtschaftlichen Nutzeffekt für den Hafen und seine Benutzer in der Lage, weil die Kompetenz hierfür in einer Hand liegt. In der Mehrzahl der öffentlichen Binnenhäfen in der BRD ist diese Voraussetzung jedoch nicht gegeben. In vielen Häfen stehen die Umschlaganlagen im Eigentum privater Unternehmer, die ihren Einsatz steuern, und zwar — das kann unterstellt werden — im Ziele der allgemeinen Hafenfunktion, welche ja letztlich zu ihrer Ansiedlung in diesem Hafen geführt hat. Bei diesem Einsatz werden sie sich in erster Linie von dem höchstmöglichen wirtschaftlichen Nutzeffekt für ihr Unternehmen leiten lassen. Das führt zu dem sicherlich hier und da in öffentlichen Binnenhäfen anzutreffenden Bild, daß beispielsweise vor einer Umschlaganlage mehrere Schiffe zur Ent- oder Beladung vorliegen, die notgedrungen in irgendeiner von dem Unternehmer der Anlage zu bestimmenden Reihenfolge erfolgt, während andere auf anschließenden Uferstrecken stehende, zum Einsatz ebenfalls geeignete Umschlaganlagen unbeschäftigt sind. Diese Beobachtung führt zu der stets unbefriedigenden Feststellung, daß einerseits Schiffe länger zur Be- bzw. Entladung in einem Hafen liegen, als es nach

dessen installierter Umschlagkapazität erforderlich wäre, und zum anderen freie Umschlagkapazität trotz gegebener Möglichkeit nicht eingesetzt und genutzt wird. Sicherlich gibt es je nach den gegebenen örtlichen Verhältnissen Gründe dafür, daß so und nicht anders (besser?!) verfahren wird; letztlich werden sie alle mehr oder weniger auf verschiedene sich z. T. auch überschneidende, für die Betriebsführung der in Rede stehenden Hafen- und Umschlaganlagen ergebende Zuständigkeiten zurückzuführen sein.

Es unterliegt keinem Zweifel, daß die Verkürzung der Aufenthaltsdauer der Schiffe in den Häfen auf das unbedingt für deren Be- oder Entladung notwendige Maß ein für die Wirtschaftlichkeit der gesamten Binnenschiffahrt wichtiges Problem ist. Das hat daher auch zu eingehenden Untersuchungen durch das Rationalisierungskuratorium der deutschen Wirtschaft (RKW) in einer Anzahl deutscher Binnenhäfen geführt mit dem abschließenden Ergebnis, daß nur die geringste Zeit des Schiffsaufenthalts im Hafen für den eigentlichen Lösch- oder Ladevorgang in Anspruch genommen wird (31 bis 41 %) einschl. unvermeidlicher Unterbrechungen), wesentlich längere Zeiten jedoch auf die Aufenthaltsdauer vor (44 bis 50 %) und nach (15 bis 20 %) dem Löschen oder Laden entfallen [8].

Der Verband öffentlicher Binnenhäfen in der BRD ist aufgrund dieses Gutachtens der Frage nachgegangen, in wessen Verantwortungsbereichen die Ursachen für die Aufenthaltszeiten der Schiffe in den Häfen vor und nach dem Umschlagvorgang zu suchen sind. Veranlassung hierzu war die Tatsache, daß das Ergebnis des RKW-Gutachtens zu dem Schluß hätte führen können, die „Häfen", also ihre Betriebsverwaltung, seien für die nicht auf das notwendige Maß begrenzte Aufenthaltsdauer der Schiffe in den Häfen verantwortlich. Die von dem Verband für das Jahr 1970 angestellte statistische Erhebung hat ergeben, in welchem Umfang die aufgrund ihrer verschiedenartigen Aufgabenstellungen zu unterscheidenden Binnenhafengruppen im Jahre 1970 am Gesamtumschlaggeschehen beteiligt waren; die nachfolgenden Tabellen geben darüber Aufschluß.

Tabelle I

Binnenschiffsumschlag 1970

	Menge in Mio t	Anteil im Gesamtbinnenschiffsumschlag %
1. Öffentliche Häfen		
1.1 Mitgliedshäfen des Verbandes öffentlicher Binnenhäfen (statistisch gesondert erfaßt)	153,9	46,4
1.2 Seehäfen (Binnenschiffsumschlag)	27,4	8,3
1.3 sonstige Häfen und Ladestellen an den Binnenwasserstraßen	49,8	15,0
1.4 Insgesamt	231,1	69,7
2. Werkshäfen	100,6	30,3
Gesamt-Binnenschiffsumschlag	331,7	100,0

Tabelle II

Aufschlüsselung der Umschlagmengen

					in Mio t		% Anteil	
1. Gesamt-Schiffsgüterumschlag — s. Ziffer 1.1 der Tabelle I —					153,9		100	
1.1 davon entfallen auf Flüssiggüter (Mineralöl, Flüssiggase usw.)					45,5		30	
	auf Verladeanlagen							
1.2 es verbleiben für (Krane und sonstige Anlagen)	Anzahl		% Anteil					
Ausgangszahl	1 602		100		108,4		70	
2. davon entfallen auf								
2.1 hafeneigene Anlagen		438		27		33,0		21
2.1.1 in hafeneigener Regie	116		7		11,5		7	
2.1.2 in Regie der Umschlag- und Industrieunternehmen	322		20		21,5		14	
2.2 firmeneigene Anlagen		1 164		73		75,4		49
2.2.1 der Umschlagsunternehmen im Umschlag für Dritte	799		50		44,2		29	
2.2.2 der Industrieunternehmen im Umschlag eigener Güter	365		23		31,2		20	
Ausgangszahl wie 1.2. oben	1 602	1 602	100	100	108,4	108,4	70	70

Für den Einsatz der nach Tabelle II vorhandenen Verladeanlagen sind zuständig

bei Ziffer 2.1.1

die Träger der öffentlichen Binnenhäfen in ihrer Eigenschaft als Umschlagunternehmer mit 7 % (ohne Berlin 5 %)

bei Ziffer 2.1.2 und 2.2.1

die privaten Umschlagunternehmen im Umschlag für Dritte mit 70 %

Davon entfallen mehr als die Hälfte auf reedereigebundene Betriebe.

bei Ziffer 2.2.2

die Industrieunternehmen für eigenen Umschlag mit 23 % der Gesamtzahl der Anlagen.

Diese für alle dem genannten Verband angeschlossenen öffentlichen Binnenhäfen festgestellten Daten mögen überraschen, weil sie einerseits den überragenden Anteil privater Umschlaganlagen am Umschlag in den öffentlichen Binnenhäfen zeigen und zum

anderen dartun, daß die effektive Umschlagleistung der in hafeneigener Regie eingesetzten Umschlaganlagen (Ziffer 2.1.1 in Tabelle II) größer und damit das Verhältnis ihres Anteils am Gesamtumschlagvolumen zu dem der firmeneigenen Anlagen (Ziffer 2.2. in Tabelle II) besser ist. Daraus folgt in jedem Falle, daß die hafeneigene Betriebsverwaltung nur zum geringsten Teil für überlange Hafenaufenthalte der Schiffe verantwortlich zu machen ist, weil ihre betriebsführende Kompetenz den größten Teil der in den Häfen installierten Umschlagkapazität nicht erfaßt.

Damit ergibt sich zwangsweise die Frage, ob die derzeitige Organisation der gemischtwirtschaftlichen Betriebsverwaltung der Umschlaganlagen in den öffentlichen Binnenhäfen verbesserungsfähig ist; denn zweifellos würde jede mögliche Verbesserung sowohl zu einer größeren Wirtschaftlichkeit der Binnenschiffahrt durch kürzere Schiffsaufenthalte in den Häfen wie auch zu einer besseren Wirtschaftlichkeit der installierten Umschlagkapazitäten in den Häfen durch, wenn schon nicht größere, so aber in jedem Fall gleichmäßigere Auslastung, vielleicht auch Verringerung der vorzuhaltenden Umschlagkapazitäten, führen.

Bevor zu der grundsätzlichen Frage einer Verbesserungsmöglichkeit der Betriebsverwaltung in öffentlichen Binnenhäfen Stellung genommen wird, erscheint es zweckmäßig zu überlegen. welche maßgeblichen Grundsätze für eine solche Betriebsverwaltung bei der Erfüllung ihrer Aufgaben beachtet werden sollten.

Wenn eingangs (siehe Abschnitt 5.2.1) als Hauptaufgabe für die Betriebsverwaltung ein möglichst wirtschaftlicher Einsatz aller Betriebsmittel und -anlagen des Hafens herausgestellt worden ist und sodann auf Einzelfunktionsbereiche hingewiesen wird, so dürfte als wichtigster Grundsatz eine möglichst zweckentsprechende und die Aufenthaltsdauer der Schiffe in den Häfen mindernde Koordinierung der sich aus dem Zweck des Schiffsaufenthaltes ergebenden Einsätze der einzelnen Funktionsbereiche herauszustellen sein.

Hierunter würden z. B. die Vermeidung von Schiffsverholungen, Warten auf Güterzu- und -abfuhr zum bzw. vom Umschlag, Zwischenlagerung von Gütern und dgl. fallen.

Aus diesem Koordinierungserfordernis der einzelnen Funktionsbereiche ergibt sich zwangsläufig die Notwendigkeit der Vorbereitung des fristgerechten Einsatzes der Betriebsmittel der Einzelfunktionsbereiche.

Daraus wiederum folgt als weiterer Grundsatz die Notwendigkeit fristgerechter Information für den beabsichtigten Einsatz.

5.2.2 Organisation

Wie betont, ist die Beachtung dieser Grundsätze dann kein Problem, wenn die Kompetenz für den Einsatz der Betriebsmittel und -anlagen innerhalb verschiedener Funktionsbereiche in einer Hand liegt.

Schwierigkeiten treten jedoch im allgemeinen dann auf, wenn sich die Kompetenzen für die einzelnen Funktionsbereiche auf verschiedene Träger verteilen, wie es z. B. für alle gemischtwirtschaftlich betriebenen öffentlichen Binnenhäfen zutrifft [15]. Es ist sicherlich einer den jeweiligen örtlichen Verhältnissen Rechnung tragenden speziellen Prüfung wert, durch welche organisatorischen Maßnahmen hier die Beachtung der oben dargelegten Grundsätze im gesamten Hafenbereich mit möglichst großem Nutzeffekt für alle Beteiligten und nicht zuletzt für die Binnenschiffahrt erreicht werden kann. Abgesehen von der mehr technischen Frage der Konzentration der Umschlaganlagen für bestimmte Güterarten wird es in erster Linie maßgeblich auf

die Bereitwilligkeit der am Binnenumschlag beteiligten Umschlagbetriebe zur Kooperation miteinander,

die sinnvolle Kooperation der Umschlagbetriebe mit der Hafenverwaltung,

die ebenso zweckentsprechende Kooperation mit der Binnenschiffahrt

ankommen.

Eine derartige Kooperation nach allen Seiten eröffnet alle Dispositionsmöglichkeiten zur

Verminderung der Aufenthaltsdauer der Schiffe in den Häfen,

Erhöhung der Umlaufgeschwindigkeit der Schiffe,

Verbesserung der Auslastung der Umschlaganlagen in den Häfen,

Erhöhung des Umschlages je laufende Meter Ufer in den Häfen.

Der Organisation einer so koordinierten Betriebsverwaltung, auch in einem gemischtwirtschaftlich betriebenen öffentlichen Binnenhafen, stehen viele Wege rechtlicher Gestaltungsmöglichkeiten offen, die im einzelnen zu erörtern und darzulegen, hier zu weit führen würde. Interessant ist in diesem Zusammenhang das Beispiel der Gründung einer „GmbH & Co KG a. A." nach deutschem Recht („Gesellschaft mit beschränkter Haftung & Co, Kommanditgesellschaft auf Aktien") in einem deutschen Seehafen, in welcher Rechtsform sich eine größere Anzahl mittelständischer Seehafen-Unternehmen zur Durchführung aller ihnen im einzelnen obliegenden Aufgaben unter gleichzeitiger Wahrung ihrer Selbständigkeit im übrigen zusammengeschlossen haben. Es sind keine Gründe ersichtlich, weshalb gleiche oder ähnliche Gestaltungsmöglichkeiten in Binnenhäfen zu deren, der Binnenschiffahrt und der beteiligten Unternehmen Nutzen nicht auch möglich sein sollten. Wenn sich auch deren Interessen nicht ohne weiteres in allen Punkten einem gemeinsamen Ziel unterordnen lassen, so ist bei der in langer Tradition gewachsenen Gewerbestruktur die Einführung entsprechender, eine technisch mögliche und wirtschaftlich nützliche Kooperation fördernder Informationssysteme beim derzeitigen Stand der Informatik im Verkehr [9] weniger ein technisches als ein organisatorisches Problem, das von der Kooperationsfreudigkeit der einzelnen Partner bestimmt wird — wie Walter Schmitz und Gerhard Karl mit Recht betonen.

Das Bundesverkehrsministerium der BRD hat in seinem „Bericht über die Verbesserung der Funktionsfähigkeit der Binnenschiffahrtsmärkte" im Abschnitt „5.2. Abstimmung der Häfen mit den Schiffahrtserfordernissen" ähnliche Gedanken für die Häfen und im Abschnitt „4.3. Förderung der Kooperation" für die Binnenschiffahrt vertreten und die Errichtung eines „Koordinierungsausschusses für Hafenfragen" vorgeschlagen — ein Vorschlag, der um so mehr Beachtung verdient, als alle bisherigen Untersuchungen ergeben haben, daß die Verkürzung der Aufenthaltsdauer der Schiffe in den Häfen weniger ein technisches als ein organisatorisches Problem ist. Ein solcher Ausschuß könnte gerade mit Rücksicht auf technische Strukturänderungen in der Binnenschiffahrt, die möglicherweise zweckentsprechende Umrüstungen und Umorganisationen der Umschlagbetriebe erfordern, allen Beteiligten die Möglichkeit rechtzeitiger Orientierung geben.

Schließlich haben die öffentlichen Binnenhäfen als Mittler zwischen den Verkehrsträgern bei der derzeitigen Wettbewerbslage immer den Grundsatz der Selbstkostendeckung und finanziellen Eigenständigkeit zu wahren. Es sollte die vordringlichste Aufgabe jedes Verwaltungsbereiches eines Binnenhafens sein, die Steigerung der Wirtschaftlichkeit ihrer Anlagen zu erreichen; die Betriebsverwaltungs-Organsation auf dieses Ziel auszurichten, liegt im Interesse aller Beteiligten.

6. Statistische Daten und Ausblick

Selbst für den Verkehrsexperten könnte sich die Frage stellen, ob die zu erwartende Entwicklung der Technik, der Wirtschaft und des Verkehrs Anstrengungen und Aufwendungen im Sinne dieses Berichtes zur Erreichung der angedeuteten Ziele rechtfertigen. Dafür sprechen nach einstimmiger Auffassung der Berichterstatter die folgenden statistischen Daten, die ein Schlaglicht auf die jüngste Entwicklung werfen.

I. Güterverkehr Binnenschiffahrt in der Bundesrepublik Deutschland

Jahr	Gesamtverkehr Mio. t	Veränderung %	davon Rheinverkehr Mio. t	Veränderung %	Anteil Rhein-See-Verkehr Mio. t	Veränderung %
1	2	3	4	5	6	7
1956	135,9	100	106,2	100	0,784	100
1963	167,3	123	130,7	123	1,075	137
1970	240,0	177	191,1	180	2,325	297

II. Güterverkehr einiger Seehäfen der europäischen Nordküste

Jahr	Rotterdam		Amsterdam		Antwerpen		Hamburg		Bremen	
	Umschlag Mio. t	%	Umschlag Mio. t	%	Umschlag Mio. t	%	Umschlag Mio. t	%	Umschlag Mio. t	%
1956	72,2	100	9,7	100	38,0	100	27,5	100	13,7	100
1963	103,3	143	14,5	149	48,8	128	33,4	121	15,4	112
1970	225,8	313	21,4	221	78,1	206	47,0	171	23,4	171

III. Güterverkehr wichtiger Binnenhäfen in der Bundesrepublik Deutschland

Wasserstraßengebiet Hafen		Jahr	Umschlag Mio. t	Umschlag %	Uferlänge km	t/m pro Jahr zu Sp. 5	t/m %
1		2	3	4	5	6	7
Oberrhein							
Karlsruhe	(MR) *)	1956	2,8	100	10,7	261	100
		1963	2,5	90	11,0	227	87
		1970	8,8	315	14,0	627	240
Mannheim	(MR)	1956	6,8	100	29,5	230	100
		1963	6,3	92	28,9	217	94
		1970	10,2	150	25,2	404	176

Wasserstraßengebiet Hafen	Jahr	Umschlag		Uferlänge km	t/m	
		Mio. t	%		pro Jahr zu Sp. 5	%
1	2	3	4	5	6	7
Ludwigshafen	1956	5,7	100	14,0	409	100
	1963	6,1	106	16,2	374	91
	1970	9,0	158	17,5	517	126
Mittelrhein						
Mainz	1956	1,6	100	4,0	400	100
	1963	2,0	122	4,0	488	122
	1970	3,1	191	4,5	685	171
Andernach	1956	2,1	100	0,7	3 140	100
	1963	2,6	121	0,7	3 806	121
	1970	2,4	110	0,7	3 440	110
Niederrhein						
Wesseling (MR)	1956	3,2	100	2,0	1 643	100
	1963	3,3	103	2,0	1 576	96
	1970	5,6	178	2,5	2 258	137
Köln (MR)	1956	3,4	100	10,1	333	100
	1963	6,6	197	10,1	656	197
	1970	8,6	255	13,0	660	198
Neuß	1956	1,2	100	9,6	124	100
	1963	1,7	142	8,8	198	160
	1970	3,4	283	9,6	351	283
Düsseldorf	1956	2,3	100	10,0	227	100
	1963	2,1	92	11,1	191	84
	1970	2,9	129	9,6	305	134
Duisburg-Ruhrorter	1956	14,9	100	24,8	602	100
Häfen (MR)	1963	14,0	94	19,4	721	120
	1970	21,0	141	19,4	1 082	180
Neckar						
Heilbronn	1956	5,2	100	2,3	2 259	100
	1963	3,9	74	6,2	485	21
	1970	6,0	116	7,3	822	36
Main						
Würzburg	1956	1,6	100	1,8	682	100
	1963	1,4	89	2,2	636	93
	1970	1,4	89	2,5	544	80
Frankfurt/M	1956	4,7	100	10,5	450	100
	1963	3,4	71	9,0	376	84
	1970	5,3	112	11,4	464	103
Donau						
Regensburg	1956	3,0	100	2,3	1 320	100
	1963	2,2	76	1,9	1 184	90
	1970	3,7	126	4,4	848	64

Wasserstraßengebiet Hafen	Jahr	Umschlag		Uferlänge km	t/m	
		Mio. t	%		pro Jahr zu Sp. 5	%
1	2	3	4	5	6	7
Westd. Kanäle						
Dortmund	1956	4,4	100	8,5	520	100
	1963	6,0	136	8,5	706	156
	1970	4,9	112	7,5	659	112
Hannover	1956	0,9	100	4,4	206	100
	1963	1,1	125	5,1	225	109
	1970	1,7	188	4,6	370	180
Braunschweig	1956	0,6	100	1,1	553	100
	1963	0,8	127	1,1	700	127
	1970	0,9	151	1,1	836	151
Werkshäfen						
Schwelgern	1956	6,9	100	2,1	3 266	100
	1963	7,8	112	2,1	3 660	112
	1970	11,3	165	2,1	5 381	165

*) Erläuterung
(MR) = hafenansässige Mineralölraffinerie

IV. Entwicklung der Verkehrsträger in der Bundesrepublik Deutschland

Jahr	Binnenschiffahrt		Eisenbahn		Güterfernverkehr Lkw		Rohrfernleitungen		Insgesamt	
	Mio. t	%	Mio. t	%	Mio. t	%	Mio. t	%	Mio. t	%
1956	136	100	299	100	75	100	—		510	100
1959							8	100		
1963	167	123	327	109	114	153	28	362	636	125
1970	240	177	394	132	165	220	81	1 062	880	172

Wenn bei dem sich in diesen Daten abzeichnenden Trend durch ein namhaftes amerikanisches Marktforschungsbüro der Rotterdamer Seehafenumschlag in den nächsten zwei Jahrzehnten auf über 600 Mio Tonnen geschätzt wird und noch über 200 Mio Tonnen Güter aus An- und Abfuhr per Binnenschiff hinzukommen [16], so sollten diese Prognosen Anlaß zu ernsten Überlegungen aller beteiligten und interessierten Wirtschaftskreise sein, die von der Natur gebotenen „Reichtümer der Ströme" [1] zu Transportzwecken noch mehr als bisher auszuschöpfen.

Schrifttumsverzeichnis

[1] Förster, K. Dr. Professor, München, Vortrag 1965 in Budapest „Die Donau als Wirtschaftsfaktor".

[2] Verkehrswirtschaftliche Zahlen 1971, herausgegeben vom Verband des Deutschen Güterfernverkehrs e. V., Frankfurt.

[3] Posthuma, F., Dipl.-Ing. in „Rotterdam-Europort-Delta" 1972.

[4] Most, Otto, Dr. Dr. h. c. Professor in „Die Deutsche Binnenschiffahrt" 2. Aufl. (S. 85 ff.).

[5] Kaufer, Heinz, Dipl.-Kfm. „Grundlagen der deutschen Binnenhafenwirtschaft" Köln 1957 (S. 106 ff.).

[6] „Die Binnenhäfen. Ihre wirtschaftspolitischen, verkehrspolitischen, betriebswirtschaftlichen und technischen Probleme". Bearbeitet von Dr. Herbert Meyer, Berlin 1938, Einzelschrift Nr. 10 des Kommunalwirtschaftlichen Instituts an der Universität Berlin.

[7] „Bericht über die Verbesserung der Funktionsfähigkeit der Binnenschiffahrtsmärkte — Ziele und Mittel der Binnenschiffahrtspolitik —". Schriftenreihe des Bundesministers für Verkehr — Heft 39.

[8] RKW-Gutachten. „Statistische Untersuchungen der Liegezeiten und ihre Ursachen in ausgewählten deutschen Binnenhäfen" Herausgegeben vom Arbeitsausschuß Rationalisierung des Binnenhafenumschlages beim Rationalisierungs-Kuratorium der Deutschen Wirtschaft e. V. (RKW). Bearbeitet von P. Feuchter und Dr. H. Thomä.

[9] Zeitschrift „Internationales Verkehrswesen", 24. Jahrgang, Heft 2, März/April 1972, Organ der Deutschen Verkehrswissenschaftlichen Gesellschaft e. V.

[10] Statistisches Jahrbuch für die Bundesrepublik Deutschland, jeweiliger Jahrgang.

[11] Bumm, Herrmann, Dipl.-Ing. im Jahrbuch 1962/63 der Hafenbautechnischen Gesellschaft, Band 27/28 (S. 241 ff.).

[12] Finke, Gerhard, Dr.-Ing. „Neue Gesichtspunkte für den Bau und technischen Betrieb von Binnenhäfen" Zeitschrift für Binnenschiffahrt und Wasserstraßen (Heft 7, Juli 1971).

[13] Empfehlungen für die technische Planung von Binnenhäfen, Dezember 1964 (Verband öffentlicher Binnenhäfen e. V. Neuß).

[14] Technische Empfehlungen und Berichte für Binnenhäfen des Gemeinsamen Ausschusses für technische Fragen der Binnenhäfen des Verbandes öffentlicher Binnenhäfen e. V. und der Hafenbautechnischen Gesellschaft e. V.

[15] Deutsche Berichte zum XXII. Internationalen Schiffahrtskongreß Paris 1969. Herausgegeben vom Bundesministerium für Verkehr, Bonn 1969, hier: Abteilung I — Binnenschiffahrt, Thema 1 (S. 9 ff.).

[16] Deutsche Tageszeitung „Handelsblatt" vom 20. 1. 1970 über „Schiffahrt und Hafenwirtschaft".

Abteilung I-Binnenschiffahrt

Thema 3

Planung von Wasserstraßen für Krafterzeugung und Schiffahrt

Berichterstatter: Dr.-Ing. Friedrich Bassler, o. Professor für Wasserbau und Wasserwirtschaft, Technische Hochschule Darmstadt; Dipl.-Ing. Dr. Leopold Bauer, a. o. Professor, Mitglied des Vorstands der Donaukraftwerk Jochenstein AG, Passau; Dr.-Ing., Dr.-Ing. E. h. Heinz Fuchs, Mitglied des Vorstands der Rhein-Main-Donau AG München; Dr.-Ing. Wilhelm Gehrig, Bundesanstalt für Wasserbau, Karlsruhe; Dr.-Ing. Jochen Müller, Oberregierungsbaurat, Duisburg-Ruhrorter Häfen AG Duisburg; Dipl.-Ing. Hans Stauder, Ltd. Regierungsbaudirektor, Bundesanstalt für Wasserbau, Karlsruhe.

Thema des Berichts: **Pumpspeicherkraftwerke an schiffbaren Wasserstraßen**

Zusammenfassung

Die Mitbenutzung der Stauhaltung eines schiffbaren Flusses als unteres Becken eines Pumpspeicherkraftwerks hat den Vorteil, daß dessen Anlagekosten durch den Wegfall eines künstlich herzustellenden Staubeckens geringer werden. Voraussetzung dafür ist jedoch, daß die das Flußtal begleitenden Höhenzüge die Anlage eines Oberbeckens gestatten, das in der Horizontalen möglichst nahe und in der Vertikalen möglichst hoch über der Stauhaltung liegt. Die Stauhaltung selbst muß geräumig genug sein, um darin die für die Pumpspeicherung erforderliche tägliche Pendelwassermenge bewirtschaften zu können.

Die meisten der für die Pumpspeicherung in Betracht kommenden Wasserstraßen der Bundesrepublik Deutschland sind bereits als Kraftwasserstraßen ausgebaut, d. h. jede Staustufe ist mit einer Schiffahrtsschleuse und einem Laufwasser-Kraftwerk ausgerüstet. Bei der nachträglichen Eingliederung eines Pumpspeicher-Kraftwerks in dieses System einer Stauregelung ist davon auszugehen, daß die als Speichervolumen nutzbare Bewirtschaftungsamplitude durch die nach Länge und Tiefe gegebene Stauhaltung weitgehend festgelegt ist. Es muß also versucht werden, eine Synthese zu finden zwischen den Bedürfnissen der Schiffahrt und den erweiterten Anforderungen der Elektrizitätswirtschaft.

Nachdem die Möglichkeiten für den Bau weiterer Laufwasserkraftwerke in der Bundesrepublik Deutschland teils erschöpft sind, teils aus wirtschaftlichen Gründen nicht mehr wahrgenommen werden, ergibt sich die Notwendigkeit, die Stufenpläne für den kombinierten Ausbau und Umbau von Wasserstraßen unter dem Gesichtspunkt der Pumpspeicherung neu zu überdenken. Aus Gründen der Kostenbeteiligung am gemischten Ausbau einer Wasserstraße ist der energiewirtschaftliche Partner Pumpspeicherung daher von besonderer Bedeutung. Die im Zuge der Verdopplung des Elektrizitätsbedarfs innerhalb von 10 Jahren erforderliche Leistung eines für den überregionalen Verbundbetrieb geeigneten Pumpspeicherkraftwerks von mindestens 700 MW ist jedoch so hoch, daß ihrer Verwirklichung unter Mitbenutzung der Stauhaltung einer bereits ausgebauten Wasserstraße von Natur aus Grenzen gesetzt sind.

Die Kraftnutzung von Stauhaltungen einer Wasserstraße als Unterbecken für die Pumpspeicherung wird aber nicht nur durch das verfügbare Speichervolumen begrenzt, sondern auch durch die Sicherheitsforderungen des Schiffsverkehrs. Beeinträchtigungen können dadurch entstehen, daß aus der Stauhaltung Wasser entnommen und ihr mit großer Geschwindigkeit konzentriert zurückgegeben wird. Die Folgen dieses relativ kurzfristigen,

vom elektrizitätswirtschaftlichen Tageszyklus bestimmten Umwälzbetriebs auf den Schifffahrtsbetrieb bei fahrendem und ruhendem Verkehr sind Veränderungen der Fahrwasserverhältnisse in der Unterbecken-Stauhaltung und stromab davon bis zum freien Fluß. Eine besondere Rolle spielen dabei die Wasserspiegellagen und die Strömungsverhältnisse. Hydraulische Modellversuche zu ihrer Erfassung sind dabei unerläßlich, jedoch entbehren die dabei zugrunde zu legenden Richtwerte zum Schutz der Schiffahrt noch einer wissenschaftlich fundierten Begründung.

Sofern durch eine vom Pumpspeicherbetrieb verursachte Veränderung der Fahrwasserverhältnisse nachteilige Auswirkungen auf die Sicherheit des Schiffsverkehrs zu erwarten sind, ist ihnen durch bauliche Maßnahmen und betriebliche Einschränkungen zu begegnen. Besonderes Gewicht ist auf die Lage des Verbindungsbauwerks zur Stauhaltung und seine bauliche Gestaltung in Abhängigkeit von der Entfernung zur Fahrrinne zu legen. Zur Strömungsablenkung und Energieumwandlung kommen Sperrkörper, Leitwände, Schlitzwände oder Sohlschwellen allein oder in Verbundbauweise in Betracht.

Mit einigen wenigen Pumpspeicherkraftwerken, die unter Wahrung der Schiffahrtsinteressen großräumige Stauhaltungen optimal als Unterbecken nutzen, kann aus einer Wasserstraße im Vergleich mit einer Vielzahl von Laufkraftwerken quantitativ und qualitativ das Vielfache an hochwertiger Energie gewonnen werden.

Inhalt

	Seite
1. Wasserstraßen für Krafterzeugung und Schiffahrt	59
2. Örtliche Voraussetzungen der Pumpspeicherung	64
2.1. Stauregelung und Pumpspeicherung	64
2.2. Topographie des Flußtales	65
2.3. Hydrologie des Flußlaufes	65
2.3.1 Bewirtschaftung von Stauhaltungen	66
2.3.2 Entnahme aus dem natürlichen Abfluß	67
3. Forderungen der Elektrizitätswirtschaft an die Wasserstraße	69
3.1. Bemessung von Unterbecken	69
3.2. Entwicklungstendenzen der Pumpspeicherung	69
4. Begrenzung der Kraftnutzung an Wasserstraßen durch den Schiffsverkehr	72
4.1. Verkehrssicherheit der Schiffahrt	72
4.2. Fahrwasserverhältnisse im Unterbecken	72
4.2.1 Wasserspiegellage	72
4.2.2 Strömungsverhältnisse	77
4.3. Fahrwasserverhältnisse stromab vom Unterbecken	78
4.3.1 Stauhaltungen	78
4.3.2 Freier Fluß	80
5. Bauliche Gestaltung des Verbindungsbauwerks	80
5.1. Lage zur Stauhaltung	81
5.2. Unmittelbare Verbindung mit der Stauhaltung	81
5.3. Verbindungskanal zur Stauhaltung	83

Seite

6. Projektierungsperspektiven für die Pumpspeicherung an Wasserstraßen 84
6.1. Wasserstraßen mit Laufkraftwerken 84
6.2. Ausweichlösungen 85
6.3. Wasserstraßen ohne Laufkraftwerke 85

7. Schrifttumsverzeichnis 87

1. Wasserstraßen für Krafterzeugung und Schiffahrt

Das Ziel des Ausbaues größerer Flüsse und Ströme durch eine Stauregelung war seit Jahrzehnten ihre Doppelnutzung als Verkehrs- und Energieträger. Den verschiedenartigen Bedürfnissen dieser Wassernutzer entsprechend richtete sich das Interesse an einem gemischten Stufenausbau als Kraftwasserstraße in der Bundesrepublik Deutschland vornehmlich nach der Abflußcharakteristik der Wasserläufe. An Flüssen mit stark unausgeglichener Wasserführung wie Neckar, Main und Mosel ging die Initiative meist von der Schiffahrt aus, während Ströme mit ausgeglichenerem Regime wie Rhein und Donau in erster Linie zur Energieausbeute anregten. Die Einbeziehung anderer wasserwirtschaftlicher Zielsetzungen (z. B. der Schutz gegen Erosionen im Flußbett) kam der optimalen Lösung einer Stauregelung entgegen.

Bei dieser Art von Mehrzwecknutzung fließt das natürliche Wasserdargebot unverändert und in der Regel ohne Unterbrechung als Kraftwasser, Schleusungswasser und Überwasser von Staustufe zu Staustufe. Die einzelnen Nutzungen beeinträchtigen sich im allgemeinen nicht. Die dabei 24stündig anfallende Laufwasserenergie dient wie die thermische Energie zur Deckung des Grundlastbedarfs (Abb. 1). Sie wird dementsprechend niedrig bewertet, zumal sie den Schwankungen des natürlichen Zuflusses unterliegt. Der Wert der Laufwasserenergie einer Kraftwerkskette kann auf dem Wege des Schwellbetriebs erhöht werden, indem der in Schwachlaststunden anfallende natürliche Zufluß in der obersten, entsprechend größer auszulegenden Stauhaltung zurückgehalten und erst bei größerem Bedarf zusammen mit dem frei zufließenden Wasser verarbeitet wird. Doch sind dieser Methode der Energieveredelung wegen der unvermeidlichen zeitlichen Unständigkeit und auch im Hinblick auf die Sicherheit des Schiffsverkehrs Grenzen gesetzt.

Nachdem die Zahl der ausbauwürdigen Kraftwasserstraßen in der Bundesrepublik Deutschland bald erschöpft sein wird und es mit dem Vordringen der Kernenergie möglich geworden ist, den Grundlastbedarf in thermischen Kraftwerken billiger (und beständiger) zu decken als auf hydraulischem Wege, verlieren die Laufwasserwerke als Partner an multifunktionalen Flußbaumaßnahmen künftig an Bedeutung. Dies gilt insbesondere für Flüsse mit starken Zuflußschwankungen, so daß die Schiffahrt, die diesem Mangel allein mit einer Stauregelung begegnen kann, in Zukunft auf eine Kostenbeteiligung der Energiewirtschaft an dieser außerverkehrlichen Funktion verzichten muß. Allenfalls kann die Mitbenutzung von der Schiffahrt dienenden Stauhaltungen für Kühlwasserzwecke von Wärmekraftwerken in Betracht kommen. Während sich der prozentuale Anteil der Laufwasserkraft an der Bedarfsdeckung eines Verbundnetzes somit allmählich rückläufig bewegt, weist der Anteil der Pumpspeicherenergie eine stark zunehmende Tendenz auf. Denn auf dem Wege der hydraulischen Akkumulierung ist es umweltschonend möglich, eine vollkommene Veredelung der in der Bundesrepublik Deutschland verfügbaren Schwachlastenergie aus thermischen oder hydroelektrischen Kraftwerken in höchstwertigen Tagesspitzenstrom zu erreichen. Je größer die Maschineneinheiten der thermischen Werke werden, um so bedeutsamer ist die schnelle Einsatzbereitschaft von Pumpspeicherwerken, um bei Störungen im elektrischen Verbundnetz die Energieversorgung kurzfristig sicherzustellen.

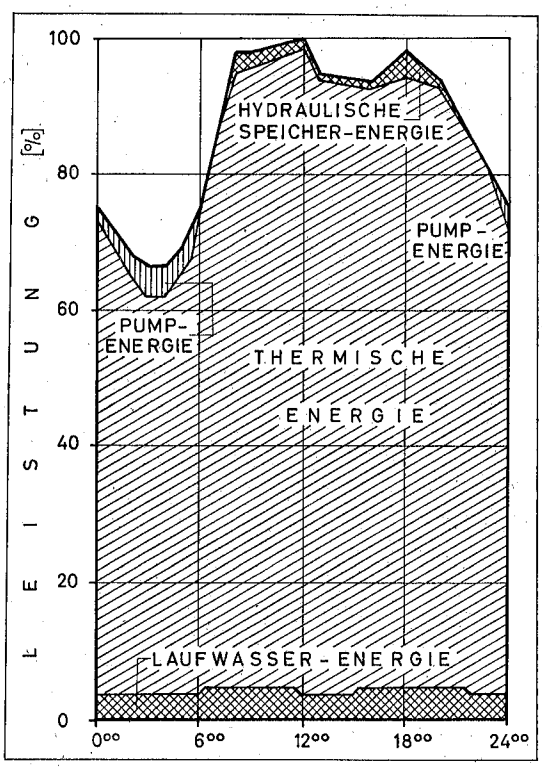


Abb. 1: Prozentuale Tagesbelastung
der Kraftwerke der Bundesrepublik Deutschland
am 16. 12. 1970

Von den beiden für die Pumpspeicherung erforderlichen Sammelbecken ist das untere mit der Wasserwirtschaft einer Tallandschaft am engsten verknüpft, dient es doch nicht nur als Auffangbecken für das in den Turbinen abgearbeitete Betriebswasser, sondern auch als Speisungsreservoir und zum Verlustausgleich für das von den Pumpen in das obere Becken zu fördernde Speicherwasser. Im allgemeinen werden die beiden Becken eines Pumpspeicherkraftwerks künstlich angelegt. Je nach den gegebenen Verhältnissen kann das Unterbecken aber auch in oder neben einem gestauten oder freifließenden natürlichen Gewässer angeordnet werden. Gegenüber dem ungestauten Fluß hat eine Stauhaltung den Vorteil, daß der Wasserstand nicht allzu stark schwankt und damit übermäßige Änderungen des Zulaufdrucks vermieden werden. Im Sinne einer wasserwirtschaftlichen Mehrzwecknutzung ist die Stauhaltung eines schiffbaren Flusses als Unterbecken eines Pumpspeicherkraftwerks besonders geeignet. Damit ist die Möglichkeit gegeben, die Doppelfunktion einer Stauregelung als Verkehrs- und Energieträger, die mit der Einschränkung des Ausbaues weiterer Laufwasserkräfte nicht mehr gegeben sein wird, unter anderen Voraussetzungen teilweise wiederherzustellen. Selbstverständlich schließt die Verwendung einer bestehenden Stauhaltung als Pumpspeicherbecken die Beibehaltung von unterhalb vorhandenen Laufwasserkraftwerken nicht aus; denn diese können in Schwachlaststunden ebenfalls als Pumpstromlieferanten dienen und beim Vorhandensein einer geschlossenen Kaskade das in Starklastzeiten abgearbeitete Turbinenwasser des Pumpspeicherwerks im gleichen Takt (Kippbetrieb) spitzenbedarfsgerecht nut-

zen. Im Gegensatz zur Laufwasserkrafterzeugung erfordert der Pumpspeicherbetrieb jedoch Eingriffe in den Abfluß des natürlichen Wasserdargebots, so daß sich Auswirkungen auf die Schiffahrt kaum vermeiden lassen.

Von der Möglichkeit der gleichzeitigen Nutzung von Wasserstraßen als Unterbecken für die Pumpspeicherung wurde noch relativ selten Gebrauch gemacht. In der Bundesrepublik Deutschland, dem Land mit den ersten und meisten Pumpspeicherkraftwerken, bestehen seit mehreren Jahren am Hochrhein und an der Elbe drei leistungsstarke Anlagen dieser Art. Weitere Pumpspeicherungskraftwerke sind an den Wasserstraßen Mosel, Donau, Mittelrhein und Neckar geplant, ebenso eine Erweiterung der bestehenden Anlage an der Elbe. Der Standort aller in der Bundesrepublik Deutschland vorhandenen und projektierten größeren Pumpspeicherkraftwerke ist aus Abb. 2 ersichtlich.

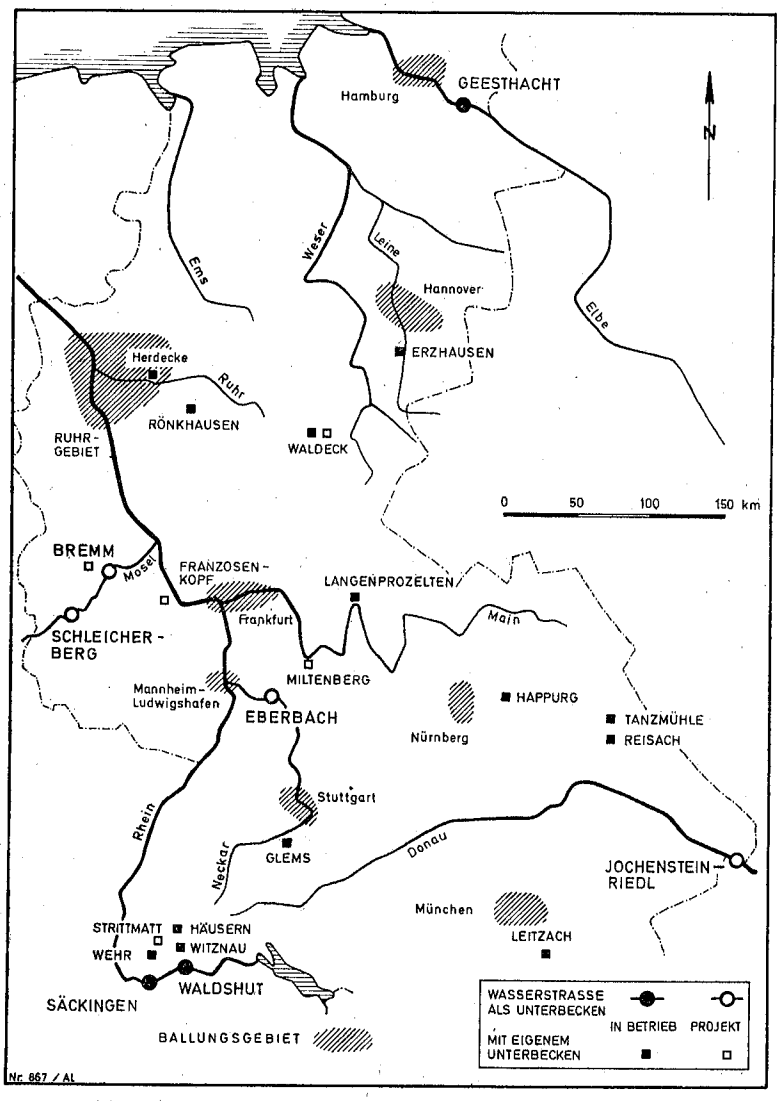


Abb. 2: Standorte der größeren Pumpspeicherkraftwerke in der Bundesrepublik Deutschland

WASSERSTRASSE		Rhein *)	Elbe	Rhein *)	Mosel	Mosel	Donau
Pegel	—	Rhein-felden	Geest-hacht	Rhein-felden	Cochem	Cochem	Dantel-bach-Mündung
Niederschlags-gebiet	km²	34 550	134 700	34 550	27 100	27 100	77 052
Niedr. Niedrig-wasserabfluß	m³/s	267	128	267	25	25	360
Mittl. Niedrig-wasserabfluß	m³/s	451	275	451	59	59	591
Mittl. Abfluß	m³/s	1 006	736	1 006	288	288	1 420
Höchst. schiffb. Abfluß	m³/s	2 430	1 200	2 430	1 380	1 380	3 600
Mittl. Hoch-wasserabfluß	m³/s	2 540	1 900	2 540	1 900	1 900	4 200
Höchster Hoch-wasserabfluß	m³/s	4 200	3 840	4 200	4 100	4 100	9 300

STAUHALTUNG		Albbruck/ Dogern	Geest-hacht	Säckin-gen/ Ryburg-Schwör-stadt	Trier/ Fankel/ Koblenz	Trier/ Detzem/ Wintrich	Aschach
Speichervolumen	hm³	1,0	—	1,9	2,0	3,6	5,3
Länge	km	9,7	38,6	7,2/ 14,4	17,0/ 18,9/ 18,9	17,0/ 29,3/ 26,4	40,7
Amplitude am Wehr	cm	50	—	70/40	60/0/60	60/60/60	50

PUMPSPEICHER-KRAFTWERK		Walds-hut	Geest-hacht	Säckin-gen	Bremm (Unter-werk)	Schlei-cher-berg	Jochen-stein/ Riedl
Horiz. Abstand der Becken L	m	9 630	580	2 185	800	1 330	840
Fallhöhe H	m	160	83	411	106	350	330
L : H	—	60	7,0	5,3	7,5	3,8	2,5
Turbinen-durchfluß	m³/s	140	189	96	120	224	250
Pumpenförderung	m³/s	40	117	64	120	192	210
Entnahme aus natürl. Abfluß	m³/s % **)	40 9	117 43	64 14	60 100	60 100	210 35
Generatoren-Leistung	MW	176	105	360	140	700	700
Inbetriebnahme		1953	1957	1967	Projekt	Projekt	Projekt

*) zwischen Rheinfelden und Bodensee noch nicht schiffbar
**) des mittleren Niedrigwasserabflusses

In den folgenden Ausführungen wird auf je drei bestehende und drei geplante Pumpspeicherkraftwerke an bundesdeutschen Flüssen und Strömen Bezug genommen, und zwar

Waldshut	am Hochrhein	seit 1953
Geesthacht	an der Elbe	seit 1957
Säckingen	am Hochrhein	seit 1965
Bremm	an der Mosel	Projekt
Schleicherberg	an der Mosel	Projekt
Jochenstein-Riedl	an der Donau	Projekt.

Die Kenndaten dieser Werke sind in der folgenden Tabelle zusammengestellt. Ihre Anordnung im Grundriß geht aus Abb. 3 hervor. Von zwei Anlagen liegen die Ergebnisse

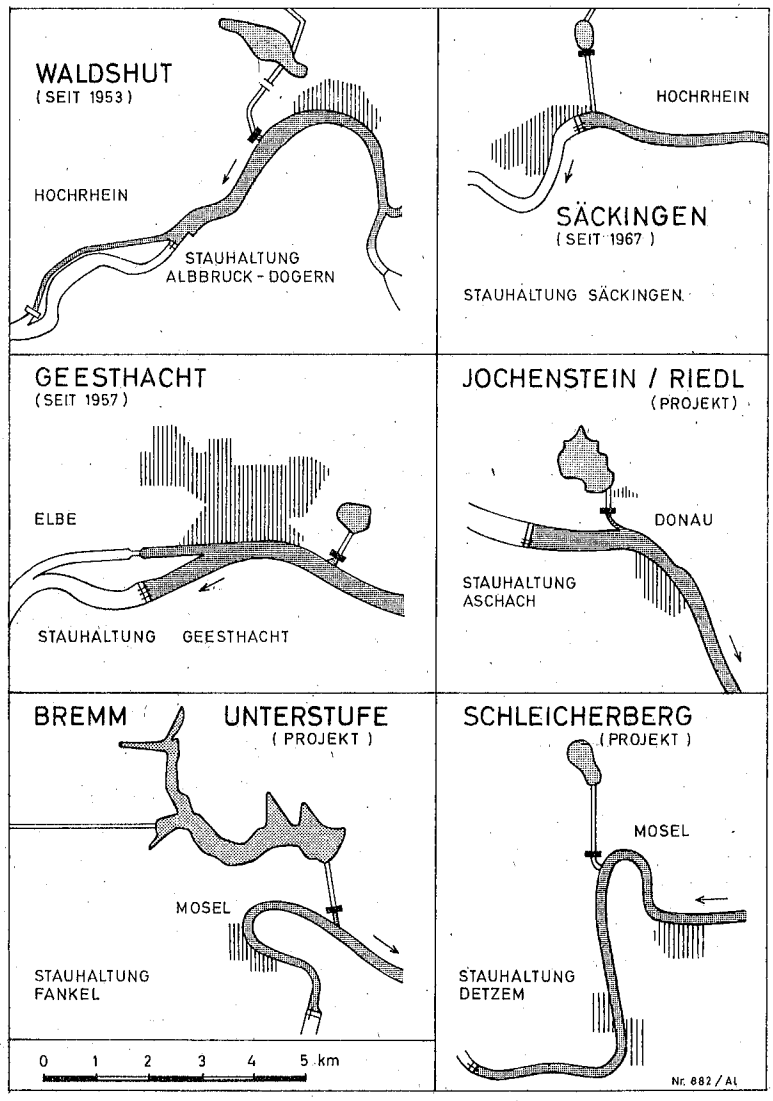


Abb. 3: Übersichtslageplan von 3 bestehenden und 3 geplanten Pumpspeicherkraftwerken an Wasserstraßen der Bundesrepublik Deutschland

umfangreicher wasserbaulicher Modellversuche vor. Der vorliegende Beitrag stützt sich weitgehend auf die bei diesen sechs Objekten gewonnenen Erkenntnisse, Untersuchungsergebnisse und Betriebserfahrungen der beteiligten Berichterstatter.

2. Örtliche Voraussetzungen der Pumpspeicherung

Die Eignung von Stauhaltungen einer schiffbaren Wasserstraße als Unterbecken eines Pumpspeicherkraftwerks hängt in erster Linie von den durch die Stauregelung geschaffenen Voraussetzungen sowie von den sonstigen topographischen und hydrologischen Gegebenheiten des Flußtales ab. Zwecks Einschränkung der Übertragungsverluste wird man zunächst versuchen, die Entfernung des Pumpspeicherwerks sowohl zum Verbrauchsschwerpunkt als auch zum Pumpstromlieferanten durch Auswahl der hierzu am günstigsten gelegenen Stauhaltung so gering wie möglich zu halten.

2.1. Stauregelung und Pumpspeicherung

Die Problematik der nachträglichen Eingliederung der Pumpspeicherung in die Stauregelung eines Flusses ist darin zu sehen, daß dem ursprünglichen Ausbau eine andere Zielsetzung zugrundelag. Dies ist an der Entwicklung der Stauregelung in Deutschland deutlich zu erkennen. Als ihre Vorläufer sind die großen Laufwasserkraftwerke anzusehen, wie sie seit der Jahrhundertwende am Hochrhein und an der Donau errichtet wurden. Allein maßgebend für ihren Standort waren größtmögliche Fallhöhen. An den Staustufen des Hochrheins wurden zwar Vorkehrungen für eine spätere Großschiffahrt getroffen, doch blieb es zunächst bei einer lückenhaften Anordnung der Stauhaltungen [4].

Mit der zunehmenden Bedeutung des Schiffsverkehrs begann man in den 20er Jahren, zunächst an den nur bedingt schiffbaren Flüssen in Anlehnung an die topographischen Gegebenheiten Stufenpläne für einen gemischten Ausbau als Kraftwasserstraße aufzustellen und damit die Lage und Länge der Stauhaltungen festzulegen. Die dabei im Interesse von Schiffahrt und Energiewirtschaft zu berücksichtigenden Forderungen an eine Stauregelung erwiesen sich als weitgehend konform: Hohe Stufen verringerten die Zahl der Schleusungen (Zeitersparnis) und der Laufwasserkraftwerke (Leistungskonzentration). An gleichlangen Haltungen war besonders die Schiffahrt interessiert, um den Durchgangsverkehr nicht aufzuhalten. Gleiche Fallhöhen erleichterten die Standardisierung der maschinellen und elektrischen Ausrüstung von Kraftwerken und Schleusen. Unter diesen Gesichtspunkten wurden die Stauregelungen an den Wasserstraßen Neckar (ab 1920), Main oberhalb Aschaffenburg (ab 1921), Donau (ab 1925), Hochrhein (ab 1927) und Oberrhein (ab 1930) als Gemeinschaftsvorhaben der Verkehrs- und Energieträger systematisch begonnen und größtenteils fertiggestellt.

Als die Elektrizitätswirtschaft begann, die inzwischen bewährte Pumpspeicherung systematisch auf dafür geeignete Wasserstraßen auszudehnen und diese als Unterbecken zu benutzen, wurden in den 30er Jahren die ersten Rahmenpläne für derartige Pumpspeicherkraftwerke erarbeitet. Dabei sollte wie z. B. am Main zunächst nur die aus der Wasserstraße selbst anfallende überschüssige Laufenergie als Pumpenergie verwendet werden [16]. Es zeigte sich jedoch, daß die in den Stauhaltungen zulässigen Spiegelschwankungen nur bescheidene Speichervolumina für die Unterbecken ermöglichten. Noch schwieriger wurde die Situation nach dem Zweiten Weltkrieg, als angestrebt wurde, nicht nur die Eigenproduktion der Laufkraftwerke an den Wasserstraßen zu Spitzenstrom zu veredeln, sondern auch Fremdstrom, so daß noch größere Pendelwassermengen in den Stauhaltungen untergebracht werden sollten, Dies führte 1953 erstmalig am Hochrhein dazu, an einer bestehenden Stufe nachträglich eine Stauerhöhung vorzunehmen, um das erforderliche Pumpspeichervolumen in der Stauhaltung unterzubringen [1].

Am Main wurde schließlich von einer unmittelbaren Verwendung der Stauhaltungen als Unterbecken Abstand genommen. An der Mosel, deren Stauregelung oberhalb Koblenz in den Jahren 1957 bis 1964 verwirklicht wurde, sollen zwei für den Schwellbetrieb größer ausgelegte Stauhaltungen zusätzlich für den Pumpspeicherbetrieb verwendet werden [3]. An der Donau versucht man ohne Stauerhöhung auszukommen.

Eine Ausnahme von dieser konventionellen Bauweise bildet die Elbe, an der eine Staustufe erstmalig von Anfang an für Schiffahrt und Pumpspeicherung gemeinsam konzipiert wurde [2, 6].

2.2. Topographie des Flußtales

Entscheidend für den endgültigen Standort ist, daß sich die unmittelbare Umgebung der als Unterbecken zur Wahl stehenden Stauhaltung für die Anlage eines Pumpspeicherkraftwerks optimal eignet. In Betracht hierfür kommen den Fluß in unmittelbarer Nähe begleitende Höhenzüge, die Fallhöhen von mehr als 100 m ermöglichen und auf denen ein entsprechend großes Oberbecken angelegt werden kann. Bei Flachlandflüssen wie an der Elbe müssen die geringen Fallhöhen durch größere Betriebswassermengen kompensiert werden. Um ein Minimum an Bau- und Betriebskosten der Pumpspeicherung zu erreichen, ist anzustreben, vor allem folgende grundlegenden topographischen Voraussetzungen zu erfüllen (vgl. Tabelle in Abschnitt 1):

— Die Länge L der horizontalen Projektion der Verbindungsleitung zwischen der als Unterbecken vorgesehenen Stauhaltung der natürlichen Wasserstraße und dem künstlichen Oberbecken soll möglichst kurz sein.

— Die Fallhöhe H, d. h. der Höhenunterschied zwischen den Schwerpunkten der beiden Becken, soll möglichst groß sein. Dabei ist anzustreben, daß das Verhältnis L : H den Wert 4 bis 6 nicht überschreitet.

— Der als Unterbecken zu nutzende Teil der Stauhaltung soll ein möglichst großes Volumen erhalten, um die nach Leistung und Arbeitsinhalt erforderliche Pendelwassermenge jederzeit aufzunehmen.

— Der Speicher soll großflächig und niedrig sein, um die Wasserstandsschwankungen im Interesse von Schiffahrt und Kraftnutzung auf ein Minimum zu begrenzen.

Die Erfüllung dieser im Prinzip für die Planung jedes Pumpspeicherkraftwerks geltenden Standortbedingungen wird bei den an eine Wasserstraße gebundenen Werken durch den Zwangspunkt Unterbecken erschwert. Trotzdem wird die Energiewirtschaft an der Mitbenutzung einer Wasserstraße als Unterbecken eines Pumpspeicherkraftwerks interessiert sein, sofern es möglich ist, die erforderliche Pendelwassermenge billiger in einer Stauhaltung unterzubringen als in einem getrennt davon zu errichtenden Unterbecken. Für die Kostenträger der Wasserstraße bedeutet die Doppelfunktion, daß sie die Kosten für eine primär in ihrem Interesse liegende Stauregelung nicht allein aufzubringen brauchen. Dabei ist es möglich, den Teilaspekt „Hydroelektrische Energieerzeugung durch Pumpspeicherung" genau zu quantifizieren und in monetären Größen zu bewerten.

2.3. Hydrologie des Flußlaufes

Nach Klärung der geographischen Voraussetzungen des Standortes eines Pumpspeicherkraftwerks innerhalb der Stauregelungsstrecke und der hieraus resultierenden Rohfallhöhe ist zu ermitteln, in welchem Umfang die primär für Schiffahrt und Laufwasserkraft konzipierte Stauhaltung zusätzlich in Anspruch genommen werden kann, um im Umwälzbetrieb zwischen Unter- und Oberbecken Spitzenstrom zu erzeugen. Hierfür sind zwei wesentliche, hydrologisch bedingte Gesichtspunkte maßgebend:

— der Bewirtschaftungsbereich des nutzbaren Speichervolumens der Stauhaltung in Abhängigkeit vom natürlichen Abfluß, und
— die Bedingungen für die Entnahme von Wasser aus dem natürlichen Abfluß und seine Rückgabe.

Sofern die Stauhaltung einer Wasserstraße von Anfang an allein nach den Erfordernissen der Pumpspeicherung, also ohne Einbeziehung der Laufwasserkraft projektiert wird, ergeben sich dabei wesentlich einfachere Abflußbedingungen.

2.3.1 Bewirtschaftung von Stauhaltungen

Während das nutzbare Speichervolumen des Oberbeckens von den Horizontalen in Höhe des Stau- und Absenkziels begrenzt wird, sind die Begrenzungslinien des Speichervolumens in dem von einer Stauhaltung gebildeten Unterbecken vom Wehr ab ansteigende Kurven. Länge und Höhenlage der beiden Staukurven und damit das Speichervolumen ändern sich nach dem natürlichen Abfluß. Bei niedrigem Abfluß ist das Volumen größer als bei höherem Abfluß (Abb. 4).

Um die erforderliche Pendelwassermenge in der Stauregelungsstrecke einer Wasserstraße unterzubringen, gibt es unter Berücksichtigung der Bedürfnisse der Schiffahrt verschiedene Möglichkeiten. Es sind dies:
— Erhöhen des vorhandenen Normalstaues und Aufsetzen des Speichervolumens auf diesen.
— Tieferlegen des vorhandenen Normalstaues bis auf die zur Unterbringung des Speichervolumens erforderliche Spiegelhöhe der Stauhaltung.
— Heben und Senken des vorhandenen Normalstaues, um die für das Speichervolumen erforderliche Amplitude in der Stauhaltung zu erreichen.
— Beteiligung von oberhalb der Entnahme-Stauhaltung liegenden Stauhaltungen am Speichervolumen des Unterbeckens.
— Beteiligung der unterhalb der Entnahme-Stauhaltung liegenden Stauhaltungen am Speichervolumen des Unterbeckens.

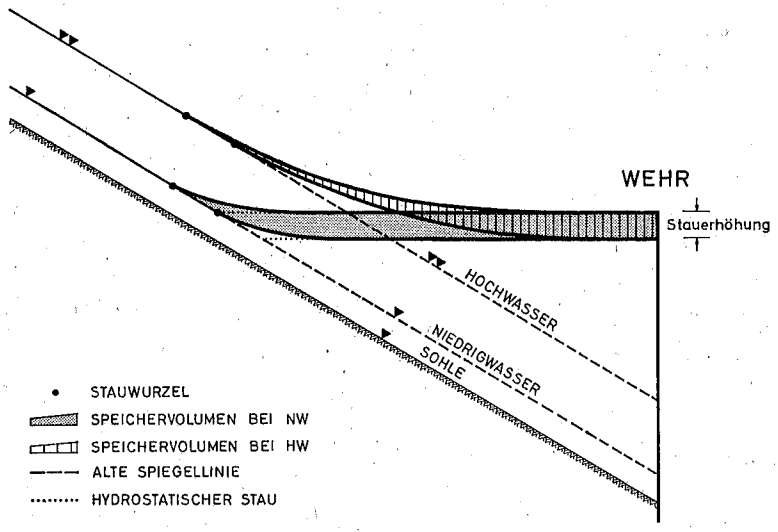


Abb. 4: Pumpspeichervolumen in einer Stauhaltung bei kleinem und großem natürlichen Abfluß

Beispiele hierfür sind in Abb. 5 dargestellt. Die Wahl einer oder mehrerer dieser Bewirtschaftungsmöglichkeiten bei gegebenen Stauhaltungsgrößen ist im wesentlichen abhängig von den energiewirtschaftlichen Forderungen hinsichtlich Leistung und Arbeit des Pumpspeicherkraftwerks sowie von den wasserwirtschaftlichen Entnahme- und Rückgaberestriktionen zugunsten von Schiffahrt und Unterlieger-Laufkraftwerken. Auf diese Bedingungen wird später näher eingegangen. In [12] wurde ein relativ einfaches Berechnungsverfahren entwickelt, das die Bewirtschaftung eines aus einer oder mehreren Stauhaltungen gebildeten Unterbeckens in Abhängigkeit vom Abfluß und den Ausbaugrößen auf dem Weg der elektronischen Datenverarbeitung ermöglicht.

2.3.2 Entnahme aus dem natürlichen Abfluß

Die Verwendung eines gestauten Flusses als Unterbecken hat gegenüber einem seitlichen Becken ohne natürlichen Zufluß den großen Vorteil, daß eine unmittelbare Verbindung des Pumpspeicherwerks mit dem Fluß besteht.

Bei einem Unterbecken mit Kurzzeitspeicherung (Tagesumwälzbetrieb) gewinnt diese Verbindung Bedeutung, wenn der volle Ausgleich des Pumpspeichervolumens infolge höherer natürlicher Abflüsse nicht mehr in der Stauhaltung allein vorgenommen werden kann und diese in Anspruch genommen werden sollen. Allerdings darf eine Entnahme aus dem natürlichen Abfluß vor allem mit Rücksicht auf die Schiffahrt im nicht gestauten Unterlauf des Flusses erst bei ausreichend hohen Wasserführungen beginnen.

Eine wesentliche Rolle spielt die Entnahme aus dem natürlichen Abfluß bei der Langzeitspeicherung, weil sie die Wasserstandsganglinie der Wasserstraße unterhalb stärker verändert als der tägliche Operationszyklus eines Pumpspeicherwerks bei Kurzzeitspeicherung. Die Notwendigkeit zur Langzeitspeicherung ergibt sich z. B. aus der fortschreitenden Tendenz einer Verlängerung des arbeitsfreien Wochenendes, die einerseits dazu zwingt, im Oberbecken größere Speichermöglichkeiten zu schaffen, die aber andererseits eine stärkere Beaufschlagung des Unterbeckens während der verkürzten Arbeitswoche zur Folge hat. In diesem Zusammenhang sei auf das an der Mosel geplante Langzeitpumpspeicherwerk Bremm hingewiesen, das in 6.2 näher behandelt wird [11].

Langzeitspeicherung ist nicht nur bei den bisher behandelten „reinen" Pumpspeicherkraftwerken möglich, bei denen nur das künstlich in das Oberbecken geförderte Wasser genutzt wird, sondern auch bei „gemischten" Pumpspeicherkraftwerken, die daneben das dem Oberbecken aus seinem Niederschlagsgebiet auf natürlichem Wege zufließende Wasser verarbeiten. Haben der Zubringer des natürlichen Zuflusses zum Oberbecken und der die Unterbecken-Stauhaltung speisende Fluß ein jahreszeitlich voneinander abweichendes Abflußregime, so gewinnt die saisonale Langzeitspeicherung aus dem natürlichen Abfluß eine besondere Bedeutung. Sie ist erstmalig in großem Umfang zum Ausgleich der im Spätherbst und Frühjahr stark wasserführenden Schwarzwaldflüsse und des im Sommer infolge alpiner Schmelzwässer anschwellenden Hochrheins angewandt worden. Über das Pumpspeicherkraftwerk Waldshut wird dem Hochrhein seit 20 Jahren während der täglichen Schwachlastzeiten bei höheren Abflüssen Wasser entnommen und über 3 Stufen zum Schluchseebecken hochgepumpt. Die Rückgabe dieses saisonverlagerten Abflusses bei Spitzenstrombedarf ist zum Schutz der übrigen Wassernutzer naturgemäß mit Auflagebedingungen verknüpft, die über diejenigen für die Kurzzeitspeicherung hinausgehen [5].

Am Hochrhein (Mittelwasser = 1000 m^3/s) ist der für die Entnahme maßgebende Abfluß auf mindestens 800 m^3/s festgelegt. Die dabei zulässige Entnahme von Rheinwasser entspricht mit 40 bzw. 64 m^3/s der maximalen Pumpenförderung in den Unterstufen des

Schluchsee- bzw. Hotzenwaldwerks. Aus der Mosel (Mittelwasser = 300 m³/s) darf im Hinblick auf die Schiffahrt im Rhein kein Wasser entnommen werden, solange der Rhein-Pegel Koblenz auf 1,60 m (1000 m³/s Abfluß) oder niedriger steht. Nach den Planungen sollen maximal 60 m³/s Moselwasser entnommen werden, d. h. nur etwa 50 % der maximalen Förderung der Speicherpumpen.

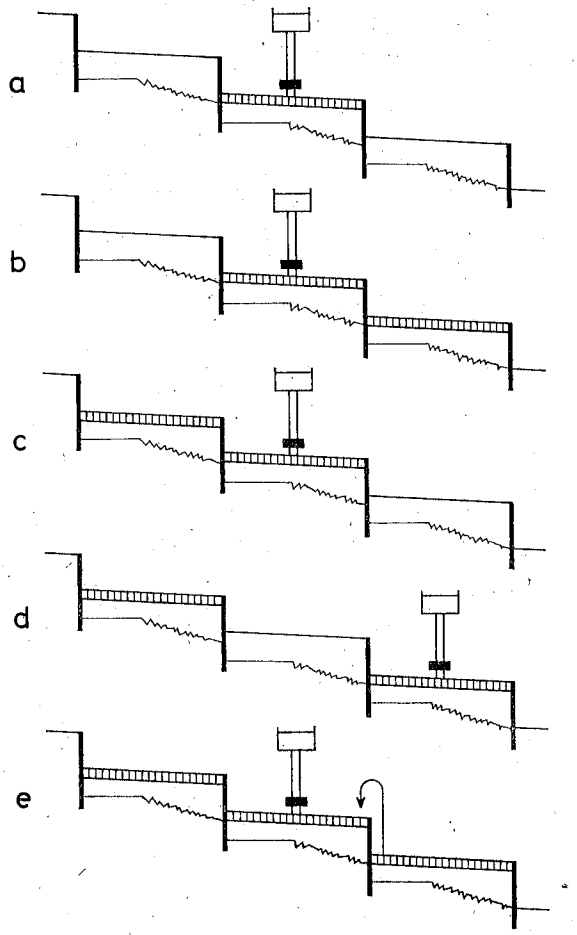


Abb. 5: Beispiele für die Bewirtschaftung von Stauhaltungen als Unterbecken eines Pumpspeicherkraftwerks

Bei der von vornherein als Unterbecken eines Pumpspeicherkraftwerks konzipierten Stauhaltung einer Wasserstraße ohne Laufkraftwerk wie bei Geesthacht kommt es nur darauf an, die für die Schiffahrt erforderliche Wassertiefe sicherzustellen, so daß der Wasserspiegel der Stauhaltung am Pumpspeicherwerk konstant gehalten werden kann. Das Pumpwasser wird der Elbe entnommen und als Turbinenwasser in diese zurückgegeben. Die dabei entstehenden Wasserstandsschwankungen in der Stauhaltung werden durch Steuerung der Wehrverschlüsse ausgeglichen. Lediglich an der untersten Haltung einer Stauregelungsstrecke ohne Laufkraftwerke sind im Hinblick auf die Schiffahrt Vorkehrungen für die Vergleichmäßigung der Wasserabgabe zu treffen.

3. Forderungen der Elektrizitätswirtschaft an die Wasserstraße

3.1. Bemessung von Unterbecken

Bei der reinen Pumpspeicherung mit Tageszyklus kommt es darauf an, das Unterbecken während der Dauer der gesicherten Verfügbarkeit von Schwachlastenergie unter vollem Einsatz aller Pumpen zu entleeren und dann die im Oberbecken angesammelte Wassermenge während der Dauer des Bedarfs an Spitzenstrom abzuarbeiten und im Unterbecken zu speichern (Abb. 6). Bei gleicher Dauer von Erzeugungs- und Pumpenbetrieb haben die Turbinen und Pumpen gleiche Durchflüsse. Die Betriebszeit der Pumpenförderung in der Nacht eines normalen Arbeitstages lag bisher durchweg bei 6 bis 8 Stunden. Die Dauer des Turbinenbetriebs — von unvorhergesehenen Spitzeneinsätzen abgesehen— ist weitgehend davon abhängig, ob Vollast oder Teillast gefahren wird; sie kann deshalb zwischen 4 und 12 Stunden schwanken. Im allgemeinen wird die tägliche Pendelwassermenge schneller abgearbeitet als hochgepumpt.

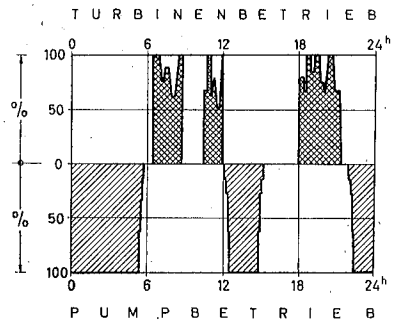


Abb. 6: Tageszyklus eines Pumpspeicherkraftwerks

Bei den bestehenden Anlagen liegt der Speicherinhalt des Unter- bzw. Oberbeckens im allgemeinen zwischen 1 und 2 Mio m³. Diese Größenordnung wurde z. B. auch den Unterbecken in den Stauhaltungen am Hochrhein zugrunde gelegt. Das 1953 in Betrieb genommene Unterbecken des Schluchseekraftwerks Waldshut (176 MW) hat 1,0 Mio m³, das 1967 fertiggestellte Unterbecken des Hotzenwaldkraftwerks Säckingen (360 MW) hat 1,9 Mio m³ Nutzinhalt. Während es bei Waldshut noch genügte, die Pendelwassermenge ausschließlich in der um 50 cm erhöhten Stauhaltung des Rheinkraftwerkes Albbruck-Dogern unterzubringen (Abb. 5 a), mußten bei Säckingen zwei Stauhaltungen in Anspruch genommen werden [10]. Von der dort auf 1,9 Mio m³ vergrößerten Pendelwassermenge sind 1 Mio m³ in einer durch Heben und Senken des Normalstaues der Entnahmestauhaltung Säckingen entstehenden Amplitude von 75 cm Höhe untergebracht, während 0,9 Mio m³ auf die um 40 cm abzusenkende Stauhaltung Ryburg-Schwörstadt entfallen (Abb. 5 b).

3.2. Entwicklungstendenzen der Pumpspeicherung

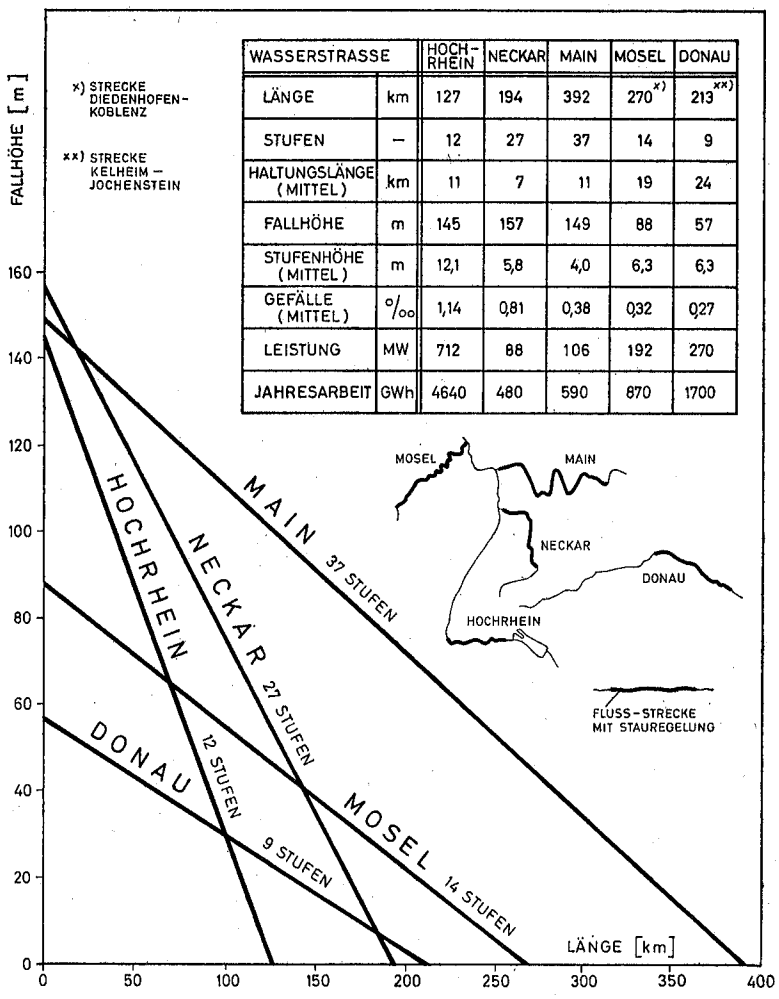
In den letzten Jahren hat sich in der Beurteilung der Größenordnung von Pumpspeicherkraftwerken eine Änderung vollzogen, die in der Bundesrepublik Deutschland sowohl auf das anhaltende Wirtschaftswachstum als auch auf eine anderweitige Nachtbelastung des Netzes zurückzuführen ist, und die zwangsläufig auch die Verwendungsmöglichkeiten von Flußläufen, die gleichzeitig Wasserstraßen sind, als Pumpspeicherbecken beeinflussen wird.

Das Wirtschaftswachstum hat sich zweifellos auf dem Energiesektor verstärkt ausgewirkt, weil eine verstärkte Umlagerung der Verbraucher auf die Elektrizität als Energieversorgung stattgefunden hat. Die Verdoppelung des Elektrizitätsbedarfs und der dafür erforderlichen Leistung innerhalb von 10 Jahren führt im Bereich der Grundlast zur Verwendung immer größerer Maschineneinheiten. Im Bereich des größten Energieversorgungsunternehmens der Bundesrepublik Deutschland werden in Kürze die Neubauten von thermischen 300 MW-Blöcken auslaufen und auf 600 MW-Blöcke übergehen. Das am Rhein gelegene Kernkraftwerk Biblis wird 1974 mit einer Einwellen-Maschine von 1150 MW und anschließend mit einer weiteren von 1300 MW (!) in Betrieb gehen. Diese Umstände beeinflussen selbstverständlich auch die Größe der Kraftwerke, die für den Spitzenbetrieb einzusetzen sind. Unter Einhaltung einer gewissen Relation kann deshalb davon ausgegangen werden, daß zur Spitzendeckung in einem großen Versorgungsnetz heute nur noch Kraftwerksleistungen in der Größenordnung ab 700 MW in Betracht kommen, und daß sich diese Grenze von Jahr zu Jahr nach oben verschieben wird.

Der zweite, die bisherige Pumpspeicherung beeinflussende Faktor ergibt sich aus der Tatsache, daß die Nachtbelastungstäler des 24stündigen Belastungsdiagramms (Abb. 1), aus denen die Pumpenergie stammt, vor allem im Winter nicht mehr so stark ausgeprägt sind wie früher. Durch diese Auffüllung des Nachtbedarfs, die in erster Linie auf das außerordentliche Anwachsen der elektrischen Speicherheizung während der kälteren Jahreszeit zurückzuführen ist, wird die Pumpstromlieferung zeitweise begrenzt. Um einen Ausgleich für das nur kurzzeitig zulässige Nachtpumpen zu erhalten, sind Speichermöglichkeiten erforderlich, die es erlauben, die fehlende Regeneration des Speichers während des ohnehin längerwerdenden arbeitsfreien Wochenendes vorzunehmen.

Die Berücksichtigung der vorgenannten Entwicklungstendenzen, die auf eine Vergrößerung von Leistung und Arbeitsinhalt der Pumpspeicherung zielen, hat zwangsläufig zur Folge, daß größere Speicherbecken benötigt werden, als dies noch vor einem Jahrzehnt für richtig gehalten wurde. Überträgt man diese vom Verbundnetz her bedingten Umstände auf die Mitbenutzung einer Wasserstraße als Unterbecken eines Pumpspeicherkraftwerks für den geforderten Spitzenleistungsbereichs um 700 MW, so erkennt man, daß dem dafür erforderlichen Speichervolumen einer Stauhaltung von Natur aus bestimmte Grenzen gesetzt sind. Diese Grenzen werden an den Wasserstraßen, die durch eine lückenlose Stauregelung bereits für die Gewinnung von Laufkraftenergie erschlossen sind, weiter eingeengt, da auf die dafür bestehenden Konzessionen Rücksicht genommen werden muß.

Das als Unterbecken nutzbare Speichervolumen ist wesentlich von der Stauhaltungslänge abhängig, die bei der Aufstellung des Stufenplans für die Stauregelung nach dem jeweiligen Stand der Technik gewählt wurde [17]. Vergleicht man unter diesem Gesichtspunkt die Stauregelungen an den deutschen Wasserstraßen Main, Mosel und Donau, so ist der Unterschied der Haltungslängen beträchtlich, obwohl sie etwa die gleichen Gefällsverhältnisse aufweisen (Bild 7). Der Main, dessen Ausbau oberhalb von Aschaffenburg 1922 begann, hat zwischen der Mündung und Bamberg 37 Stufen mit einer durchschnittlichen Haltungslänge von 11 km. Die Stauregelung der Mosel, die nach einem Entwurf von 1903 mit 32 Stufen und nach einem Entwurf von 1919 mit 20 Stufen ausgeführt werden sollte, erhielt 1956 schließlich nur 14 Stufen und weist fast 20 km lange Haltungen auf. An der bis jetzt nur teilweise ausgebauten Donau von Kelheim bis zur Landesgrenze sind 9 Stufen vorgesehen, deren Stauhaltungen im Mittel 24 km lang werden sollen.



WASSERSTRASSE		HOCH-RHEIN	NECKAR	MAIN	MOSEL	DONAU
LÄNGE	km	127	194	392	270 x)	213 xx)
STUFEN	–	12	27	37	14	9
HALTUNGSLÄNGE (MITTEL)	km	11	7	11	19	24
FALLHÖHE	m	145	157	149	88	57
STUFENHÖHE (MITTEL)	m	12,1	5,8	4,0	6,3	6,3
GEFÄLLE (MITTEL)	‰	1,14	0,81	0,38	0,32	0,27
LEISTUNG	MW	712	88	106	192	270
JAHRESARBEIT	GWh	4640	480	590	870	1700

Abb. 7: Charakteristik der Stauregelungen von Wasserstraßen mit Laufkraftwerken in der Bundesrepublik Deutschland

Es wurde bereits erwähnt, daß die Stauhaltungen am Main für die Zwecke der Pumpspeicherung nicht mehr in Betracht kommen. Dagegen besteht die Absicht, einige der fast doppelt so langen Haltungen der Mosel als Unterbecken mitzubenutzen. Dies wird durch den Umstand begünstigt, daß die oberste deutsche und die unterste Stauhaltung nach den bereits vorliegenden Konzessionen mit einem Speichervolumen von je 1,6 Mio m³ bewirtschaftet werden dürfen, und zwar als Rückhalte- bzw. Ausgleichbecken für den Schwellbetrieb. Das nach den neuesten Planungen vorgesehene Pumpspeicherkraftwerk Schleicherberg benötigt bei 4,25stündigem Vollastbetrieb mit 700 MW eine Pendelwassermenge von 3,6 Mio m³, die in drei benachbarten Haltungen untergebracht werden kann (Abb. 5 e). An der Donau bei Jochenstein-Riedl ist ein Pumpspeicherkraftwerk mit ebenfalls 700 MW Spitzenleistung geplant, wozu bei einem täglichen Einsatz von 6 Stunden ein Arbeitsinhalt des Unterbeckens von 5,3 Mio m³ benötigt wird [16]. Diese Wassermenge soll zunächst nur in der etwa 50 cm hohen Lamelle der Stauhaltung Aschach gespeichert werden (Abb. 5 a).

Weniger günstig liegen die Voraussetzungen für die Schaffung großer Speichervolumina am Neckar, dessen 27 Stauhaltungen im Mittel nur 7 km lang sind. Früher durchgeführte Planungen eines auf drei Haltungen ausgedehnten Unterbeckens haben jedoch ergeben, daß das damit erzielbare Speichervolumen bei mittlerem Abfluß nur 1,1 Mio m³ beträgt. Vom Hochrhein, der durch das stärkste Gefälle und die höchsten Stufen bei durchschnittlich 11 km langen Haltungen gekennzeichnet ist [4], sind keine neuen Pumpspeicherprojekte bekanntgeworden, obwohl die topographischen und hydrologischen Voraussetzungen für weitere Unterbecken im Strom durchaus günstig sind. Die Planungen werden dadurch erschwert, daß noch keine Entscheidung über die Weiterführung der Großschiffahrt bis zum Bodensee getroffen wurde, und daß der Hochrhein ein Grenzgewässer darstellt, bei dem die Interessen von zwei Staaten zu berücksichtigen sind.

4. Begrenzung der Kraftnutzung an Wasserstraßen durch den Schiffsverkehr

4.1. Verkehrssicherheit der Schiffahrt

Der Wechsel von Turbinen- und Pumpenbetrieb im elektrizitätswirtschaftlich bestimmten Tageszyklus verändert die Fahrwasserverhältnisse in den Stauhaltungen, wodurch sich Auswirkungen auf die Schiffahrt und auf die baulichen Anlagen der Wasserstraße ergeben. Für die Schiffahrt bedeuten diese Auswirkungen einen Eingriff in die Sicherheit und Leichtigkeit des fahrenden und ruhenden Verkehrs. Unter Umständen können sie auch die Transportleistung und den Aufwand an Antriebsenergie beeinflussen.

Bei der Durchfahrung der vom Pumpspeicherbetrieb beeinflußten Fahrwasserstrecke wird der Schiffsführer meist unvorbereitet andere Fahrwasserbedingungen vorfinden, als er sie von den ungestörten Stauhaltungen gewohnt ist. In der Zeitspanne vom Erkennen der geänderten Fahrwasserverhältnisse bis zum Wirksamwerden der schiffahrtsüblichen Manöver (wie Rudergabe und Änderung der Antriebsleistung) darf das Schiff seine Steuerfähigkeit nicht verlieren. Außerdem darf es nicht stärker in seinem Kurs beeinflußt werden, als es nach den örtlichen Bedingungen der Fahrrinne und des Verkehrs aus Sicherheitsgründen vertretbar ist. Wie für den fahrenden gilt auch für den ruhenden Verkehr die Forderung, daß die planmäßige Fahrwassertiefe und die Durchfahrtshöhen unter Brücken erhalten sowie die Anlege- und Liegestellen weiterhin verkehrssicher benutzbar bleiben [15].

Sofern durch eine vom Pumpspeicherbetrieb verursachte Veränderung der Fahrwasserverhältnisse nachteilige Auswirkungen auf die Sicherheit des Schiffsverkehrs zu erwarten sind, ist ihnen durch bauliche Maßnahmen und betriebliche Einschränkungen zu begegnen.

4.2. Fahrwasserverhältnisse im Unterbecken

Der Pumpspeicherbetrieb wirkt sich in erster Linie auf die als Unterbecken dienenden Stauhaltungen aus. Es können aber vor allem bei im Verhältnis zur Pendelwassermenge kleinen Abflüssen auch flußabwärts anschließende Teile der Wasserstraße mit zeitlicher Verschiebung beeinflußt werden. Die mit dem Krafthaus des Pumpspeicherwerks unmittelbar in Verbindung stehende Haltung ist jedoch am stärksten Veränderungen der Fahrwasserverhältnisse ausgesetzt. Eine besondere Rolle spielen dabei die Wasserspiegellagen und die Strömungsverhältnisse.

4.2.1 Wasserspiegellage

Bei der Beurteilung des Einflusses der Inbetriebnahme der Turbinen oder Pumpen auf den Wasserspiegel der Unterbecken-Stauhaltung ist mit Rücksicht auf die Schiffahrt zu unterscheiden, ob

1. das Stauziel verändert werden darf, also eine bestimmte Bewirtschaftungsamplitude nutzbar ist, oder
2. das Stauziel unverändert bleiben muß und ob die Entnahme und Rückgabe nahe dem Wehr (unteres Ende der Haltung) oder im Bereich der mit dem Abfluß wechselnden Stauwurzel (oberer Teil der Haltung) stattfindet.

Dabei kann den Wasserspiegeländerungen am Ende der Stauhaltung bei niedrigen natürlichen Abflüssen besondere Bedeutung zukommen, weil der benetzte Querschnitt dort im allgemeinen kleiner und die Wassertiefe geringer ist, so daß bei gleichbleibender Rückgabe bzw. Entnahme relativ stärkere Schwankungen entstehen.

Im ersten Fall (Stauziel veränderlich) richtet sich bei gegebener Größe und Bewirtschaftungsamplitude des Speichervolumens der Turbinenzufluß oder die Pumpenförderung während der jeweiligen Betriebszeit nach den der Schiffahrt zumutbaren Steig- oder Sinkgeschwindigkeiten des Wasserspiegels der Stauhaltung und der sich daraus ergebenden Änderung des Spiegelgefälles. Die Änderung der Höhe des Wasserspiegels kann sich im wesentlichen nur auf den ruhenden Verkehr (in Schleusenvorhäfen, an Liege- und Übernachtungsplätzen), im Ausnahmefall auch auf die Anlegestellen von Fähren auswirken.

Die an bestehenden Stauregelungsstrecken bisher gewählten Bewirtschaftungsamplituden des Unterbeckens schwanken zwischen 50 und 70 cm. Andererseits liegen die Füll- bzw. Entleerungszeiten zwischen 4 und 8 Stunden. Innerhalb dieser Grenzen ergeben sich folgende mittlere Vertikalgeschwindigkeiten am Wehr in cm/Std.:

Betriebsdauer	Bewirtschaftungsamplitude des Unterbeckens von		
Stunden	50 cm	60 cm	70 cm
10	5,00	6,00	7,00
8	6,25	7,50	8,75
6	8,33	10,00	11,66
4	12,50	15,00	17,50

Wie die folgenden Beispiele zeigen, liegen die Höhenänderungen je Stunde in einer Größenordnung, die dem Steigen und Fallen des Wasserspiegels bei HW (auch unterhalb des HSW) entspricht. Dabei muß man davon ausgehen, daß die bestehenden baulichen, betrieblichen und organisatorischen Maßnahmen zur Sicherheit der Schiffahrt für diese hochwasserbedingten Wasserspiegeländerungen auch den durch die Pumpspeicherung verursachten Änderungen genügen, vorausgesetzt, daß die Schiffahrt grundsätzlich auf die Möglichkeit des jederzeitigen Auftretens der Wasserspiegeländerungen und zwar unabhängig von der natürlichen Wasserführung durch Bekanntmachungen oder örtliche Hinweise vorbereitet ist. Für den Schwellbetrieb an der Mosel sind bei den 1,6 Mio m³ fassenden beiden Endbecken, um die Interessen von Schiffahrt, Fischerei und Naturschutz nicht zu beeinträchtigen, Stauspiegelschwankungen bis zu 60 cm zugelassen, d. h. bei 12stündigem Absenken 5 cm/Stunde [3].

Nach [5] soll das Speichervolumen bei reiner Pumpspeicherung so bemessen sein, daß der Nutzinhalt der Stauhaltung bei Einsatz aller Pumpen in rd. acht Stunden gefördert werden kann. Bei 40 m³/s Pumpenförderung wären dies rd. 1,15 Mio m³. Wird dieses Speichervolumen wie z. B. beim Kraftwerk Waldshut durch Höherstau der Stauhaltung Albbruck-Dogern um 50 cm geschaffen, so ergibt sich dabei eine mittlere Sinkgeschwindigkeit von 6,25 cm/Stunde. Wählt man z. B. wie in Jochenstein-Riedl ein Speicher-

volumen von etwa 5,4 Mio m³ mit einem Bewirtschaftungsbereich von 50 cm, so könnten beim Turbinenbetrieb annähernd abgefahren werden

in 6 Stunden 250 m³/s und
in 4 Stunden 375 m³/s

unter der Voraussetzung, daß mittlere Steiggeschwindigkeiten von 8,33 bzw. 12,5 cm/Std. zugelassen werden.

Bei der Festlegung der zulässigen Wasserspiegeländerungen infolge Pumpspeicherung ist es unerläßlich, Modellversuche durchzuführen, um die Auswirkungen der verschiedenen Varianten an den nachgebildeten örtlichen Verhältnissen zu untersuchen. Bemerkenswert sind die für das Pumpspeicherkraftwerk Geesthacht an der Elbe im Jahre 1964 durchgeführten Modellversuche, die das Ziel hatten, die Möglichkeiten einer Leistungserhöhung von bisher je 3 Pumpen (117 m³/s) und Turbinen (189 m³/s) auf 4 Pumpen (181 m³/s) und 6 Turbinen (397 m³/s) zu untersuchen. Die Versuche wurden bei einem Elbeabfluß von 134 m³/s (etwa niedrigstes Niedrigwasser) für Pumpwasserentnahmen bis zu 309 m³/s durchgeführt. Bei Annahme eines etwa 8stündigen Pumpenbetriebs mit 231 m³/s, also mit einer um 50 m³/s größeren Entnahme als geplant, wurde eine Absenkung des Stauspiegels um 31 bis 32 cm gemessen. Dies entspricht einer mittleren Wasserspiegeländerung von rd. 4 cm/Stunde.

Bedeutsamer für die Schiffahrt, wenn auch erheblich seltener, ist der anfangs erwähnte zweite Fall, daß die Entnahme und Rückgabe im Bereich der mit der Wasserführung wechselnden Stauwurzel der Unterbecken-Stauhaltung liegt und ihr Stauziel nicht verändert werden darf. Hier ergibt sich ein grundsätzlich anderes Bild der Änderung der Wasserspiegellagen in Abhängigkeit vom Pumpspeicherbetrieb (Abb. 8). Dabei sind die Auswirkungen auf den ruhenden und fahrenden Verkehr im Prinzip die gleichen wie die im vorher behandelten Fall. Nur können sie größere Absolutwerte erreichen. Es wird daher auch hier auf der Grundlage von hydraulischen oder mathematischen Modellen zu klären sein, wo die Grenzen der dem Schiffsverkehr ohne Beeinträchtigung seiner Sicherheit zumutbaren Wasserspiegeländerungen liegen. Beachtenswert ist hierbei aber, daß die sich nach energiewirtschaftlichen Überlegungen ergebende Folge von Pumpen-

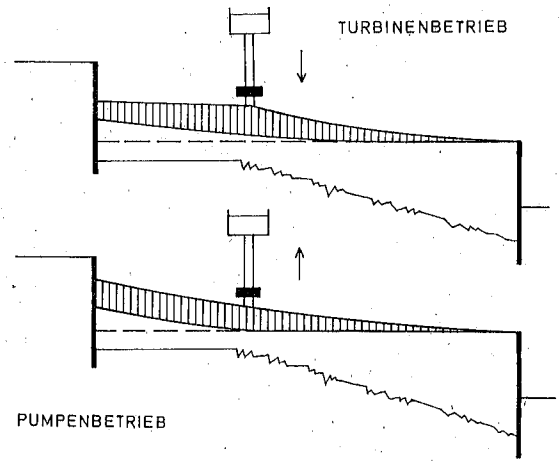


Abb. 8: Änderung des Wasserspiegels in einer als Pumpspeicher-Unterbecken dienenden Stauhaltung bei konstantem Stauziel

und Turbinenbetrieb einen ständigen Wechsel instationärer Vorgänge verursacht, ohne daß, abgesehen vom mehrstündigen Pumpenbetrieb bei Nacht, überhaupt ein stationärer Zustand erreicht wird (Abb. 9).

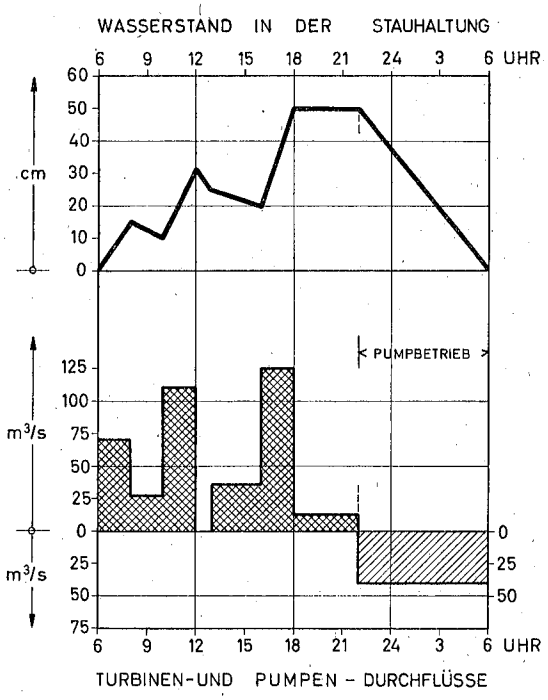


Abb. 9: Wasserstandsganglinie einer als Unterbecken dienenden Stauhaltung im Tageszyklus eines Pumpspeicherkraftwerks mit natürlichem Zufluß

Bei kürzlich durchgeführten Modellversuchen für die Unterstufe des Pumpspeicherwerks Bremm an der Mosel wurden in dieser Hinsicht interessante Ergebnisse über die Änderung der Wasserspiegelhöhen am Beginn und Ende des Turbinen- und Pumpenbetriebs gewonnen [15]. Der Turbinenbetrieb wurde beim niedrigsten Niedrigwasser (= 25 m³/s) begonnen, der Pumpenbetrieb etwa bei Mittelwasser. Der Verbindungskanal zum Kraftwerk mündet im Bereich der mit der Wasserführung wechselnden Stauwurzel im oberen Viertel der Stauhaltung Fankel. Nach 2½stündigem Turbinenbetrieb mit 214 m³/s stieg der Wasserspiegel an der Rückgabestelle um 1,0 m (= 40 cm/Std.), danach stellte sich 5 cm höher der Beharrungszustand ein. Der Pumpenbetrieb erreichte den Beharrungszustand ebenfalls nach 2½ Stunden. Die stärksten Wasserpiegeländerungen traten kurzfristig am Anfang des Turbinenbetriebs mit 214 m³/s (etwa 12 cm/min) auf. Diese hohen Werte führten schließlich dazu, daß die im Projekt zunächst vorgesehenen Turbinen- und Pumpen-Durchflüsse auf 120 m³/s begrenzt und damit die maximale Steiggeschwindigkeit auf etwa 3,5 cm/min reduziert wurden. Der Verlauf der für diesen Fall ermittelten Wasserspiegeländerungen ist in Abb. 10 dargestellt.

Neben diesen Einflüssen sind die Wirkungen der Wasserspiegeländerungen auf die bauliche Sicherheit der Ufer zu beachten. Vergleicht man die maximalen Steig- und Fallgeschwindigkeiten der Wasserspiegellagen wie sie aus natürlichen Ursachen, also Hoch-

wasser oder Tide, entstehen, mit denjenigen, die durch den Pumpspeicherbetrieb oder durch das fahrende Schiff verursacht werden, so lassen sich etwa folgende Verhältniszahlen feststellen:

Hochwasser	0,01 cm/s
Pumpspeicherbetrieb	0,25 cm/s
Schiffahrt	15,00 cm/s.

Dabei ist zu berücksichtigen, daß in gleicher Reihenfolge die Häufigkeit des Ereignisses erheblich zunimmt, die absolute Größenordnung der Wasserspiegeländerungen jedoch abnimmt. Das stützt die Annahme, daß die Beanspruchung durch Pumpspeicherbetrieb für Dimensionierung und Bauweise der Böschungen und Uferbefestigungen nicht maßgebend ist. Im Einzelfall können spezielle Untersuchungen zu dieser Frage erforderlich werden.

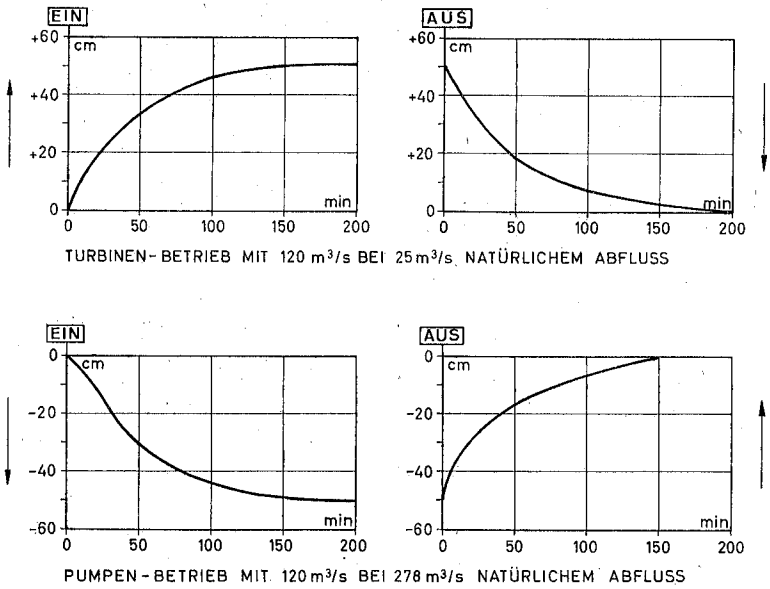


Abb. 10: Änderung der Wasserspiegelhöhen einer Unterbecken-Stauhaltung vor dem Verbindungsbauwerk Wasserstraße/Pumpspeicherung beim Ein- und Ausschalten der hydraulischen Maschinen

Einen besonderen Einfluß auf die Spiegellage des Fahrwassers können Schwall- und Sunkwellen ausüben, die beim Anfahren mit voller Last, bei plötzlichen Änderungen der kontinuierlichen Füllung oder Entleerung des Unterbeckens und bei schnellem Wechsel der Betriebsarten entstehen. Diese Wellen haben ihre Größtwerte unmittelbar im Bereich des die Stauhaltung tangierenden Verbindungsbauwerks. Sofern im Flußlauf keine Engstellen bestehen, bauen sich die Wellen nach ober- und unterstrom kontinuierlich ab.

Bei den Modellversuchen für die Unterstufe des Pumpspeicherwerks Bremm an der Mosel mit einem Abfluß von 25 m³/s ergaben sich je nach dem Turbinendurchfluß Schwallhöhen von 24 cm (214 m³/s) bzw. 14 cm (120 m³/s). Die diesen Verhältnissen entsprechenden Sunkwellen beim Pumpenbetrieb waren kleiner. An der Elbe beim Pumpspeicherwerk Geesthacht werden die Änderungen des Betriebszustandes bei niedrigem Abfluß weitgehend und rechtzeitig an dem 4 km entfernten Wehr ausgeglichen, so

daß ein ausgesprochener Füllschwall nicht auftritt. Im Rahmen der erwähnten Modellversuche wurden nach dem Einschalten der 4 Pumpen (231 m³/s) am Pumpspeicherwerk Sunkwellen von 5—6 cm Höhe gemessen, die in 1,5—2 km Entfernung von der Entnahmestelle abgebaut waren.

Gefahren für die Schiffahrt sind aus Schwall- und Sunkwellen in einer Größenordnung von 20 bis 30 cm Höhe nicht zu erwarten. Diese Erscheinungen haben eine gewisse Ähnlichkeit mit den bei Schnellschluß der Turbinen von Laufkraftwerken ausgelösten Schwallwellen im Oberwasser und Sunkwellen im Unterwasser. Bei Stauhaltungen mit Pumpspeicherbetrieb können erforderlichenfalls Erleichterungen für den Schiffsverkehr dadurch erreicht werden, daß die Entnahme und die Rückgabe des Betriebswassers bei niedrigem natürlichen Abfluß nicht schlagartig in vollem Umfang, sondern langsam ansteigend erfolgen.

4.2.2 Strömungsverhältnisse

Durch die Rückgabe und Entnahme des Betriebswassers werden die Strömungsgeschwindigkeiten in der Stauhaltung nach Richtung und Größe verändert. Bezogen auf die Achse der Fahrrinne unterscheidet man Quer- und Längsgeschwindigkeiten. Ihre Auswirkungen auf die Schiffahrt sind um so geringer, je weiter die Fahrrinne von der Rückgabe- bzw. Entnahmestelle entfernt liegt. Das Strömungsbild in der Haltung ist außerdem abhängig von der Querschnittsgröße, der Gestaltung und der Anordnung des Verbindungsbauwerks. Auch hierüber können nur Modellversuche Klarheit schaffen.

Am empfindlichsten reagiert ein fahrendes Schiff auf Querströmungen. Bei der Rückgabe sind sie überwiegend nach dem gegenüberliegenden Ufer, bei der Entnahme zum Verbindungsbauwerk hin gerichtet. Ihre Größe soll ein bestimmtes Maß, das von der Tonnage und Fahrgeschwindigkeit des Schiffes sowie von der Breite der Wasserstraße abhängig ist, nicht überschreiten. Die vielfach geforderte Begrenzung der Quergeschwindigkeit auf 30 cm/s ist noch nicht durch ausreichende Untersuchungen begründet. Die bisherigen Erfahrungen mit diesem Maß berechtigen allerdings dazu, es vorläufig als Richtwert zu verwenden, da bei ausgeführten Objekten, denen dieses Maß zugrunde gelegt wurde, noch keine nachteiligen Wirkungen auf die Schiffahrt beobachtet wurden.

Bei Geesthacht dürfte die Querströmung im jetzigen Ausbauzustand mit 3 Turbinen (171 m³/s) und mittlerem Elbe-Abfluß in etwa 30 m Entfernung vom Rückgabe-Ufer 15 bis 20 cm/s nicht überschreiten. Beim Pumpenbetrieb erreichen die Querströmungen geringere Werte, so daß sie für die Schiffahrt ohne Bedeutung sind. Nach den Ergebnissen der Modellversuche mit 6 Turbinen (397 m³/s) ergaben sich bei niedrigstem Niederwasser (135 m³/s) Querströmungen

am Rückgabe-Ufer	von 30 bis 35 cm/s,
in der Buhnenstreichlinie	von 15 bis 19 cm/s und
im Fahrwasser	von 10 bis 13 cm/s.

Für die Mosel bei Bremm erbrachten die Versuche bei vollem Turbinendurchfluß (214 bzw. 120 m³/s) und 25 m³/s natürlichem Abfluß Quergeschwindigkeiten in der Achse der Fahrrinne von durchweg unter 20 cm/s.

In beiden Fällen sind die genannten niedrigen Querströmungen nur durch besondere bauliche Maßnahmen erreicht worden. Diese werden ausführlich in Abschnitt 5 behandelt.

Die normale Längsströmung in der Stauhaltung wird durch den Pumpspeicherbetrieb ebenfalls beeinflußt, allerdings mit geringeren Auswirkungen auf den Schiffsverkehr als bei Querströmungen. Bei Turbinenbetrieb steigt die Längsgeschwindigkeit

unterhalb des Rückgabebauwerks von der normalen Fließgeschwindigkeit auf diejenige des um den Turbinendurchfluß vermehrten Abflusses an, während sie oberhalb absinkt. Umgekehrt nimmt bei der Entnahme die Längsgeschwindigkeit unterhalb des Bauwerks sehr stark ab, während sie oberhalb erhöht wird (siehe Abb. 8). Diese Änderungen der Längsgeschwindigkeiten in Bauwerksnähe müssen durch bauliche Maßnahmen auf eine solche Länge ausgedehnt und vergleichmäßigt werden, daß hieraus keine wesentliche Verminderung der Steuerfähigkeit des Schiffes entsteht, die nicht durch schiffahrtsübliche Manöver in der Übergangsstrecke von der einen zur anderen Gefällelage ausgeglichen werden kann. Als für die Schiffahrt annehmbar sind Strömungsverhältnisse zu bezeichnen, die auf 100 m Länge Geschwindigkeitsänderungen in der Fließrichtung von höchstens 15 bis 20 cm/s verursachen. Werte dieser Größenordnung sind jedoch nur bei entsprechender Gestaltung des Verbindungsbauwerks zu erreichen.

Eine stromauf gerichtete Längsströmung kann bei kleinem Abfluß kurzzeitig am Beginn des Turbinenbetriebs entstehen, wenn die Auffüllung der Stauhaltung nur zum kleineren Teil aus dem natürlichen Zufluß, zum größeren Teil aber aus dem Turbinenzufluß erfolgt. Diese unter Umkehrung der Gefällerichtung entstehende Rückströmung ist für den Schiffsverkehr von Bedeutung. Sie ist um so größer, je kleiner der natürliche Abfluß ist. In für die Schiffahrt schwierig zu befahrenden Abschnitten der Stauhaltung dürfen keine Rückströmungen auftreten. An der Mosel werden bei Abflüssen zwischen 25 und 50 m³/s und 120 m³/s Turbinenzufluß maximale Rückströmungsgeschwindigkeiten zwischen 30 und 10 cm/s als für die Schiffahrt noch tragbar angenommen.

4.3. Fahrwasserverhältnisse stromab vom Unterbecken

Alle Eingriffe in den natürlichen Abfluß der als Unterbecken eines Pumpspeicherkraftwerks dienenden Stauhaltung setzen sich mit zeitlicher Verzögerung und retentionsbedingter Abminderung in den unterliegenden Stauhaltungen und darüber hinaus in der frei fließenden Wasserstraße fort. Es ist daher bei der Bewirtschaftung der Pendelwassermenge darauf Rücksicht zu nehmen, daß zur Wahrung der Bedürfnisse der Schiffahrt ein möglichst gleichmäßiger Abfluß erzielt wird. Etwaige Beeinträchtigungen der Schiffahrt gehen in dem Maße zurück, in dem die Betriebswassermengen der Pumpspeicherung kleiner gehalten werden.

4.3.1 Stauhaltungen

Liegen mehrere Stufen einer Stauregelungsstrecke unterhalb des Pumpspeicherkraftwerks, so ist anzustreben, den Abflußausgleich im Unterwasser der Staustufe zu erreichen, deren Oberwasser von der Pumpspeicherung als Bewirtschaftungsraum benutzt wird. Weiterhin ist es durch gezielten Betrieb der unterliegenden Laufkraftwerke möglich, die vom Pumpspeicher-Unterbecken ausgehenden Wirkungen zunehmend abzubauen. Im Falle des eingangs erwähnten Kippbetriebes der Laufkraftwerkskette, die aus der gleichzeitigen Höherbeaufschlagung der Turbinen während der Erzeugungsperiode des Pumpspeicherwerks Nutzen zieht, ist die unterste Stauhaltung unter Umständen als Ausgleichbecken auszubilden. Als Folge dieser ausgleichenden Maßnahmen wird die für Flußkraftwerke sonst übliche Konzessionsbedingung, das Oberwasser konstant zu halten, hinfällig.

Am Beispiel des am Hochrhein liegenden Pumpspeicherwerks Säckingen, der Unterstufe des Hotzenwaldwerks, sollen die Bedingungen erläutert werden, nach denen die Entnahme-Stauhaltung Säckingen und die unterhalb liegende Stauhaltung Ryburg-Schwörstadt bewirtschafttet werden. Allerdings handelt es sich beim Hochrhein nur mittelbar um eine Wasserstraße, weil die Stauhaltungen von der Großschiffahrt noch nicht genutzt werden. Dennoch sind in den neuen wasserrechtlichen Konzessionen der beiden

Laufkraftwerke Bestimmungen enthalten, welche die Berücksichtigung des Schiffsverkehrs fordern, wobei in der Hauptsache die Großschiffahrt gemeint ist, die unterhalb der Kraftwerkskette des Hochrheins auf dem Oberrhein verkehrt. Hiernach haben die beiden Laufkraftwerke ihre Stauhaltungen durch geeignete Rückhaltung und Weitergabe des vom Pumpspeicherwerk der Haltung und dem Kraftwerk Säckingen und von diesem der Haltung und dem Kraftwerk Ryburg-Schwörstadt zufließenden Wassers so zu bewirtschaften, daß im Unterwasser ein möglichst gleichmäßiger Wasserabfluß erzielt und die Schiffahrt nicht beeinträchtigt wird. Die diesbezügliche Inanspruchnahme der beiden Stauhaltungen in Abhängigkeit vom Abfluß des Rheins am Pegel Rheinfelden ist nach [10] in Abb. 11 graphisch dargestellt. Das Diagramm zeigt außerdem, wieviel Wasser beim jeweiligen Rheinabfluß vom natürlichen Abfluß der Stauhaltung Säckingen zurückgehalten werden darf. Bei Abflüssen unter 800 m³/s ist eine Rückhaltung nicht gestattet. Die obere Grenze von 64 m³/s (bei über 1550 m³/s Abfluß) entspricht der maximalen Pumpenförderung des Speicherkraftwerks Säckingen.

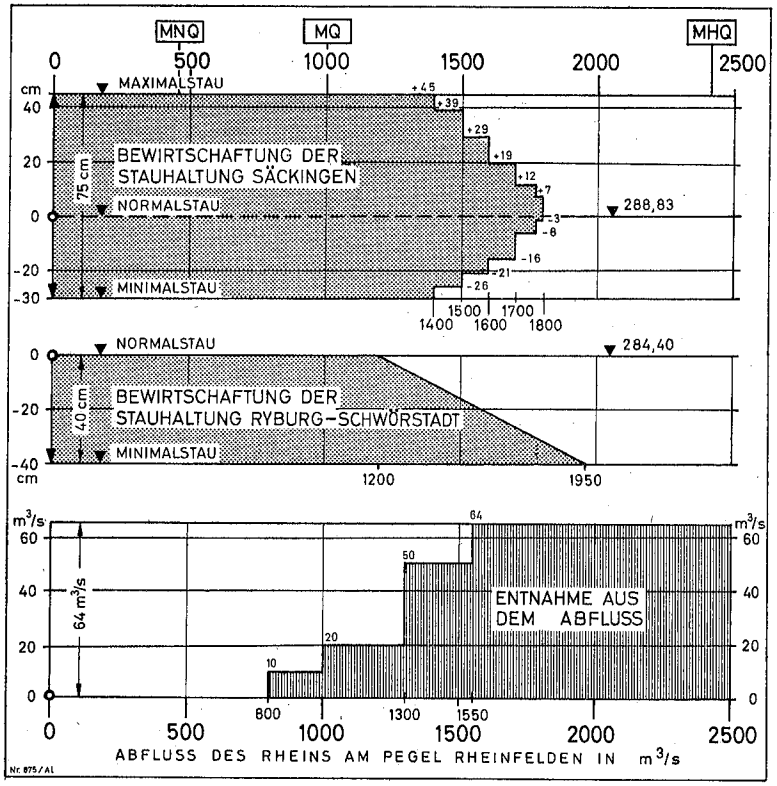


Abb. 11: Inanspruchnahme der Stauhaltungen Säckingen und Ryburg-Schwörstadt als Unterbecken der Unterstufe Säckingen des Hotzenwald-Pumpspeicherkraftwerks in Abhängigkeit vom Abfluß des Hochrheins

Liegt die als Unterbecken benutzte Stauhaltung wie an der M o s e l innerhalb einer Schwellbetriebskette, so können der Kopfspeicher und das untere Regulierungsbecken durch planmäßige Bewirtschaftung zu dem wegen der Pumpspeicherung erforderlichen Abflußausgleich herangezogen werden.

Eine Untersuchung dieser Einflüsse an einem wasserbaulichen Modell ist wegen der großen Längenausdehnung des Versuchsobjekts im allgemeinen nicht zweckmäßig. Dagegen bietet die elektronische Datenverarbeitung eine ausgezeichnete Möglichkeit, die Steuerung dieses wasserwirtschaftlichen Systems unter den verschiedensten Betriebsbedingungen rechnerisch zu erfassen.

4.3.2 Freier Fluß

Die Schiffahrt auf der an die unterste Haltung einer Stauregelungsstrecke anschließenden frei fließenden Wasserstraße kann durch ein oberhalb liegendes Pumpspeicher-Unterbecken im allgemeinen nur bei extremen Abflüssen beeinträchtigt werden.

Das Auftreten eines natürlichen Hochwassers während des Turbinenbetriebs bedeutet eine künstliche Abflußsteigerung, die unter Umständen betriebliche Einschränkungen erfordert. Man wird daher den Betrieb des Pumpspeicherkraftwerks und der evtl. anschließenden Laufkraftwerke so einrichten müssen, daß der Gefahrenbereich des natürlichen Hochwassers der Dauer und Höhe nach nicht überschritten wird. Für die Schiffahrt ist die Grenze derartiger Einschränkungen durch den höchsten schiffbaren Wasserstand gegeben.

Schwerwiegendere Auswirkungen auf die Schiffahrt können beim Pumpenbetrieb entstehen, wenn lange Entnahmezeiten zu einer lang anhaltenden Abflußminderung führen und diese bei Niedrigwasser eintritt. Um Behinderungen der Schiffahrt im frei fließenden Gewässerbereich zu vermeiden, muß eine genaue Abstimmung zwischen natürlichem Abfluß, Pumpenförderung und Pumpzeiten erfolgen. Eine Entnahme aus dem natürlichen Abfluß einer Stauhaltung ist dann nicht zulässig. Auf die Abhängigkeit der Wasserentnahme aus der Mosel vom Wasserstand des Rheins an ihrer Mündung wurde bereits hingewiesen.

Die an der Elbe erbaute Staustufe Geesthacht dient in gleicher Weise der Schiffahrt und Pumpspeicherung [2, 6, 13]. Sie hat den Zweck, einerseits die stromauf fortschreitende Erosion und Wasserspiegelabsenkung im Tidebereich aufzuhalten und damit die Schiffahrtsverhältnisse auf der Unter- und Oberelbe zu verbessern, andererseits das Unterbecken für das 4 km stromauf errichtete Pumpspeicherkraftwerk zu bilden. Auf den Bau eines Laufkraftwerks wurde verzichtet, so daß die Stauhaltung bis zu einem Abfluß von 1200 m³/s, von dem ab die Wehrverschlüsse vollständig gelegt sind, ausschließlich nach den Forderungen der Pumpspeicherung bewirtschaftet werden kann. Unterhalb des Wehres läßt sich der Wasserentzug beim Pumpenbetrieb im jetzigen Ausbauzustand kaum erkennen, weil die Absenkung von den zahlreichen Einflüssen der Tidewasserstände überlagert wird. Nach den Modellversuchen für den Vollausbau mit 4 Pumpen wird der Wasserstand 600 m unterhalb bei einem Abfluß von 135 m³/s (etwa niedrigstes Niedrigwasser) um 16 cm, bei einem Abfluß von 177 m³/s und gleichzeitigem Tidenniedrigwasser um 24 cm abgesenkt. Wenn während längerer Zeiten bei extrem niedrigen Abflüssen die Auswirkungen des Pumpbetriebs mit dem Tideniedrigwasser zusammentreffen, ergeben sich Schwierigkeiten für die Schiffahrt auf einer Strecke von 12 km unterhalb des Wehres. Treten dann gleichzeitig auch noch Winde aus Ost-Richtung auf, muß die Schiffahrt Wartezeiten in Kauf nehmen.

5. Bauliche Gestaltung des Verbindungsbauwerks

Um die Auswirkungen auf das vertretbare Maß abzumindern, sind neben betrieblichen Einschränkungen bauliche Maßnahmen im Unterbecken erforderlich. Diese konzentrieren sich im wesentlichen auf den Bereich der Wasserstraße, an dem die Rückgabe oder Entnahme des Betriebswassers stattfindet. Für die bauliche Gestaltung dieser Kontaktstelle

ist im allgemeinen der Turbinenzufluß maßgebend, weil er wegen der kürzeren Dauer des Erzeugungsbetriebs größer ist als die Pumpenförderung, und weil die von ihm ausgelösten zusätzlichen Strömungen nach der Fahrrinne gerichtet sind.

5.1. Lage zur Stauhaltung

Die Maschinengruppen eines Pumpspeicherwerks, dessen Unterbecken in einer Stauhaltung liegt, haben wegen der relativ geringen Wasserspiegelschwankungen in der Regel liegende Wellen, während die von Talsperren gebildeten tiefen Stauräume stehende Maschinensätze mit unten angeordneten Pumpen erfordern (1). Das Krafthaus kann entweder in offener Bauweise unmittelbar entlang dem Ufer der Wasserstraße errichtet oder in entsprechender Entfernung von dieser als unterirdische Kaverne bzw. Hochbau ausgebildet werden. Hiernach richtet sich die bauliche Gestaltung der Rückgabe- und Entnahmeeinrichtungen an der Stauhaltung. Im Gegensatz zur Anordnung am Ufer benötigt das davon entfernt angeordnete Krafthaus einen Verbindungskanal zur Stauhaltung.

In beiden Fällen ist die Lage der Rückgabe- und Entnahmestelle so zu wählen, daß eine Verlandung durch Geschiebe möglichst nicht eintritt. Dies ist an der Außenseite einer Krümmung der Fall, wo die Feststoffracht von Natur aus klein ist und der an der Sohle verlaufende Geschiebetransport zum Innenufer abgelenkt wird. Beim Turbinenbetrieb werden die Verhältnisse hinsichtlich einer Ablagerung noch günstiger, beim Pumpenbetrieb aber kritischer, weil dabei Feststoffe angesaugt werden können.

Modellversuche für die Moselstauhaltung Fankel haben gezeigt, daß die von der Entnahmeströmung erfaßte Feststoffmenge mit zunehmendem Abfluß abnimmt. Bei dem an der Donau geplanten Pumpspeicherwerk Jochenstein-Riedl wird damit gerechnet, daß jährlich 100 000 m³ Schwebstoffe in das Oberbecken gepumpt werden, von denen die Hälfte bei Turbinenbetrieb wieder abfließen dürfte.

5.2. Unmittelbare Verbindung mit der Stauhaltung

Um die Geschwindigkeit, mit der das abgearbeitete Turbinenwasser in die Stauhaltung einströmt, möglichst gering zu halten, ist ein entsprechend großer Querschnitt des Einleitungsbauwerks erforderlich, d. h. im Hinblick auf die Höhenbegrenzung eine möglichst große Durchflußbreite. Bei einem unmittelbar am Ufer der Stauhaltung liegenden Speicherkraftwerk herkömmlicher Bauart, bei dem die Saugschläuche der Turbinen diesen Querschnitt bestimmen, sind der Breitenausdehnung durch die danebenliegenden Pumpeneinläufe Grenzen gesetzt. Pumpenturbinen sind in dieser Beziehung günstiger.

Um die Einströmgeschwindigkeit noch mehr zu reduzieren, können je nach den örtlichen Gegebenheiten folgende bauliche Maßnahmen der Energieumwandlung oder Strömungsablenkung von Nutzen sein (17):

— Geschlossener gerader Sperrkörper parallel zum Fluß unmittelbar hinter jedem Turbinensaugschlauch (Prallwand, Strahlablenker)

— Gekrümmte geschlossene Leitwände, senkrecht zum Krafthaus beginnend und in einem spitzen Winkel zum Fluß am Rand der Fahrrinne endend

— Geschlitzte gerade Spundwand parallel zum Fluß zwischen Krafthaus und Rand der Fahrwasserrinne (Schlitzwand)

— Gerade Sohlschwelle parallel zum Fluß zwischen Krafthaus und Rand der Fahrrinne.

Selbstverständlich ist auch die kombinierte Anwendung einzelner dieser Maßnahmen möglich. Bei dem auf 140 m³/s Turbinenwassereinleitung ausgelegten Krafthaus W a l d s h u t, das in Abb. 12 a dargestellt ist, wurde z. B. ein Sperrkörper in Form eines Strahlablenkers nur für den Turbinen-Leerschuß verwendet (1).

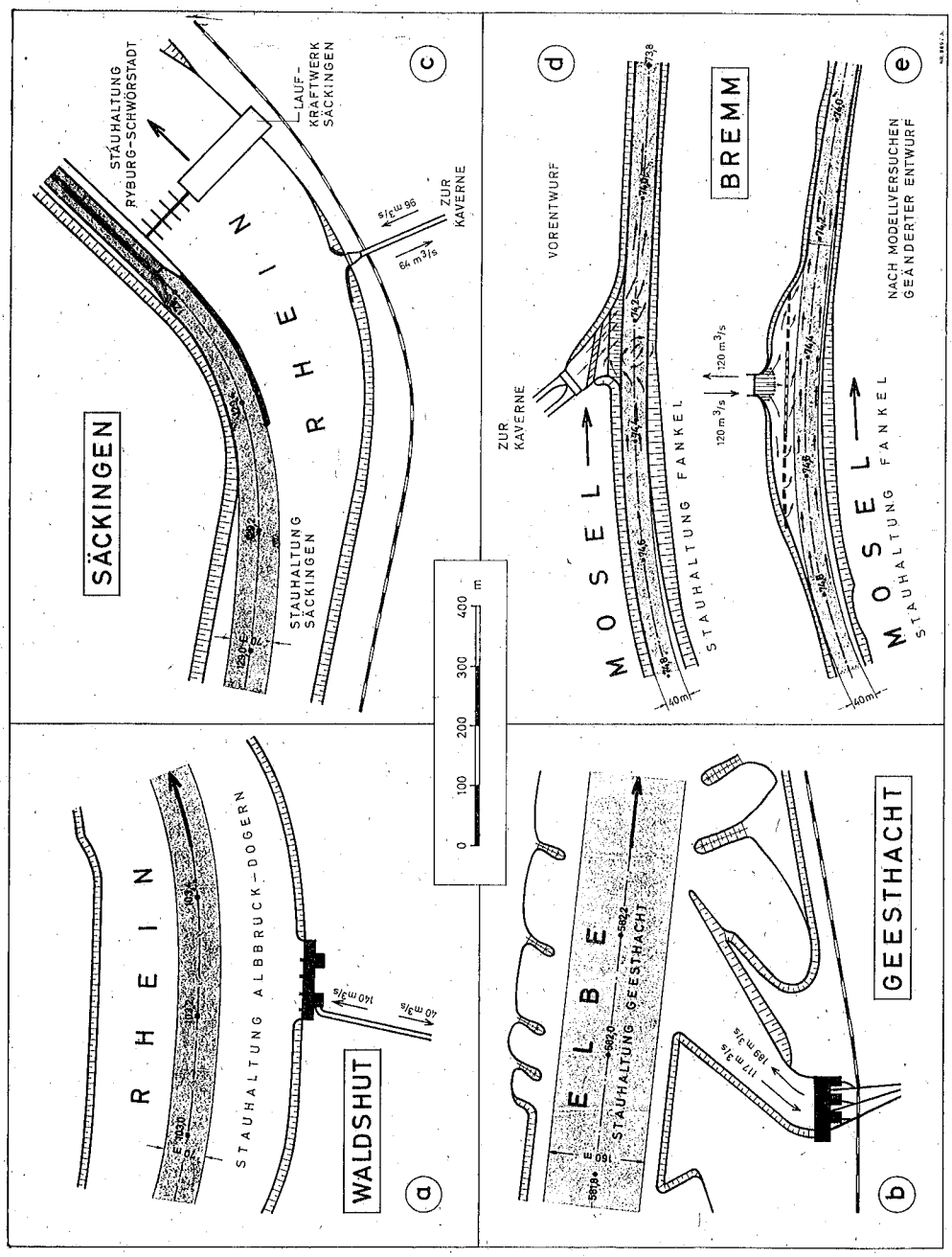


Abb. 12: Möglichkeiten der Anordnung des Verbindungsbauwerks zwischen Stauhaltung und Pumpspeicherkraftwerk

Am Krafthaus Geesthacht, bei dem die Strömungsgeschwindigkeiten an den Turbinenausläufen maximal bis zu 6 m/s betragen, erlaubte die Vorlandbreite der Elbe die Anordnung von zwei unterstrom ablenkenden Leitwänden (Abb. 12 b), von denen die konkave auch als Prallwand wirkt (2). Der bereits erwähnte Vollausbau auf 397 m³/s Turbinenzufluß erfordert nach den Modellversuchen zusätzlich die Anordnung einer Sohlschwelle längs der Hochwasserbegrenzungslinie sowie einer dritten Leitwand in der Mitte zwischen den beiden äußeren.

5.3. Verbindungskanal zur Stauhaltung

Das seitlich einer Stauhaltung angeordnete Krafthaus eines Pumpspeicherwerks benötigt, um diese als Unterbecken benutzen zu können, eine Stollen- bzw. Kanalverbindung zum Rückgabe- und Entnahmebauwerk. Im Gegensatz zur ufernahen Krafthausanordnung, bei der Rückgabe und Entnahme jeder Maschinengruppe voneinander getrennt liegen, fließen hier die beiden Ströme aller Maschinen durch den gleichen Querschnitt. Die Gestaltung des Verbindungsbauwerks wird dadurch wesentlich beeinflußt. Hinsichtlich seines Standorts am Ufer besteht der Vorteil einer gewissen Freizügigkeit, so daß die Wahl der am wenigsten durch Verlandung gefährdeten Stelle erleichtert wird.

Bei der in 5.2 behandelten Krafthauslage entlang dem Ufer liegt die Strömungsrichtung bei der Rückgabe zwangsläufig senkrecht zur Wasserstraße, so daß eine Umlenkung — wie im Falle Geesthacht — erst mit Hilfe von gekrümmten Leitwänden im Fluß erreicht werden kann. Ein Verbindungskanal gestattet dagegen jede beliebige Lage zur Achse der Fahrrinne zwischen senkrecht und tangential. Jede Schräglage des Verbindungskanals hat besonders in schmäleren Flüssen den Nachteil, daß bei Pumpenbetrieb eine Umlenkung des Entnahmestroms um mehr als 90° erfolgt, durch die sich im Fluß eine stark drehende Walze bildet. Bei breiten Strömen wie Elbe und Donau ist diese Erscheinung für die Schiffahrt weniger von Bedeutung.

Bei der Krafthauskaverne Säckingen mit 96 m³/s Turbinenwasserzufluß ist das am oberen Ende des Stollens in der Stauhaltung zutagetretende Verbindungsbauwerk senkrecht zur Achse des Hochrheins angeordnet worden (Abb. 12 c). Für das Kavernenkrafthaus Jochenstein-Riedl ist zwischen einem kleinen Ausgleichsbecken und der Donau-Stauhaltung ein im Modell näher zu untersuchendes offenes Gerinne geplant, das den Turbinenwasserstrom von maximal 250 m³/s tangential in die Donau leitet.

Die Modellversuche für das Kavernenkrafthaus des unteren Pumpspeicherwerks Bremm mit der Moselhaltung Fankel als Unterbecken haben in bezug auf die Lage des Verbindungsbauwerks zum Flußlauf besonders interessante Ergebnisse erbracht [15]. Der Vorentwurf der Planung sah aus wirtschaftlichen Gründen eine sehr konzentrierte Anordnung und geringe Längenentwicklung des Bauwerks mit schräger Einmündung vor. Bei den Versuchen mit dieser ersten Bauwerksform ergaben sich vor allem zu starke, für die Schiffahrt nicht annehmbare Querströmungen (Abb. 12 d). Mit Hilfe eines aerodynamischen Modells wurde daraufhin eine zweite, stärker aufgegliederte Bauform entwickelt und diese dann ebenfalls an einem Wassermodell getestet. Sie besteht aus einem senkrecht zum Fluß gerichteten Verbindungskanal, der in eine in das Vorland eingeschnittene, etwa 40 m breite und 600 m lange Verteilerbucht mündet, die zum Fluß hin durch eine Trennwand begrenzt wird. Diese ist in der Mitte als Tauchwand ausgebildet und an den Flanken so unterbrochen, daß die Lücken mit zunehmendem Abstand von der Bauwerksmitte größer werden. Die Versuche zeigten, daß die Strömungsverhältnisse für die Schiffahrt annehmbar sind, nicht aber die Wasserspiegeländerungen bei den ursprünglich vorgesehenen Turbinenzuflüssen von 214 m³/s. Da die baulichen Maßnahmen allein nicht genügten, wurden betriebliche Einschränkungen in der bereits erwähnten Weise vorgenommen, daß man die Durchflüsse der Turbinen und Pumpen auf 120 m³/s

herabsetzte. Die Bauform wurde beibehalten, während die Abmessungen des Bauwerks im Verhältnis des reduzierten Zuflusses verkleinert wurden. Mit dieser dritten Bauform ergaben die Modellversuche schließlich für die Schiffahrt in jeder Beziehung zumutbare Fahrwasserverhältnisse (Abb. 12 e).

6. Projektierungsperspektiven für Pumpspeicherung an Wasserstraßen

6.1. Wasserstraßen mit Laufkraftwerken

Die nachträgliche Einbindung von Pumpspeicherkraftwerken in gleichzeitig von Laufkraftwerken genutzte Wasserstraßen, von der bei den bisherigen bundesdeutschen Projekten mit Ausnahme von Geesthacht ausgegangen werden mußte, hat gezeigt, daß neben umfangreichen wasserbaulichen Sicherheitsmaßnahmen für die Schiffahrt unter Umständen schwerwiegende betriebliche Einschränkungen von seiten der Energiewirtschaft erforderlich sind. Bei der Beurteilung der Gesamtwirtschaftlichkeit eines solchen Vorhabens muß daher auch geprüft werden, ob die Aufwendungen für die Realisierung der bautechnischen Auflagen unter dem Gesichtspunkt der Häufigkeit des Auftretens der für die Schiffahrt kritischen Abflußzustände gerechtfertigt sind.

Ist die Energiewirtschaft aber bereit, durch Investitionen und betriebliche Einschränkungen Schwierigkeiten für das Transportsystem Wasserstraße/Schiffahrt abzubauen, dann sollte die Wassersverkehrswirtschaft bereit sein, zumutbare und vertretbare Einwirkungen auf den Schiffahrtsbetrieb unterhalb der Grenze der Beeinträchtigung der Sicherheit des Verkehrs zu akzeptieren. Das beiderseitige Entgegenkommen mit dem Ziel einer Kostensenkung könnte durch eine Reihe von Maßnahmen, von denen im folgenden nur einige angedeutet werden, wesentlich gefördert werden.

In erster Linie scheint es notwendig, die in 4.2 behandelten verschiedenen Richtwerte über Wasserspiegeländerungen und Strömungsgeschwindigkeiten unter Zugrundelegung des Strukturwandels der Binnenschiffahrtsflotte einer eingehenden wissenschaftlichen Untersuchung zu unterziehen und deren Ergebnisse in der Praxis zu erproben. Hierfür stehen in der Bundesrepublik Deutschland eine Reihe von fachspezifisch geeigneten Versuchsanstalten zur Verfügung. Eine Lockerung der bisherigen Sicherheitsbedingungen würde die Bewirtschaftung des gleichzeitig als Wasserstraße und Laufkraftoberwasser genutzten Unterbeckens erleichtern und damit seine energiewirtschaftliche Effizienz steigern.

Als Folge davon wären andererseits zusätzliche Sicherheitsvorkehrungen für den fahrenden und ruhenden Verkehr zu treffen ,die relativ geringe Aufwendungen erfordern. Der Schiffsführer darf beim Einfahren in eine als Unterbecken dienende Stauhaltung nicht unvorbereitet schwierige Fahrwasserbedingungen vorfinden. Deshalb könnten Signalanlagen, Fahrrinnenmarkierungen und sichtbare Angaben über steigende oder fallende Tendenz der Wasserstände infolge des Pumpspeicherbetriebs als zusätzliche Navigationshilfen dem erweiterten Sicherheitsbedürfnis entsprechen. Eine Gefährdung des von den Auswirkungen der Pumpspeicherung noch mehr betroffenen ruhenden Schiffsverkehrs könnte dadurch vermieden werden, daß die Liegeplätze senkrechte Ufereinfassungen erhalten und zusätzlich mit Schwimmpollern ausgerüstet werden. Aus der Tatsache, daß der beabsichtigten Einrichtung der Nachtschiffahrt und der Kontinuefahrt, die beeinträchtigt werden könnten, Grenzen gesetzt sind (14), sollte die Energiewirtschaft die Folgerung ziehen, die im Winter verkürzte Lieferzeit von nachts anfallendem Pumpstrom und die Wochenenden zu einer noch stärkeren Wasserentnahme aus der Stauhaltung auszunutzen. Erforderlichenfalls wäre das Unterbecken dann auch von anlegenden Schiffen freizuhalten.

Unabhängig von den dargelegten Möglichkeiten zur Verbesserung der kombinierten Nutzung einer Wasserstraße darf man nicht außer acht lassen, daß die Tendenz des weiterwachsenden Energieverbrauchs anhalten wird, daß sich aber an den verfügbaren Wassermengen einer vorgegebenen Stauhaltungsstrecke nichts ändern kann. Man wird also davon ausgehen müssen, daß die Bedeutung dieser für eine andere Art der Wasserkraftgewinnung programmierten Wasserstraßen als Unterbecken von Pumpspeicherwerken abnehmen wird, insbesondere soweit es sich um kleinere hydrologische Systeme handelt.

6.2. Ausweichlösungen

Im Zuge des steigenden Leistungsbedarfs an elektrischer Energie wird künftig in Kauf genommen werden müssen, daß die Stauhaltungen der Wasserstraßen mit Laufkraftwerken nur noch teilweise oder überhaupt nicht als Unterbecken mitbenutzt und dafür seitlich vom Fluß oder in Seitentälern zusätzliche geräumigere Unterbecken angelegt werden. Diese erhöhen zwar die Anlagekosten des Pumpspeicherwerks, haben aber den Vorteil, daß der Pumpspeicherbetrieb den Verkehr auf der Wasserstraße wenig oder überhaupt nicht beeinflußt. Eine derartige Tendenz ist vor allem deshalb bedauerlich, weil damit eine Beteiligung der Energiewirtschaft an der Verbesserung der Schiffahrtsverhältnisse im Rahmen einer wasserwirtschaftlichen Mehrzweckanlage immer problematischer wird. Die Abwanderung der Unterbecken aus den Flußwasserstraßen wird nicht aufzuhalten sein, solange diese nicht auch den Bedürfnissen der Pumpspeicherung weitgehend angepaßt werden. Als typische Beispiele für Ausweichlösungen dieser Art seien Planungen an der Mosel und am Main genannt.

Das bereits behandelte Unterwerk des Pumpspeicherwerks B r e m m mit der Mosel-Stauhaltung Fankel als Unterbecken fördert nicht nur die für seine Eigenerzeugung (140 MW) erforderliche Pendelwassermenge, sondern versorgt auch das darüberliegende Hauptwerk mit einem Arbeitsinhalt von 50 Vollaststunden bei einer maximalen Leistung von 1390 MW (11). Dieses Langzeitpumpspeicherwerk hat ein Oberbecken von 125 Mio m³ Nutzinhalt, ein Speichervolumen, für das man an einer mitteleuropäischen Wasserstraße mit Laufkraftwerken wohl kein adäquates Unterbecken herstellen kann. Das Zwischenbecken, daß dem Unterbecken als Oberbecken dient, faßt 30 Mio m³. Mit dem zwar von der Mosel gespeisten, aber den Schiffsverkehr nicht unmittelbar beeinflussenden Hauptwerk wird es möglich sein, den Forderungen nach größerer Leistung und größerem Arbeitsinhalt des Speicherbeckens zu entsprechen.

Für das am Main geplante Pumpspeicherwerk M i l t e n b e r g , das eine Leistung von 750 MW während 4,5 Stunden Vollast erbringen soll, kann das dafür erforderliche Unterbecken mit 4,5 Mio m³ Nutzinhalt ebenfalls nur seitlich vom Fluß, aber noch innerhalb des Hochwasserabflußquerschnitts errichtet werden. Die Füllung und Nachfüllung dieses Beckens erfolgt mit Main-Wasser. Seine Form, Lage und Gestaltung müssen auf den Hochwasserabfluß Rücksicht nehmen, nicht aber auf die Schiffahrt (16).

Am Main bei L a n g e n p r o z e l t e n wurde mit dem Bau eines Pumpspeicherwerks begonnen, das als Unterbecken ein vom Fluß völlig unabhängiges Nebental benutzt. Es sind zwei Ausbaustufen mit zwei aufeinanderfolgenden Unterbecken von 1,4 und 4,8 Mio m³ Nutzinhalt vorgesehen. Die in 4,5 Stunden mögliche Leistung beläuft sich auf 150/225 bzw. 750 MW. Das Kraftwerk und seine beiden Unterbecken haben mit der Wassterstraße Europakanal keine Berührung. Die erste Ausbaustufe ist ihr nur wirtschaftlich verbunden, weil die Erträge aus der Pumpspeicherung der Wasserstraßen-Finanzierung dienen (16).

6.3. Wasserstraßen ohne Laufkraftwerke

Nachdem die Möglichkeiten für den Bau weiterer Laufkraftwerke in der Bundesrepublik Deutschland teils erschöpft sind, teils aus wirtschaftlichen Gründen nicht mehr wahr-

genommen werden, ergibt sich die Notwendigkeit, die Stufenpläne für den kombinierten Ausbau und Umbau von Wasserstraßen unter dem Gesichtspunkt der Pumpspeicherung neu zu überdenken (17). Dies gilt nicht nur für die wenigen bisher noch nicht ausgebauten Flüsse. Auch die Haltungen von Schiffahrtskanälen, soweit sie hügeliges Gelände durchqueren, sollten in die Untersuchung einbezogen werden. Erst recht kann eine diesbezügliche Neuplanung bei den vorhandenen Wasserstraßen mit Stauregelung erfolgversprechend sein, bei denen die Frage der Erneuerung ihrer Laufkraftmaschinen ansteht oder eine Zusammenfassung mehrerer kleiner Stauhaltungen in eine einzige größere Haltung aus anderen Gründen vorgesehen ist. Allerdings sind die dafür in Betracht kommenden Möglichkeiten in der Bundesrepublik Deutschland begrenzt.

Das neue Planungskonzept einer auf Schiffahrt und Pumpspeicherung allein abgestellten Stauregelung könnte von einer Stufeneinteilung ausgehen, die unter Wahrung der Schiffahrtsinteressen an wenig besiedelten Talausweitungen besonders große Stauhaltungen vorsieht, welche die Forderungen der Energiewirtschaft nach größeren Unterbecken optimal erfüllen, und bei welchen der für die Sicherheit des Schiffsverkehrs notwendige Abflußausgleich jederzeit möglich ist. Zwar wird der Bedarf an kurzzeitig, d. h. an 4 bis 6 Stunden einsetzbarer Spitzenleistung durch den Zuwachs der im Bau befindlichen, nicht mit Wasserstraßen verbundenen Pumpspeicherkapazitäten für absehbare Zeit in ausreichendem Umfang gedeckt sein. Eine in die Zukunft gerichtete Planung umweltfreundlicher Stromerzeuger sollte aber doch an einigen dafür geeigneten Stromstrecken mit der Projektierung von das Unterbecken sparenden leistungsstarken Pumpspeicherwerken auf der Basis einer modifizierten, auf ihre Bedürfnisse zugeschnittenen Stauregelung beginnen, da die Kombination mit der Schiffahrt eine hervorragende multifunktionale Nutzung mit entsprechender Kostenzuordnung darstellt.

Wenn man bedenkt, in welchem Umfang die hydroelektrische Leistungsausbeute einer bisher von vielen Laufkraftwerken genützten Wasserstraße durch künftig ganz wenige sie mitbenutzende Pumpspeicherkraftwerke in der Größenordnung von 700 MW nicht nur vervielfacht, sondern auch veredelt werden kann, so dürfte die wirtschaftliche Bedeutung der neuen Konzeption für die beiden Wasserwirtschaftszweige Schiffahrt und Wasserkraft außer Zweifel stehen. Das Pumpspeicherkraftwerk Säckingen, das größte bestehende Werk mit einer Unterbecken-Stauhaltung, entspricht mit seiner Leistung von 360 MW derjenigen von 6 Laufkraftwerken am Hochrhein. Mit allen 12 Hochrheinkraftwerken zusammen könnte etwa gerade die bei Neubauten anzustrebende Leistung eines einzigen Pumpspeicherkraftwerks erreicht werden. Die 70 Laufkraftwerke an Rhein, Main, Donau und Mosel mit zusammen 1280 MW sind nicht einmal in der Lage, die Leistung der beiden an Mosel und Donau geplanten 700-MW-Pumpspeicherwerke zu erbringen (siehe Tabelle in Abb. 7). Dabei ist die unterschiedliche Bewertung der inkonstanten Laufenergie gegenüber der jederzeit verfügbaren Spitzenenergie noch nicht berücksichtigt.

Der erste Schritt in Richtung einer Stauregelung ohne Laufkraftwerke nur für die Zwecke von Schiffahrt und hydraulischer Spitzenstromerzeugung wurde an der Elbe unternommen. Die Staustufe Geesthacht ist im übrigen auch die einzige, von der in der Bundesrepublik Deutschland bisher praktische Erfahrungen über das Zusammenspiel dieser beiden Nutzungen vorliegen. Nach übereinstimmenden Äußerungen der Schiffahrtsverwaltung und des Energieunternehmens sind nach mehr als 13jährigem Betrieb dieses Pumpspeicherwerks Beeinträchtigungen der Schiffahrt nicht bekanntgeworden. Allein schon diese Feststellung sollte den Wasserstraßenbau dazu ermutigen, die Nahtstelle Pumpspeicherwerk — Wasserstraße unter neuen Gesichtspunkten zu festigen.

Schrifttumsverzeichnis

[1] BASSLER, F.: Die Schluchseekraftwerke Häusern, Witznau und Waldshut. Schweiz. Techn. Zeitschrift (1954) Heft 29/30

[2] BRANDENBURG, C.: Der Bau des Pumpspeicherkraftwerks Geesthacht. Die Bautechnik (1956) Heft 9

[3] BÖHLER, K.: Strom aus der Mosel für den Verbund. Zeitschrift RWE-Verbund (1960) Heft 29

[4] BASSLER, F.: Entwicklungstendenzen der Stauregelung an Rhein und Rhone. Die Wasserwirtschaft (1961) Heft 8

[5] PFISTERER, E.: Wasserkraftanlagen im Südschwarzwald und am Hochrhein. Die Wasserwirtschaft (1963) Heft 5

[6] KRAUSE, M./REUTER, F.: Die Staustufe Geesthacht, Entwurf und Ausführung. Die Wasserwirtschaft (1963) Heft 4, 7, 9, 10 und 11

[7] LENSSEN, G.: Development of the Moselle for navigation and power. 8. Internat. Kongreß für Große Talsperren 1964, Bericht C. 3

[8] PRESS, H.: Talsperren, Wasserkraft- und Pumpspeicherwerke in der Bundesrepublik Deutschland. Verlag W. Ernst & Sohn Berlin 1967

[9] FUCHS, H.: Flußbau und Wasserkraftbau. Aus Baubericht 1968 der Rhein-Main-Donau AG München

[10] PFISTERER, E./KUHLMANN, K. H.: Operating the Säckingen underground pumped-storage station. Water Power Nov. 1970

[11] GROSSHEIMANN, K. J.: Das Langzeitpumpspeicherwerk Bremm/Mittelmosel. Studie der Moselkraftwerke GmbH Andernach, April 1971

[12] MÜLLER, J.: Auswirkungen eines Unterbeckens für Pumpspeicherung auf die Wasserwirtschaft. Mitt. des Instituts für Wasserbau und Wasserwirtschaft der Techn. Hochschule Darmstadt (1971) Heft 7

[13] ROHDE, H.: Eine Studie über die Entwicklung der Elbe als Schiffahrtsstraße. Mitt. des Franzius-Instituts der Technischen Universität Hannover (1971) Heft 36

[14] RÜMELIN, B.: Neue Perspektiven der Wasserstraßenpolitik in der Bundesrepublik Deutschland. Zeitschrift für Binnenschiffahrt und Wasserstraßen (1972) Heft 1

[15] STAUDER, H./GEHRIG, W.: Modelluntersuchungen für das Pumpspeicherwerk Bremm/Mosel. Bericht der Bundesanstalt für Wasserbau Karlsruhe (1972, nicht veröffentlicht)

[16] FUCHS, H./BAUER, L.: Pumpspeicherwerke am Europakanal Rhein-Main-Donau. Österr. Wasserwirtschaft (1972) Heft 7

[17] BASSLER, F.: Economic integration of pumped storage plants in navigable waterways. United Nations ECE-Symposium on hydroelectric pumped storage schemes Athens/Greece (November 1972), Report Group A.

Abteilung I — Binnenschiffahrt

Thema 4

Erzielte Fortschritte in der Vorhersage des Abflusses und insbesondere von Niedrigwasser und Hochwasser. Maßnahmen zur Verbesserung des Niedrigwasser-Abflusses und zur Verringerung des Hochwasser-Abflusses

von

Dipl.-Ing. Walter Bensing, Regierungsbaudirektor, Wasser- und Schiffahrtsdirektion Freiburg; Dr.-Ing. Heinz Graewe, Präsident, Wasser- und Schiffahrtsdirektion Freiburg; Dipl.-Ing. Wolfgang Kelber, Regierungsbaurat, Wasser- und Schiffahrtsdirektion Freiburg; Dipl.-Phys. Hermann G. Mendel, Regierungsrat, Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz.

Zusammenfassung

Die Notwendigkeit einer mehrtägigen Niedrigwasservorhersage besteht im schiffbaren Rheingebiet, insbesondere für den Abschnitt Bingen—St. Goar, also für den Pegel Kaub, wo sich der Rhein in vielen Windungen durch das Rheinische Schiefergebirge genagt hat. Die Verwendung der linearen mehrfachen Regression hat sich dabei als brauchbares Verfahren erwiesen; die Vorhersage bis 78 Stunden kann als gut, bis etwa 5 Tage als ausreichend bezeichnet werden. Hauptnutznießer sind die Schiffahrt (optimale Ausnutzung des Kahnraumes), aber auch die Wasserkraftnutzer. Grundvoraussetzung für brauchbare Ergebnisse ist die sorgfältige Auswahl der Ausgangsstationen sowie der zu untersuchenden Abflußereignisse. Die Regressionskoeffizienten können mit Hilfe gebräuchlicher und an allen größeren Rechenzentren vorliegender Computerprogramme bestimmt werden. Ausgangsdaten und Regressionskoeffizienten liefern über die Regressionsgleichung die Vorhersagegrößen. Ein einfacher Tischrechner ist dafür ausreichend. Die Vorhersagen können nach Durchgabe der 7.00-Uhr-Niederschlagsmessungen erfolgen, liegen also am frühen Vormittag vor.

Zweck und Ziele und die technischen Möglichkeiten einer Verbesserung des Niedrigwasserabflusses schiffbarer Flüsse im Interesse der Schiffahrt, der Krafterzeugung, der Wasserqualität und der Wassertemperatur sowie der Sicherstellung von Verbrauchs- und Gebrauchswasser werden geschildert. Eine Anwendung der beschriebenen Möglichkeiten, vor allem im Schiffahrtsinteresse, wird seit langem an der Weser mit Hilfe der Edertalsperre praktiziert. Bei den Planungen für den Neckar und den Rhein spielt eine künftige Bodenseeregulierung eine entscheidende Rolle.

Weiter werden Zwecke und Ziele einer Verringerung des Hochwasserabflusses aus der Sicht der verschiedenen Wassernutzungen dargelegt, wobei gleichzeitig auf die gegenseitige Beeinflussung von Wassernutzung und Hochwasser eingegangen wird. Die verschiedenen möglichen Maßnahmen zur Verringerung des Hochwasserabflusses werden behandelt unter Hinweis auf die Verhältnisse am Rhein, wo zur Zeit eingehende Untersuchungen mit diesem Ziel im Gange sind. Auf Notwendigkeit und die Möglichkeiten einer Koordinierung verschiedener Retentionsmaßnahmen wird eingegangen.

Inhalt

Seite

1. Niedrigwasservorhersage für den Rhein nach der Multiregressionsanalyse 90

1.1. Problemstellung 90

1.11. Die Situation der Rheinschiffahrt bei Niedrigwasser 90

1.12. Die hydrologischen Regime im Flußgebiet des Rheins oberhalb von Kaub (Abb. 1) 90

1.2. Verfahren zur Abflußvorhersage 92

1.3. Grundlagen der Multiregressionsanalyse 92

1.4. Hydrologische Gesichtspunkte bei der Anwendung der Multiregresssionsanalyse zur Niedrigwasservorhersage am Pegel Kaub 93

1.5. Auswahl der Daten und der Variablen 93

1.6. Ergebnisse der Rechnung 94

1.7. Beurteilung der Genauigkeit 95

2. Maßnahmen zur Verbesserung des Niedrigwasserabflusses 97

2.1. Zweck und Ziele einer Verbesserung des Niedrigwasserabflusses 97

2.11. Schiffahrtsinteresse 97

2.12. Kraftwerksinteresse 97

2.13. Verbesserung der Wasserqualität 97

2.14. Verhinderung unzulässiger Erwärmung durch Kühlwassereinleitungen 98

2.15. Sicherstellung von Verbrauchs- und Gebrauchswasser 98

2.16. Koordinierung verschiedener Interessen 98

2.2. Möglichkeiten der Verbesserung des Niedrigwasserabflusses 99

2.21. Schaffung künstlicher Speicherbecken im Einzugsgebiet 99

2.22. Regulierung natürlicher Seen 99

2.23. Überleitung von Wasser aus anderen Einzugsgebieten 99

2.24. Wasserabgabe aus staugeregelten Flußstrecken 100

2.25. Mehrzweckprojekte 100

2.3. Beispiele 100

2.31. Weser 100

2.32. Neckar 100

2.33. Rhein 100

3. Maßnahmen zur Verringerung des Hochwasserabflusses 104

3.1. Zweck und Ziele einer Verringerung des Hochwasserabflusses 104

3.11. Schiffahrtsinteresse 104

3.12. Kraftwerksinteresse 105

4.13. Wasserqualität 106

3.14. Verbrauchs- sowie Gebrauchswasser 106

3.2. Möglichkeiten von Maßnahmen zur Verringerung des Hochwasserabflusses, Hinweise auf den Rhein als Beispiel 106

Seite

3.21. Natürliche Seen 107
3.22. Regulierte Seen 107
3.23. Künstliche Seen 107
3.24. Flußstrecken mit Stauregelung 108
3.3. Die Koordinierung verschiedener Maßnahmen durch den Betrieb der Stauregelung am Oberlauf bei sehr großem Hochwasser 110
3.31. Notwendigkeit der Koordinierung 110
3.32. Möglichkeiten der Koordinierung 110
3.33. Probleme bei der Einführung des Kippbetriebes und ihre Lösungsmöglichkeiten 112
3.34. Weitere Voraussetzungen für die Koordinierung verschiedener Maßnahmen durch Kippbetrieb 113

1. Niedrigwasservorhersage für den Rhein nach der Multiregressionsanalyse

1.1. Problemstellung

1.11. Die Situation der Rheinschiffahrt bei Niedrigwasser

Von der gesamten schiffbaren Strecke Rotterdam–Basel stellt der Abschnitt zwischen Bingen und St. Goar bei Niedrigwasser den eigentlichen Engpaß dar. Hier hat sich der Strom während der Hebung des Rheinischen Schiefergebirges tief eingeschnitten und so einen engen gewundenen Lauf mit felsiger Sohle und zahlreichen Untiefen geschaffen. Es leuchtet daher ein, für eine Niedrigwasservorhersage den Bezugspegel (Richtpegel) Kaub zu wählen, der bei km 550 mitten in dieser Einbruchstelle liegt und für den langjährige zuverlässige Abflußregistrierungen vorliegen.

Während eine Hochwasservorhersage für die Schiffahrtsstraßen im deutschen Rheingebiet nach dem Verfahren der Pegelbezugslinien von den Wasser- und Schiffahrtsdirektionen herausgegeben wird, ist die Schiffahrt in Perioden mit Niedrigwasserführung auf sich selbst gestellt; und zwar steht den Mitgliedern des Vereins zur Wahrung der Rheinschiffahrtsinteressen eine vergleichsweise grobe, lediglich auf Erfahrungswerten beruhende Vorhersage zur Verfügung. Die folgende Abschätzung mag einen Eindruck davon geben, daß mit einer präzisen Vorhersage eine günstigere Abladung der Schiffe und folglich auch eine erhebliche Kostenersparnis verbunden ist.

1. 600 beladene Schiffe/Tag (3-Tagesfahrt Emmerich–Mannheim)
2. 50 Tage Schiffahrtsbeschränkung im Jahr durch Niedrigwasser
3. 5 cm Verbesserung der Vorhersage durch ein mathematisches Modell
4. Frachtsatz: 5 DM/t und Tag

Folgerung: 1 cm Tiefgang/Tonne bedeuten 200 000 t zusätzliche Transportleistung/Jahr und cm, also 1 Mio t/Jahr, was einem Gewinn von

5 Mio DM/Jahr

entspricht.

1.12. Die hydrologischen Regime im Flußgebiet des Rheins oberhalb Kaub (Abb. 1)

Den Haupteinfluß auf die Menge und Verteilung der Niederschläge üben die vertikale Gliederung und der vielgestaltige Gebirgsbau aus: Im Süden, etwa bis zum Pegel Basel

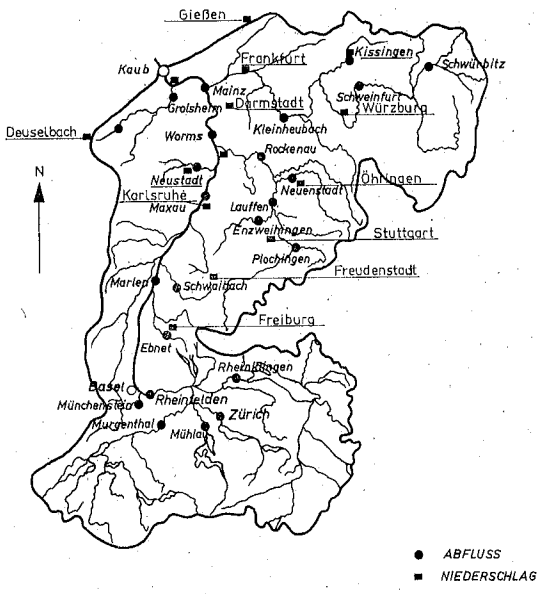


Abb. 1: Das Einzugsgebiet des Rheins oberhalb Kaub mit den verwendeten Niederschlags- und Abflußstellen. 1 : 3 Mio.

(34,550 km²), die Alpen und das Alpenvorland, von Basel bis Kaub (103 729 km²) in Flachlandzonen eingebettetes Mittelgebirge. Entsprechend fällt der mittlere Jahresniederschlag recht unterschiedlich aus; er beträgt im Mittellandgebiet von Neckar und Main ca. 600 mm und steigt in den Alpenrandgebieten auf über 2000 mm.

Der Abfluß des Rheines zeigt bis Basel typischen Hochgebirgscharakter mit geringem Abfluß im Herbst und Winter und großem Abfluß im Sommer (Niederschläge + Schneeschmelze). Obwohl das Einzugsgebiet nur ca. 1/3 des Gesamtniederschlagsgebietes bis Kaub ausmacht, führt der Rhein bis Basel im Jahresdurchschnitt bereits 65 % des Abflusses bei Kaub. Die im Alpengebiet liegenden Stauanlagen und Seen wirken zusammen mit dem Bodensee besonders bei Hochwasser ausgleichend auf den Abfluß.

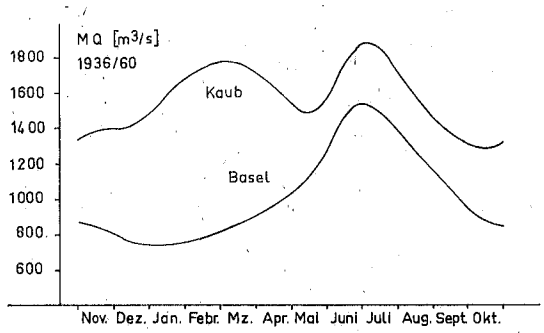


Abb. 2: Die mittleren Monatsabflüsse der Jahresreihe 1936/60 für den Rhein bei Basel und Kaub

Durch den Zutritt der Mittelgebirgsflüsse (aus dem Schwarzwald kommende Nebenflüsse, Neckar, Main und Nahe), die den größten Abfluß im Winter und Frühjahr, den geringsten Abfluß im Sommer und Herbst aufweisen, verändert sich das Abflußverhalten des Rheins. Die jahreszeitliche Verteilung und die Größenordnung der Abflüsse der einzelnen Teilgebiete geht aus Abb. 2 hervor. Das Zusammenwirken von Hochgebirgsabflüssen und Mittelgebirgsabflüssen bringt dem Rhein bei Kaub einen ausgeglichenen Abfluß. Das Verhältnis des Abflusses bei NNW zu dem bei HHW beträgt etwa 1 : 14. Die niedrigsten Abflüsse ereignen sich im jährlichen Rhythmus meist in den Herbstmonaten. Anschwellungen im Niedrigwasserbereich werden überwiegend von den Mittelgebirgsflüssen verursacht.

1.2. Verfahren zur Abflußvorhersage

Während man sich bis in die ersten Jahrzehnte dieses Jahrhunderts bei der hydrologischen Prognose mit empirischen Faustformeln zufriedengab, oder gar auf die meist richtige, aber wenig informative Gleichung

vermehrter Niederschlag gleich vermehrter Abfluß

zurückgriff, so wurde in neuerer Zeit eine Vielzahl von mathematischen Verfahren entwickelt, die die Ausgangsdaten wie Niederschlag und Kenntwerte des Einzugsgebietes in einen quantitativen Zusammenhang mit dem Abfluß am Vorhersagepegel bringen. Grundsätzlich unterscheidet man dabei die sog. deterministischen Verfahren (parametrische Hydrologie), die den Weg des Wassers nach physikalischen Gesetzmäßigkeiten im Boden und im Gerinne verfolgen (z. B. flood routing und unit hydrograph), und die statistischen Verfahren (probabilistische und stochastische Hydrologie). Dabei werden die Zusammenhänge zwischen mehreren Variablen mit Hilfe der mathematischen Statistik beschrieben, ohne auf irgendwelche Kausalitätsbeziehungen zu achten. Zur Gruppe dieser Verfahren zählt auch die hier angewandte Multiregressionsanalyse (mehrfache lineare Regression).

1.3. Grundlagen der Multiregressionsanalyse

Die einfachste Regressionsgleichung

$$Y = a \cdot X \tag{1}$$

sagt aus, daß zwischen der unabhängigen Variablen X und der abhängigen Variablen Y ein linearer Zusammenhang besteht. Ist Y von mehreren Variablen X_1, X_2 ..... X_n linear abhängig (multiple lineare Regression), so ist (1) sinngemäß zu erweitern:

$$Y = a_0 + a_1X_1 + a_2X_2 + ... + a_n X_n \tag{2}$$

Die a_0, a_1, ..., a_n sind dabei Regressionskoeffizienten, die aus vorliegenden Meßreihen, hier also aus zurückliegenden Abflußereignissen, etwa nach der Methode der kleinsten Quadrate, zu bestimmen sind. Dieses Rechenschema zählt heute zu den gebräuchlichsten Methoden der angewandten Mathematik [2], es darf daher als bekannt vorausgesetzt werden. Dasselbe gilt für die Prüfung der Güte der Regression, z. B. über den Korrelationskoeffizienten k oder die Standardabweichung s. Diese ist definiert als Quadratwurzel der Varianz

$$s^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^{n} (y_i - \bar{y})^2 \tag{3}$$

mit

n = Anzahl der Fälle = Freiheitsgrad + 1

y_i = Werte der Beobachtungsreihe

$\bar{y}$ = Mittelwert der y_i

s ist ein Maß für die Streuung der Einzelwerte um ihr Mittel. Aus Tabellen läßt sich die Güte der Anpassung ablesen; der Zusammenhang gilt bei einer vorgegebenen Sicherheitswahrscheinlichkeit (meist 95 %) als gesichert, wenn die berechnete Streuung den Tabellenwert nicht überschreitet. Parameter ist dabei der Freiheitsgrad.

Zur Bestimmung der Regressionskoeffizienten stehen getestete Computerprogramme zur Verfügung. Im vorliegenden Fall wurde das FORTRAN Bibliotheksprogramm BMD 02 R des DRZ in Darmstadt benutzt, das in [3] veröffentlicht ist. Kennt man die Regressionskoeffizienten, so läßt sich die abhängige Variable Y in (2) nach Vorgabe der unabhängigen Variablen X_1 ($i = 1, 2, \ldots, n$) per Hand oder mit einem kleinen Tischrechner bestimmen. Daraus erkennt man, daß das Verfahren der Multiregressionsanalyse in der Hydrologie sehr leicht und schnell anzuwenden ist und nicht, wie das bei den bekannten deterministischen Verfahren der Fall ist, den Einsatz einer elektronischen Großrechenanlage benötigt.

1.4. Hydrologische Gesichtspunkte bei der Anwendung der Multiregressionsanalyse zur Niedrigwasservorhersage am Pegel Kaub

Das Einzugsgebiet des Rheins wird als stochastisches System behandelt. Abhängige Variable (Vorhersagegröße) im Sinne der Gleichung (2) ist der Abfluß Kaub, unabhängige Variablen (Ausgangsvariablen) sind in erster Linie Abflüsse (jeweils Tagesmittel), aber auch Abflußänderungen, Niederschläge, Bodenfeuchtewerte, Grundwasserstände und Beschaffenheit der Schneedecke an ausgewählten Stellen im Einzugsgebiet (s. Abb. 1). Die Wahl dieser Meßstellen ist abhängig von der Vorhersagezeit; sie soll z. B. bei Verwendung von Abflüssen in erster Linie mit der mittleren Fließzeit bis zum Vorhersagepegel übereinstimmen; da aber ein längerer Abschnitt der Ganglinie vorherzusagen ist, wird man auch Pegel mit kürzerer und längerer Fließzeit heranziehen. Andererseits wird die Anzahl der Meßstellen und der Variablen durch das Computerprogramm bei vorgegebener Genauigkeitsforderung bestimmt. So hat sich gezeigt, daß für die in die Herbstmonate September und Oktober fallenden und mit Abladebeschränkungen für die Schiffahrt verbundenen Niedrigwasserperioden Abflüsse (und damit Abflußänderungen) und Niederschläge die dominierenden Variablen sind, wohingegen die anderen Größen keine wesentliche Steigerung der Vorhersagegenauigkeit bringen. Darüber hinaus ist gerade von stochastischen Vorhersageverfahren bekannt, daß sie bereits mit wenigen Parametern brauchbare Ergebnisse liefern, daß aber darüber hinaus eine Verbesserung nur mit erheblicher Steigerung der Eingabegrößen und damit des Rechenaufwandes verbunden ist. Das gilt zwar weit mehr für die Hochwasser- als für die Niedrigwasservorhersage, eine Beschränkung ist aber auch hier notwendig.

1.5. Auswahl der Daten und der Variablen

Zur Bestimmung der Regressionskoeffizienten $a_0, a_1, \ldots, a_n$ in (2) wurden aus der Jahresreihe 1947 bis 1966 die Tage mit einem mittleren Tagesabfluß von weniger als 1600 m³/s ausgewählt (Beschränkung der Abladetiefe bei weniger als 220 cm Wasserstand).

Die zu ermittelnden Regressionsbeziehungen sollen das durchschnittliche Abflußverhalten, das auch in der Zukunft erwartet wird, für den untersuchten Abflußbereich und für die ausgewählten Monate ausdrücken. Die gewählten Ausgangsdaten müssen daher das Durchschnittsverhalten repräsentieren. Um das Durchschnittsverhalten zu erfassen, müssen möglichst viele Fälle einbezogen werden. In den Monaten September und Oktober dieser Jahre wird der Abfluß 1600 m³/s am Pegel Kaub an 965 Tagen, d. h. an 79 % aller Tage, unterschritten.

Für diese Zeit wurden nach den genannten Gesichtspunkten die Tageswerte von 25 Abflußmeßstellen, 14 Niederschlags- und 3 Grundwassermeßstellen in die Rechnung einbezogen; gleichzeitig damit sind auch die Abflußtendenz(-änderung) und die Bodenfeuchtigkeit an den genannten Pegeln bzw. Niederschlagsstationen festgelegt. Letztere läßt sich leicht in einer vereinfachten Form des bekannten Ante Precipitation Index (API) angeben:

$$API = k \cdot N_{-1} + k^2 \cdot N_{-2} + \ldots + k^n \cdot N_{-n} \qquad (4)$$

wobei $k \approx 0{,}9$ ist und $N_{-1}, N_{-2}, \ldots$ die Niederschläge an 1, 2, ... Tagen vor dem Vorhersagezeitpunkt bedeuten.

1.6. Ergebnisse der Rechnung

Die folgende Tabelle 1 enthält als Ergebnis der Rechnung die Regressionskoeffizienten und die Variablen der Regressionsgleichung (2) für die 1-, 2-, 3-, 4- und 5tägige Niedrigwasservorhersage am Pegel Kaub. In Tabelle 2 sind die im Computerprogramm benutzten Bezeichnungen erläutert; die Variablennamen gehen damit aus Abb. 1 hervor. Beispiel:

Der Abfluß am Pegel Kaub für den Vorhersagezeitraum T = 3 Tage ist

$$\begin{aligned} Q_{T_3} = &-1{,}092 + 0{,}594 \cdot \text{QKAUBO} + 0{,}235 \cdot \text{QRHEIN} + 0{,}147 \cdot \text{QMAXAU} + \\ &+ 0{,}766 \cdot \text{QKISSI} + 0{,}188 \cdot \text{QSCHWA} + 4{,}409 \cdot \text{NKARLS} + \\ &+ 4{,}128 \cdot \text{NKISSI} + 2{,}670 \cdot \text{NGEISE} + 1{,}373 \cdot \text{QLAUFF} + \\ &+ 0{,}322 \cdot \text{CRHEIN} + 0{,}199 \cdot \text{CSCHWA} + 0{,}122 \cdot \text{AEBNET} + \\ &+ 0{,}099 \cdot \text{DSCHWU} + 0{,}374 \cdot \text{DZUERI} - 0{,}689 \cdot \text{SKISSI} \end{aligned}$$

Tabelle 1: Regressionskoeffizienten und Variablen der Gleichung (2)

i	T = 1 Tag		T = 2 Tage		T = 3 Tage		T = 4 Tage		T = 5 Tage	
	a_1	x_1	a_1	x_1	a_1	x_1	a_1	x_1	a_1	x_1
1	0,797	QKAUBO	0,711	QKAUBO	0,594	QKAUBO	0,454	QRHEIN	0,944	QMAXAU
2	0,122	QMAXAU	0,266	QMAXAU	0,235	QRHEIN	0,581	QMAXAU	1,345	QKISSI
3	0,072	QMAINZ	0,281	QKISSI	0,147	QMAXAU	1,204	QKISSI	0,526	QSCHWA
4	0,203	QSCHWE	0,100	QSCHWA	0,766	QKISSI	0,585	QSCHWA	4,242	NFREUD
5	0,554	NKARLS	2,487	NKARLS	0,188	QSCHWA	4,022	NSTUTT	4,023	NSTUTT
6	1,134	NFRANK	1,379	NFRANK	4,409	NKARLS	6,785	NKARLS	6,647	NKARLS
7	0,556	QLAUFF	1,658	NGIESS	4,128	NKISSI	3,751	NKISSI	3,602	NGIESS
8	−0,140	AMAXAU	0,849	QLAUFF	2,670	NGEISE	0,624	QKLEIN	0,696	QKLEIN
9	0,268	AWORMS	0,228	BMAXAU	1,373	QLAUFF	1,628	QLAUFF	−0,355	AMAXAU
10	−1,050	AKISSI	0,219	CRHEIN	0,322	CRHEIN	−1,086	QZUERI	−0,598	AWORMS
11	0,247	BMAXAU	0,252	AOBERS	0,199	CSCHWA	−0,294	AMAXAU	−0,194	CMAXAU
12	0,536	BKISSI	0,644	BLAUFF	0,122	AEBNET	−0,611	AWORMS	0,624	CSCHWA
13	0,088	AGROLS	0,034	CEBNET	0,099	DSCHWU	0,147	AEBNET	1,337	DMUEHL
14	0,271	AOBERS	0,097	DSCHWU	0,374	DZUERI	0,496	DMUEHL	1,292	DZUERI
15	0,480	AKLEIN	−0,152	SFREUD	−0,689	SKISSI	1,174	DZUERI	−0,525	SFREUD
a_0 =	−1,966	—	6,246	—	−1,092	—	10,845	—	11,282	—

Tabelle 2: Bedeutung der in Tab. 1 benutzten Variablennamen

Bezeichnung	Bedeutung
Q	Abfluß m^3/s
A	Abflußänderung gegenüber Vortag
B	Abflußänderung gegenüber vor 2 Tagen
C	Abflußänderung gegenüber vor 3 Tagen
D	Abflußänderung gegenüber vor 4 Tagen
N	Tagesniederschlag mm
U	Niederschlagssumme der verg. 3 Tage
V	Niederschlagssumme der verg. 5 Tage
W	Niederschlagssumme der verg. 7 Tage
S	N + U + V
M	S + W
NS	Niederschlagsindex (= großflächiger Gebietsniederschlag)

1.7. Beurteilung der Genauigkeit

Das durch (2) und (2 a) beschriebene durchschnittliche Abflußverfahren läßt infolge seines statistischen Aufbaus Abweichungen nach beiden Richtungen hin zu. Die Häufigkeitsverteilung dieser Abweichungen (Abb. 3) wird mit zunehmender Vorhersagezeit flacher, die Genauigkeit also erwartungsgemäß geringer. Als Kriterium für die Zuverlässigkeit der Aussage (2) sei das Streuungsverhältnis, eine Größe, die der Varianz (3) entspricht, über der Vorhersagezeit aufgetragen (Abb. 4). Man kann nach Erfahrungswerten damit die Vorhersage bis 78 Stunden als gut, bis etwa 5 Tage als ausreichend bezeichnen. Die tabellarische Darstellung (Tab. 3) läßt eine konkretere Aussage zu; z. B. liegen bei einer (nachträglichen) 3-Tages-Vorhersage 96 % aller Fälle im Bereich ±10 cm Wasserstandsdifferenz, oder: bei einer Sicherheitswahrscheinlichkeit von 95 % ist hier die Genauigkeitsgrenze ±9 cm.

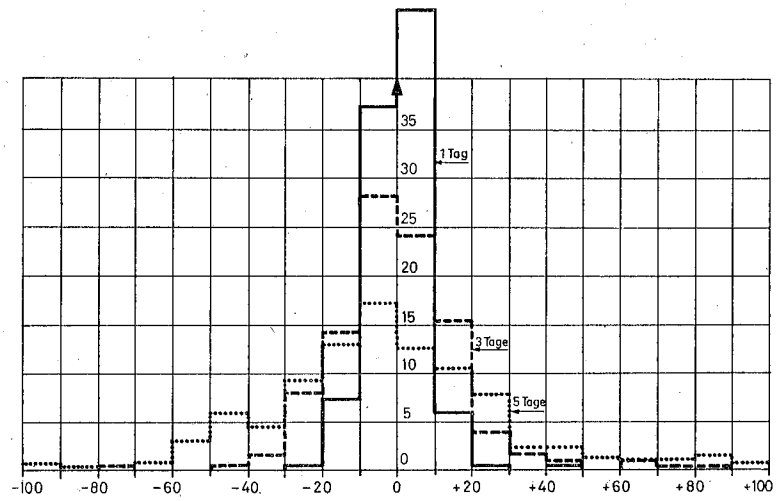


Abb. 3: Die Häufigkeitsverteilung der Abweichungen in %

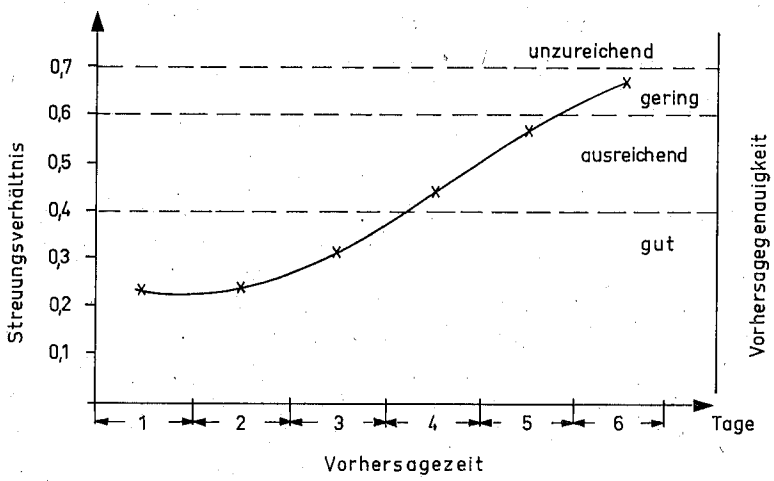


Abb. 4: Zur Vorhersagegenauigkeit

Tabelle 3:

Vorhersagezeit in Tagen	W ± 5 cm [%]	W ± 10 cm [%]	A 95 % [± cm]
1	99	99,9	3
2	95	99	5
3	83	96	9
4	65	85	15
5	50	75	21
6	42	65	26

Für die Schiffahrt gefährlich sind vor allem negative Abweichungen, bei denen der tatsächliche Abfluß kleiner ist als der Vorhersagewert. Wird die Abladetiefe nach dem Vorhersagewert ohne Sicherheitszuschlag festgelegt, kann ein Leichtern notwendig werden. Ein um einige Zentimeter zu niedrig vorhergesagter Wasserstand dagegen bedeutet keine Gefahr, er verringert nur den wirtschaftlichen Gewinn.

Die Genauigkeitsgrenzen verringern sich in diesem Fall um einige Zentimeter.

Eine wesentliche Steigerung der Vorhersagegenauigkeit wird zunächst in einer besseren Beurteilung der Bodenfeuchtigkit zum Vorhersagezeitpunkt zu erwarten sein. Es ist naheliegend die einfachen Ausdrücke für die Niederschlagssummen der Vorhersage durch den erprobten API zu ersetzen. Darüber hinaus hat sich bei einer Vorhersage von mehr als 2 Tagen das Fehlen einer quantitativen Niederschlagsvorhersage als die dominierende Fehlerquelle herausgestellt. Bei der nach demselben Verfahren erstellten Kurzfristprognose für den Pegel Rheinfelden, die von der ETH Zürich herausgegeben wird [4], ist eine 6tätige quantitative Niederschlagsvorhersage eingebaut; hier muß jedoch das anders geartete hydrologische Regime während der Wintermonate berücksichtigt werden, auch liegen die Akzente bei der Hochwasservorhersage.

Im Gegensatz dazu ist eine Steigerung der Genauigkeit durch Erhöhung des Meßstellennetzes durch Übergang zu nichtlinearen Ansätzen in (2) nicht zu erwarten. Auch werden andere Variablenkombinationen nicht zu wesentlich besseren Ergebnissen führen.

2. Maßnahmen zur Verbesserung des Niedrigwasserabflusses

2.1. Zweck und Ziele einer Verbesserung des Niedrigwasserabschlusses

2.11. Schiffahrtsinteresse

Bei schiffbaren Flüssen kann eine Verbesserung des Niedrigwasserabflusses in erster Linie der Schiffahrt dienen, die im Falle freifließender Flüsse in Niedrigwasserzeiten unter geringen Fahrwassertiefen zu leiden hat. Die Fahrwassertiefen bestimmen die maximalen Abladetiefen der Schiffe, so daß in Zeiten geringer Wasserführung Abladebeschränkungen eine Herabsetzung des Ausnutzungsgrades größerer Schiffe zur Folge haben. Es ist selbstverständlich, daß aus Wirtschaftlichkeitsgründen die Größe der Schiffe und ihre maximalen Tauchtiefen nicht durch die ungünstigsten Abflußverhältnisse innerhalb einer bestimmten Zeitperiode begrenzt werden können. Daher müssen die auf einem natürlichen Gewässer verkehrenden Regelschiffe mehr oder weniger einschneidende Beschränkungen der Abladetiefen bei niedrigen Pegelständen in Kauf nehmen. Die Folgen sind ein zahlenmäßig größerer Einsatz von Schiffseinheiten, um nach Möglichkeit das anfallende Verkehrsaufkommen bewältigen zu können, und eine Erhöhung der Frachtsätze durch Kleinwasserzuschläge, wie es auf dem Rhein bei einem Pegelstand in Kaub unter 150 cm üblich ist. Es kann daher durchaus im volkswirtschaftlichen Interesse liegen, wenn in Zeiten niedriger Wasserführung die Fahrwassertiefen durch geeignete Maßnahmen verbessert werden, soweit dies mit wirtschaftlich vertretbaren Mitteln zu erreichen ist.

Aber nicht nur in freifließenden, sondern auch in staugeregelten Flüssen kann eine Verbesserung des Niedrigwasserabflusses erforderlich werden, wenn zeitweise das Schleusungswasser nicht mehr in ausreichender Menge zur Verfügung steht. Natürlich wird man bei Inangriffnahme der Arbeiten zur Stauregelung sich Gedanken über die Sicherstellung des Schleusenbetriebswassers gemacht haben. Es ist jedoch denkbar, daß durch eine Erhöhung des ursprünglich eingeplanten Verkehrsaufkommens die zu den Schleusungen benötigten Wassermengen den Niedrigwasserabfluß übersteigen. Hier dient dann eine Abflußanreicherung nicht zur Verbesserung der Abladeverhältnisse, sondern zur Gewährleistung des Schleusenbetriebes und damit der erforderlichen Wasserspiegellagen in den Stauhaltungen.

2.12. Kraftwerksinteresse

Bei staugeregelten Flüssen, die mit Hilfe von Wasserkraftwerken der Stromerzeugung nutzbar gemacht worden sind, wäre eine ausgeglichene Wasserführung von der Größenordnung der Ausbauwassermengen der Kraftwerke wünschenswert. Abflüsse, die die Ausbauwassermengen überschreiten, können nicht genutzt werden, es sei denn, sie können weitgehend oberhalb der Kraftwerkskette gespeichert und zu Zeiten geringen natürlichen Abflusses eingesetzt und der Verbesserung der Energiererzeugung dienstbar gemacht werden. Eine sinnvolle Speicherbewirtschaftung, auch in Verbindung mit Pumpspeicherbetrieb, kann zu einem Optimum der Energieerzeugung führen. Bei einem für die Schleusungen jederzeit ausreichenden Wasserdargebot ist jedoch ein gleichzeitiges Interesse der Schiffahrt an einer Verbesserung des Niedrigwasserabflusses nicht vorhanden.

2.13. Verbesserung der Wasserqualität

Der Gütezustand des Wassers von Flüssen, die Vorfluter dichtbesiedelter und hochindustrialisierter Gebiete sind, bereitet den zuständigen Behörden wachsende Sorge; er ist u. a. unter den vielschichtigen Aspekten des Umweltschutzes zu beurteilen. Da sich Industrien, die einen großen Wasserbedarf sicherstellen müssen, bevorzugt an Wasser-

straßen mit ihrem relativ großen Wasserdargebot anzusiedeln pflegen, ist das Problem der Reinhaltung zwar nicht auf Wasserstraßen beschränkt, aber hier doch besonders vordringlich zu lösen. Dasselbe gilt für die Ballungsgebiete menschlicher Siedlungen, die zumeist mit Industriezentren gekoppelt sind. Viele Großstädte entwickelten sich auf Grund ihrer verkehrsgünstigen Lage an Wasserstraßen, die infolgedessen Gefahr laufen, sowohl durch häusliche als auch durch industrielle Abwässer verstärkt belastet zu werden. Wenn auch die Forderung gestellt weden muß, daß der Belastungsgrad eines Wasserlaufes der niedrigsten Wasserführung angepaßt werden sollte, so ist doch unter Berücksichtigung der Entwicklung nach dem 2. Weltkrieg die Frage berechtigt, inwieweit der Gütezustand eines durch Abwässer stark belasteten Flusses durch Niedrigwasseranreicherung verbessert werden kann. Auch die Schiffahrt kann aus dieser Sicht an einer Erhöhung des Niedrigwasserabflusses interessiert sein, wenn nämlich durch Abwassereinleitungen bedingte Schlammablagerungen die Sicherheit und Leichtigkeit des Schiffsverkehrs behindern.

2.14. Verhinderung unzulässiger Erwärmung durch Kühlwassereinleitungen

Das Einleiten des Kühlwassers von Wärmekraftwerken, die sich wegen ihres hohen Kühlwasserbedarfs bevorzugt an großen Wasserstraßen niederlassen, bewirkt eine Erwärmung des Flußwassers. Die Aufheizung des Flußwassers ist in Niedrigwasserzeiten besonders wirksam. Auf die dadurch bedingte negative Beeinflussung des Sauerstoffhaushaltes und ihre Folgen auf die Biologie des Flusses soll hier nicht eingegangen werden. Im Interesse der Schiffahrt muß jedoch die Gefahr einer verstärkten Nebelbildung durch Kühlwassereinleitungen und einer Begünstigung von Schlammablagerungen durch Erhöhung der Wassertemperatur möglichst gering gehalten werden. Auch ein Wasserverlust durch erhöhte Verdunstung kann bei in Niedrigwasserzeiten wasserarmen Flüssen eine Rolle spielen. Ebenso müssen die Beeinflussung der klimatischen Verhältnisse und die Gewährleistung der einwandfreien Aufbereitung von Trinkwasser berücksichtigt werden. Eine Verbesserung der Niedrigwasserführung könnte die aufgezeigten Gefahren ermäßigen.

2.15. Sicherstellung von Verbrauchs- und Gebrauchswasser

Ein erheblicher Teil des Wasserbedarfs für Industrie, Landwirtschaft und Gemeinden wird unmittelbar oder mittelbar aus Flüssen gedeckt. Der Wasserverbrauch ist in Trockenzeiten oft am größten, so daß die Gefahr besteht, daß in Niedrigwasserzeiten der Gesamtbedarf nicht gedeckt werden kann. Dies gilt besonders bei einem großen Anteil des Wasserbedarfs an Verbrauchswasser, das dem Fluß in Form von Abwasser nicht wieder zugeführt wird. Eine Niedrigwasseraufbesserung könnte Abhilfe schaffen. Auch kann die Landwirtschaft in Trockenzeiten an einer Anreicherung der Grundwasserstände durch Erhöhung der Wasserstände im Vorfluter interessiert sein.

2.16. Koordinierung verschiedener Interessen

Es muß festgestellt werden, daß eine Niedrigwasseraufbesserung günstigstenfalls gleichzeitig allen vorstehend geschilderten Interessen dienen kann; in diesem Fall würde ein Optimum an Wirtschaftlichkeit der zu treffenden Maßnahmen erreicht werden. Eine Nutzen-Kosten-Analyse würde die notwendigen Aufschlüsse geben; sie würde sicherlich am günstigsten ausfallen, wenn nur ein einziges Interesse geltend gemacht werden könnte, was nicht ausschließt, daß die Analyse auch dann zu einem positiven Ergebnis führt.

2.2. *Möglichkeiten der Verbesserung des Niedrigwasserabflusses*

2.21. Schaffung künstlicher Speicherbecken im Einzugsgebiet

Die Möglichkeit, einen Fluß im Interesse der Schiffahrt durch Regulierung oder Stauregelung auszubauen, soll hier außer Betracht bleiben, weil sie das Thema nicht berührt, das ausdrücklich von einer Verbesserung des Abflusses spricht. Es soll jedoch bei der weiteren Betrachtung das Schiffahrtsinteresse herausgestellt werden, da eine Abflußverbesserung für die Schiffahrt auch den anderen Interessen mehr oder weniger zwangsläufig zugute kommen kann.

Eine Mittelwasser- oder Niedrigwasserregulierung eines schiffbaren Flusses kann ergänzt werden durch Anlage von Speicherbecken an Nebenflüssen oder im Oberlauf des Flusses selbst, die in Hochwasserzeiten gefüllt werden und in Zeiten geringen Abflusses mit Abladebeschränkungen für die Schiffahrt Zuschußwasser abgeben, um der Schiffahrt größere Tauchtiefen zu ermöglichen. Die Größe des nutzbaren Speicherraumes ist eine Wirtschaftlichkeitsfrage im Zusammenhang mit dem erzielbaren Gesamteffekt einer besseren Ausnutzung der Schiffsgefäße, wobei auch die Wirkung der Speicher zur Hochwasserrückhaltung in die Rechnung einbezogen werden muß. Eine Wirtschaftlichkeit der Anlage von Speichern allein zum Zwecke der Niedrigwasseraufbesserung für die Schiffahrt dürfte kaum nachweisbar, allenfalls bei starker Verkehrsbelastung der Wasserstraße erreichbar sein. Die Baukosten der Speicher sind nicht nur eine Funktion des erforderlichen Speicherraumes, sondern auch der geographischen und morphologischen Gegebenheiten. Die Wirkung der Zuschußwasserabgabe hängt von der Länge des zu bezuschussenden Abschnittes des Wasserlaufes und von seiner Bettgestaltung ab.

2.22. Regulierung natürlicher Seen

Mit der Regulierung natürlicher Seen im Einzugsgebiet des zu verbessernden Wasserlaufes kann ein ähnlicher Effekt erzielt werden wie bei der Anlage künstlicher Speicherbecken, jedoch muß hierbei auf die verschiedensten Interessen und Belange der Seeanlieger, vielleicht auch auf eine Seenschiffahrt, Rücksicht genommen werden. Einerseits muß eine Seeregulierung die Gefahr der Überschwemmung der Seeufer bannen, andererseits ist eine Absenkung des Seewasserspiegels nicht unbegrenzt möglich. Der Spielraum zwischen den wünschenswerten höchsten und niedrigsten Seewasserständen ist im Vergleich zu künstlichen Becken zumeist sehr begrenzt, was nicht besagt, daß damit der nutzbare Speicherraum in jedem Falle begrenzt sein muß; bei genügend großer Oberfläche des Sees bedeuten nämlich wenige cm Wasserspiegeldifferenz ein erhebliches zu bewirtschaftendes Wasservolumen.

Die Bewirtschaftung einer bestimmten Wassermenge zwischen festgelegten oberen und unteren Grenzen ist am einfachsten und am besten kontrollierbar mittels eines Regulierbauwerkes am Seeausfluß zu erreichen. Dieses Bauwerk kann ein Wehr mit beweglichen Verschlüssen sein, dessen bauliche Gestaltung den Belangen des Natur- und Heimatschutzes weitgehend Rechnung tragen muß. Es ist anzunehmen, daß unter bestimmten Voraussetzungen die Anlage eines solchen Wehres allein zum Zwecke der Fahrwasserverbesserung bei Niedrigwasser in einem unterhalb anschließenden Flußlauf wirtschaftlich vertretbar sein kann.

2.23. Überleitung von Wasser aus anderen Einzugsgebieten

Künstliche Speicher und natürliche Seen können auch zur Wasserabgabe an Flüsse fremder Einzugsgebiete herangezogen werden. Eine solche Abgabe ergibt sich oft zwangsläufig beim Ausbau verzweigter Wasserkraftsysteme in Gebirgsregionen, wo erhöhter Nutzen durch Zuleitung von Wasser aus fremden Einzugsgebieten erzielt wird. Eine

solche Wasseranreicherung kommt oft den Unterliegern und auch der Schiffahrt zugute. Andererseits kann ein Entzug von Wasser aus dem Einzugsgebiet eines schiffbaren Gewässers oder auch aus dem Flusse selbst der Schiffahrt in Niedrigwasserzeiten hinderlich sein.

Die Sicherstellung ausreichender Wasserzufuhr im Zuge der Schiffbarmachung oder des Ausbaues eines Flusses für den Verkehr mit größeren Schiffsgefäßen beschäftigt die Ingenieure besonders im Falle von Flüssen mit extrem niedriger Wasserführung in Niedrigwasserzeiten. Stehen im eigenen Einzugsgebiet keine ausreichenden Speichermöglichkeiten zur Verfügung oder könnten hier Speicher nur mit unwirtschaftlichem Kostenaufwand gebaut werden, so kommt die Überleitung von Wasser aus benachbarten Einzugsgebieten in Betracht. Dies kann im Zusammenhang mit Schiffahrtskanälen geschehen, die zwei Flüsse verbinden, es kann aber auch auf nichtschiffbare Zubringerleitungen zurückgegriffen werden. Die Wirtschaftlichkeit solcher Leitungen allein im Schiffahrtsinteresse dürfte zumeist zweifelhaft sein. Die Überleitung von Wasser wirft zudem schwerwiegende wasserwirtschaftliche, rechtliche und gegebenenfalls staats- und völkerrechtliche Probleme auf.

2.24. Wasserabgabe aus staugeregelten Flußstrecken

Zur Niedrigwasserverbesserung von freifließenden Flußstrecken kann auch daran gedacht werden, durch geeignete Bewirtschaftung von gegebenenfalls vorhandenen Stauhaltungen im Oberlauf des Flusses oder in Nebenflüssen eine Anreicherung des Niedrigwasserabflusses zu erreichen. Diese Methode kann naturgemäß nur beschränkte Wirkung haben, da der Umfang der zu bewirtschaftenden Stauraumvolumen verhältnismäßig gering ist. Es wäre denkbar, daß in Zeiten ausreichenden Abflusses ein Überstau in allen Stauhaltungen gehalten wird, der in Zeiten geringen Abflusses im Rahmen des Möglichen, auch im Hinblick auf die Schiffahrt, in einen Unterstau verwandelt wird. Wenn auch dieses Verfahren als selbständige Methode unzureichend bleiben muß, so kann es doch in Verbindung mit Abgabe aus Speichern und Seen zur vollen Wirksamkeit dieser Abgabe beitragen.

2.25. Mehrzweckprojekte

Die geschilderten Möglichkeiten zur Verbesserung des Niedrigwasserabflusses können im allgemeinen erst dann als wirtschaftlich vertretbar angenommen werden, wenn sie nicht nur der Schiffahrt, sondern weitestgehend auch den in Abschnitt 1 beschriebenen Interessen dienen. Darüber hinaus gehen Maßnahmen zur Abflußverbesserung bei Niedrigwasser und zum Hochwasserschutz oft Hand in Hand. Auch künstlich geschaffene Retentionsräume in Flußtälern können durch geeignete Bewirtschaftung der Niedrigwasseraufbesserung nutzbar gemacht werden, indem die zurückgehaltenen Wassermengen nicht unmittelbar nach Abfluß des Hochwassers abgegeben, sondern bis zu Niedrigwasserzeiten zurückgehalten werden. Unter dem Zwange optimaler Bewirtschaftung des kostbaren Wasserschatzes werden die relativ hohen Investitionen für die in Frage kommenden Maßnahmen nur gerechtfertigt sein, wenn diese als Mehrzweckprojekte geplant und ausgeführt werden und somit weitesten Kreisen der Bevölkerung unmttelbar oder mittelbar dienen.

2.3. Beispiele

2.31. Weser

Zu Anfang des Jahrhunderts wurde die Kanalisierung der Weser als Voraussetzung für eine Wasserentnahme aus diesem Fluß zur Speisung des Mittellandkanals angesehen. Als jedoch beschlossen wurde, den Ausbau des Mittellandkanals auf den westlichen

Abschnitt bis Hannover zu beschränken, zog Bremen seine Zusage, die Kosten für die Kanalisierung der Weser zwischen Minden und Bremen zu übernehmen, zurück. So kam es zum Bau von Talsperren an der Eder und an der Diemel, die den Speisungswasserbedarf für den Mittellandkanal sicherstellen sollten; die Weserkanalisierung wurde zunächst zurückgestellt. Diese beiden Talsperren sollten daneben sowohl dem Hochwasserschutz als auch der Energieerzeugung dienen. Ferner sollte mit Hilfe des Zuschußwassers aus den Talsperren die Niedrigwasserstände der Weser verbessert und für die Schiffahrt bestimmte Mindestfahrwassertiefen geschaffen werden. Der Edersee mit seinem 202hm³ nutzbaren Stauraum spielt auch heute noch für die Aufbesserung des Niedrigwassers der Weser bis Minden eine entscheidende Rolle, wenn auch die Wirkung der Bezuschussung nicht überschätzt werden darf, zumal der Schiffsverkehr auf der Oberweser relativ gering ist. Aber es ist doch wesentlich, feststellen zu können, daß die 1914 in Betrieb genommene Edertalsperre die älteste Talsperre in Deutschland ist, die der Beeinflussung der Wasserführung eines Flusses im Interesse der Schiffahrt dient.

Die Bezuschussung des Niedrigwasserabflusses der Weser aus dem Edersee wird auch heute noch mit Erfolg betrieben. Während bei einer Mittelwasserführung des Flusses von 106 m³/s bei Hann. Münden und von 170 m³/s bei Minden Fahrwassertiefen von 160 cm bzw. 200 cm möglich sind, kann in der Niedrigwasserperiode von April bis November die niedrigste Niedrigwasserführung 18 bzw. 34 m³/s erreichen, die nur noch eine Fahrwassertiefe von 60 bis 70 cm gewährleistet. In dieser Zeit mußte oft wochenlang die Fracht- und Personenschiffahrt zwischen Kassel und Minden stillgelegt werden. Durch kurzfristiges Abgeben von Zuschußwasser ist es möglich, die Schiffahrt durch Wellenfahrten aufrechtzuerhalten. Die Zuschußmengen richten sich im Rahmen der gegebenen Möglichkeiten nach den Bedürfnissen der Schiffahrt und nach der Wasserführung des Flusses. Auf die Schilderung von Einzelheiten kann verzichtet werden, da eine genaue Beschreibung unter Abteilung I, Mitteilung 2 des Internationalen Schifffahrtskongresses 1961 gegeben worden ist [5].

Die Edertalsperre dient zwar vornehmlich, aber nicht ausschließlich der Schiffahrt; sie ist daher als Mehrzweckanlage anzusehen.

2.32. Neckar

Die Kanalisierung des Neckars konnte im Jahre 1968 mit der Inbetriebnahme des Abschnittes Stuttgart—Plochingen fertiggestellt werden. Während das Reichsverkehrsministerium im Jahre 1928 mit einem jährlichen Verkehrsaufkommen von 2,5 bis 3,0 Millionen Tonnen gerechnet hatte, erreichte der Güterverkehr nach Einweihung des Hafens Stuttgart im Jahre 1960 bereits 12 Millionen Tonnen. Im Jahre 1970 wurde der bisherige Höchstverkehr von fast 14 Millionen Tonnen erzielt. Die Frage, ob am Neckar überall und jederzeit das erforderliche Schleusungswasser bereitgestellt werden kann, scheint daher berechtigt zu sein. Während jedoch trotz des hohen Verkehrsaufkommens die Sicherstellung des Betriebswassers unterhalb der Enzmündung nicht in Frage steht, könnten oberhalb Engpässe entstehen, zumal zu berücksichtigen ist, daß bei Plochingen ein NNQ von 3,7 m³/s gemessen wurde. Untersuchungen der Wasser- und Schiffahrtsdirektion Stuttgart haben jedoch gezeigt, daß zwar die Stauhaltung Untertürkheim unterhalb des Stuttgarter Hafens den stärksten Wasserbedarf oberhalb der Enzmündung aufzuweisen hat, daß jedoch die sehr kurze Haltung Eßlingen mit einer Länge von 850 m durch Wassermangel deswegen am stärksten gefährdet ist, weil oberhalb des Wehres Eßlingen der Hammer-Kanal abzweigt, der Triebwerke mit insgesamt 14,5 m³/s speisen muß. Der Wasserbedarf je Schleusung beträgt 7190 m³, der bei Verbundbetrieb auf 4314 m³ ermäßigt werden kann. Während der täglichen Betriebszeit von 14 Stunden sind 20 Doppelschleusungen möglich, die bei Verbundbetrieb einen mittleren Abfluß von

1,71 m³/s bewirken. Der natürliche Zufluß von 3,7 m³/s bei NNW reicht demnach für Schleusungen zwar aus, jedoch werden während der 8,2 Minuten dauernden Schleusenfüllzeit der Haltung 8,8 m³/s entzogen, wobei unliebsame, für die Schiffahrt aber erträgliche Spiegelsenkungen entstehen. Unter den geschilderten Voraussetzungen ist hier ein Güterverkehr von rd. 3,6 Millionen Tonnen im Jahr zu bewältigen, ein Verkehr, der in absehbarer Zeit auf dem Abschnitt Stuttgart—Plochingen nicht erreicht werden wird. Ein Bedarf an Zuschußwasser besteht nur, wenn bei geringen Wasserführungen das Speisungswasser für die Triebwerke im Hammer-Kanal in der vor Aufnahme der Großschiffahrt gewährleisteten Menge sichergestellt werden muß. Die Wasser- und Schiffahrtsdirektion Stuttgart hat für den mittleren Abfluß der Jahresreihe 1921 bis 1965 die hierfür benötigten Zuschußwassermengen in Abhängigheit vom Verkehrsaufkommen ermittelt. Sie betragen bei 2,0 Millionen Tonnen Güterverkehr 5,2 Millionen m³, bei 3,0 Millionen Tonnen 8,1 Millionen m³ für das mittlere Jahr. Der Bedarf in einem Trockenjahr, wie es das Jahr 1949 war, erhöht sich auf 9,6 bzw. 14,0 Millionen m³. Sollte der Verbundbetrieb an der Schleuse Eßlingen ausfallen, so würde der Bedarf um ²/₃ ansteigen.

Die ursprüngliche Planung, den bis Plochingen kanalisierten Neckar mit der Donau durch einen Schiffahrtskanal zu verbinden, ist inzwischen aufgegeben worden. Mit Hilfe dieses Kanals hätte eine Bezuschussung des Neckars durch Donauwasser sichergestellt werden können. Pläne, im Einzugsgebiet des Neckars ein oder mehrere Speicherbecken zu bauen, wurden wohl untersucht, bisher aber nicht verwirklicht.

Die Frage des Zuschußwassers für den Neckar ist allerdings keineswegs nur unter dem Aspekt der Schiffahrt oder der Kraftnutzung zu sehen. Eine Bezuschussung würde nicht nur den erwähnten Triebwerken im Hammer-Kanal, sondern letztlich allen Neckarkraftwerken zugute kommen. Weit wesentlichere Gesichtspunkte ergeben sich aus Forderungen der Wasserwirtschaft und des Umweltschutzes. So werden als biologisch notwendige Mindestwasserführung des Flusses 20 bis 25 m³/s genannt.

Der Gütezustand des Neckars, der ein hochindustrialisiertes Gebiet mit hoher Bevölkerungsdichte durchfließt, ist so schlecht, daß er auch im Hinblick auf die Sicherstellung von Gebrauchs- und Verbrauchswasser, insbesondere von Kühlwasser einer Aufbesserung bedarf. Es liegt daher nahe, im Einzugsgebiet des Flusses Speicherbecken zu bauen. Untersuchungen [6] haben ergeben, daß es möglich wäre, oberhalb Plochingens 7 Speicher mit einem Volumen von 200 Millionen m³ zu bauen, die vornehmlich der Aufhöhung der Niedrigwasserabflüsse dienen könnten. Da sich die niedrigsten Niedrigwasser zu den höchsten Hochwasserabflüssen bei Plochingen wie 1 : 230 (Donau bei Ulm 1 : 25) verhalten und das Einzugsgebiet relativ klein ist, könnten diese Speicher dem Hochwasserschutz nur beschränkt nutzbar gemacht werden.

Neue Pläne für eine Verbesserung der Niedrigwasserabflüsse des Neckars sind im Zusammenhang mit den Planungen für eine Regulierung des Bodensees entwickelt worden. So besteht die Möglichkeit, mittels eines Stollens, der den Bodensee mit dem Neckar verbindet, maximal 20—25 m³/s dem Bodensee zu entnehmen, sofern die Anliegerstaaten des Sees dieser Entnahme zustimmen und die Entnahme mit den Zielsetzungen einer Bodenseeregulierung in Einklang gebracht werden kann. Zu diesen Zielsetzungen gehört nämlich auch die Möglichkeit einer Niedrigwasseranreicherung des Rheins für die Schiffahrt unterhalb des kanalisierten Oberrheins. Es wird daher vor Abgabe von Bodenseewasser an den Neckar zu prüfen sein, ob eine Überleitung von Wasser in ein fremdes Einzugsgebiet den Interessen der Bodensee-, Hochrhein- und Oberrheinanlieger sowie den Interessen der Benutzer der Wasserstraße Rhein entgegensteht.

2.33. Rhein

Im Rahmen der Planung für eine Bodenseeregulierung wird geprüft, ob und in welchem Umfange eine Abgabe von Zuschußwasser aus dem See bei Niedrigwasser des Rheins zwecks Erhöhung der Abladetiefe der Rheinschiffahrt auf Ober- und Mittelrhein möglich ist. Die Schiffahrt auf dem Rhein, der verkehrsreichsten Wasserstraße Europas, leidet bei Niederwasser im Frühjahr und insbesondere nach Beendigung der Schneeschmelze in den Mittelgebirgs- und Hochgebirgszonen im Herbst unter Abladebeschränkungen, die zur Bewältigung des Verkehrsaufkommens — im Jahre 1971 wurden auf dem Rhein rd. 180 Millionen Gütertonnen befördert — einen verstärkten Einsatz von Schiffsraum erforderlich machen und die Frachten durch die Erhebung von Kleinwasserzuschlägen erhöhen. Es zeigt sich, daß ein Bedürfnis zur Erhöhung der Niedrigwasserstände vor allem jeweils von September bis einschließlich Januar, d. h. während 5 Monaten besteht, wobei das Schwergewicht auf den Monaten Oktober und November liegt. Natürlich muß sich eine Wasserabgabe dem Gesamtreglement der Wasserbewirtschaftung des Bodensees einpassen, wobei die Hauptzielsetzungen einer Bodenseeregulierung zu berücksichtigen sind, nämlich

a) Absenkung der hohen Seewasserstände unter die für den Ober- und den Untersee festgelegten Schadensgrenzen,

b) Anhebung zu niedriger Seewasserstände im Sommer, wobei die Wasserstände bis etwa Ende September im Interesse des Fremdenverkehrs eine bestimmte Kote nicht nicht unterschreiten sollten,

c) möglichst rasches Heben der Seewasserstände im Frühjahr,

d) Verbesserung des Hochwasserschutzes am Oberrhein.

Neben der weiteren Zielsetzung einer Verbesserung der Fahrwassertiefen unterhalb der staugeregelten Strecke (z. Z. unterhalb Straßburgs, nach Fertigstellung des nächsten Ausbauabschnittes im Jahre 1977 unterhalb der Staustufe Iffezheim) in den genannten Monaten soll auch die Möglichkeit, zusätzlich Wasser aus dem Bodensee für wasserwirtschaftliche Zwecke, insbesondere für Trinkwasserzwecke, zu entnehmen, verbessert werden.

Es dürfte feststehen, daß die Zielsetzungen der Bodenseeregulierung am besten durch den Bau eines regulierbaren Wehres am Ausfluß des Rheins aus dem See oder kurz unterhalb des Ausflusses erreicht werden kann. Das Eidgenössische Amt für Wasserwirtschaft in Bern hat eine Firma mit der Ausarbeitung des Bauentwurfes für ein solches Wehr, das im Rhein bei Hemishofen zu bauen wäre, beauftragt. Ein internationaler Ausschuß, der sich mit der Bodenseeregulierung befaßt, hat dieses Projekt bereits einer Prüfung unterzogen und den Entwurf für ein Regulierreglement aufgestellt, der auch eine Wasserabgabe für Zwecke der Rheinschiffahrt berücksichtigt. In der untersuchten Jahresreihe 1941 bis 1965 wäre im Mittel von 21 Tagen in den Wintermonaten eine Abgabe von Zuschußwasser möglich gewesen, wodurch eine Vergrößerung der Fahrwassertiefe im Mittelrhein um 15 cm erreicht worden wäre. Insgesamt wäre es möglich gewesen, an 17 in den 25 untersuchen Jahren Zuschußwasser abzugeben. Zum 1. Oktober hätten im Mittel dieser Jahresreihe 163,8 Millionen m³ für eine Abgabe zur Verfügung gestellt werden können. Da es sich um einen Mittelwert handelt, ist zu berücksichtigen, daß in Trockenjahren bei niedrigen Seewasserständen unter Umständen keine oder nur geringe und damit unwirksame Zuschußwasserabgabe möglich ist. Im Jahre 1949 hätten dagegen 260,4, im Jahre 1964 252,7 Millionen m³ abgegeben werden können. Es ist einleuchtend, daß die Vergrößerung der Fahrwassertiefen im Rhein und die Dauer der Wasserabgabe von den verfügbaren Wassermengen im See abhängig ist. Aus Schiffahrtskreisen wurde der Wunsch vorgetragen, die Fahrwassertiefe wenigstens um 15 cm bei einer Dauer kon-

stanter Wasserabgabe aus dem See an mindestens 21 Tagen zu verbessern. Eine Erhöhung der Wassertiefe von 15 cm setzt eine Vergrößerung der Abflußmenge am Pegel Kaub um rd. 90 m³/s voraus. Ein 1350-t-Schiff vom Typ Johann Welker würde damit in die Lage versetzt, rd. 100 t zusätzlich laden zu können. Der Wunsch der Schiffahrt, wenigstens an 21 Tagen Zuschußwasser ohne Unterbrechung abzugeben, hätte für die Jahresreihe 1941 bis 1965 bei 15 Jahren erfüllt werden können, wobei 1949 bzw. 1964 sogar 33 bzw. 32 Tage erreicht worden wären. An zwei Jahren wäre eine Abgabe an 20 Tagen möglich gewesen, so daß doch an 17 von den untersuchten 25 Jahren der Rheinschiffahrt hätte wirksam geholfen werden können. Bemerkenswert ist, daß an 8 Jahren eine Zuschußwasserabgabe wegen ausreichender Rheinwasserstände entbehrlich gewesen wäre. Von diesen 8 Jahren sind jedoch 5 Jahre, an denen eine auskömmliche Zuschußwassermenge nicht zur Verfügung gestanden hätte.

Die Kriterien, die zur Auslösung und zur Wiedereinstellung der Wasserabgabe führen, müßten zu gegebener Zeit noch festgelegt werden, wobei sie mit den Hauptzielsetzungen der Bodenseeregulierung und den Bedingungen des Reglementes in Einklang zu bringen wären. Voraussetzung für ein wirksames Funktionieren der Wasserabgabe ist eine sichere Voraussage der Niedrigwasserstände im Oberrhein, die eine rechtzeitige Ankündigung der Wasserabgabe und damit ein entsprechendes Disponieren der Schiffahrt ermöglicht. Da die Fließzeit vom geplanten Wehr Hemishofen bis Kaub etwa 5 Tage beträgt, ist zu untersuchen, ob die Wirkung der Bezuschussung durch geeignete Bewirtschaftung der Stauräume im Ober- und Hochrhein nicht beschleunigt und erhöht werden könnte. Im übrigen würde eine Zuschußwasserabgabe auch den Kraftwerken am Hoch- und Oberrhein zugute kommen.

3. Maßnahmen zur Verringerung des Hochwasserabflusses

3.1. Zweck und Ziele einer Verringerung des Hochwasserabflusses

Der Ausbau einer Großschiffahrtsstraße und ihrer Nutzungen in Ufergebieten erhält sehr wesentliche Maße durch das „maßgebende Hochwasser" des Ausbaues. Der Unterlauf eines Flusses besitzt meist von Natur aus langfristige Schiffbarkeit, somit lange Zeit schon intensive Nutzung in Ufergebieten, deren Schutz gegen die größten Hochwasser in der Vergangenheit erstellt wurde. Der Oberlauf hat von Natur aus weniger ausgeglichene Abflüsse, größere Gefälle, relativ kleinere Wassertiefen, oft noch stark wirksame Erosion oder Auflandung und ist nur beschränkt oder gar nicht schiffbar. Sein großes Gefälle gibt Anreiz zur Energiegewinnung mittels Stauregelung, sein ergänzender Ausbau zur Großschiffahrtsstraße wird dadurch realisierbar.

Eine Stauregelung bewirkt eine erhebliche Verkürzung der Laufzeiten der Hochwasserwellen als Folge der Verringerung von Retention, nämlich vertikal zwischen gestaut geringer werdenden Wasserstandssteigerungen und seitlich durch Abschalten von Überflutungsgebieten neben den Stauhaltungen.

Die raschere Welle des Oberlaufs sammelt die Wellen der Nebenflüsse zeitlich dichter zu erhöhter Welle, die ab unterster Stufe dem Unterlauf früher zufließt und auch dort sich den Nebenflüssen in höheren Bereichen der Wellen zu weiterer Steigerung zuaddieren kann.

3.11. Schiffahrtsinteresse

3.111. Wasserstraße

Die Schiffahrt auf dem frei fließenden Fluß ist zeitlich beschränkt, bei Niedrigwasser mangels Wassertiefe, bei Hochwasser durch Einstellung ab Überschreitung eines höch-

sten Schiffahrtswasserstandes wegen nicht mehr ausreichender Antriebskraft, Orientierung und Navigation der Schiffe.

Die Schiffahrt auf dem mittels Stauregelung ausgebauten Oberlauf ist bei Niedrigwasser unbeschränkt und hat bei Hochwasser in einer übersichtlichen Wasserstraße und in einer durch Stau verringerten Strömung längere Zeit schiffbare Verhältnisse als der Unterlauf.

Bei sich ankündigendem Hochwasser sind Schiffe im Unterlauf mit Ziel im Oberlauf bestrebt, diesen und damit ihr Ziel zu erreichen.

Da ein Zeitgewinn vor Einstellung der Schiffahrt auf dem Unterlauf durch Verringerung des Hochwasser-Abflusses wegen des raschen, durch starken Niederschlag verursachten Anstiegs der Wasserstände zu gering ist, erhält eine Hochwasservorhersage für den Unterlauf erhöhte Bedeutung.

3.112. Nutzungen der Wasserstraße

Ein „maßgebendes Hochwasser" bestimmt die Dimensionen für die Höhe der Schutzbauten und für die Anpassungen aller Anlagen am Fluß und, wo solche in voller notwendiger Höhe nicht möglich sind, für die Verringerung des Hochwasserabflusses im Bereich des Scheitels bis zu dem des „maßgebenden Hochwassers".

Bei schon intensiver Nutzung im Ufergebiet des Unterlaufs wird bei Stauregelung des Oberlaufs die Erhöhung der Hochwasserwellen unterhalb der untersten Stufe meist durch entsprechende Retention oberhalb für den Unterlieger schadlos zu machen sein.

Ohne Schutz der Ufergebiete, welche die Anlagen für die Nutzung der Wasserstraße benötigen, verliert die Wasserstraße ihren Sinn.

3.12. Kraftwerksinteresse

3.121. Wasserkraftwerke

Die gegenseitige Beeinflussung von Hochwasser und Wasserkraftnutzung ist bei Flußkraftwerken und bei Pump- bzw. Hochspeicherkraftwerken unterschiedlich.

Die Erstellung von Flußkraftwerken hat Stauregelung zur Grundlage und Erhöhung der Hochwasser zur Folge. Zunächst ist die maximale Betriebswassermenge für die Größe des Ausbaues des Kraftwerks selbst wählbar, zwingend aber ist das „maßgebende Hochwasser" für die Dimensionierung der Dämme der Stauhaltungen und der Wehre.

Die Wasserkraftwerke müssen an einem hohen effektiven Ausbau des Kraftwerks und niedrigem maßgebendem Hochwasser interessiert sein. Der Ausbau kann mittels Schwellbetrieb zur Erzeugung hochwertigen Spitzenstromes in Tageszeiten erhöhten Energiebedarfs wirtschaftlich optimal werden, besonders bei entsprechend großen Ausgleichsbecken oberhalb und unterhalb der Kette der Kraftwerke. Durch Einsatz der beiden Becken zur Retention von Hochwasser können die seltenen sehr großen Hochwässer eine Ermäßigung erfahren.

Pumpspeicher-Hochdruckwerke arbeiten im Verbund mit Flußstauhaltungen als Unterbecken und mit einem meist großen Oberbecken in nahem Gebirge, dessen Füllung zum größten Teil mit Wasser aus dem nicht genutzten Teil der Wasserführung des Flusses, somit auch bei Hochwasser erfolgt. Ein erheblicher Teil des bei Hochwasser aus dem Fluß abgepumpten Wassers ist auch bei Spitzenstromerzeugung zugleich Hochwasser-Retention zusätzlich zum natürlichen Hochwasser-Zufluß zum Speicher.

Pumpspeicher und Speicher mit natürlichem Einzug sind auch aus Gründen der Verringerung des Hochwasser-Abflusses der öffentlichen Förderung würdig.

3.122. Thermische Kraftwerke

Bei einer Aufwärmung um 10° C ist eine Kühlwassermenge von etwa 4 m³/s für 100 MW erforderlich. Bei den zukünftigen großen Einheiten der Atomkraftwerke stellt die Abwärme, die mittels dem Fluß entnommenem Kühlwassers aus den Kondensatoren der Dampfmaschinen herausgezogen wird, Probleme der Ableitung in die Umwelt. Diese ergeben sich aus Größe, jahreszeitlicher Schwankung der Wasserführung des Flusses einerseits, Zahl, Größe und Dichte der Stationierung der Atomkraftwerke andererseits. Dabei ist die zulässige Aufwärmung des Flusses begrenzt.

Die Deckung der Tagesmaxima des Energiebedarfs durch Pumpspeicherwerke ist eine notwendige Ergänzung der Atomkraftwerke. Standorte für Unterbecken im Fluß und große Oberbecken im nahen Gebirge bieten sich für Atomkraftwerke an, die ihr Kühlwasser laufend in Hochspeicher mit großer Wasseroberfläche in kühler und windigerer Höhenlage pumpen und es abgekühlt in den verschiedenen Tageszeiten erhöhten Energiebedarfs auf diese kürzeren Zeiten konzentriert zurückfließen lassen können. Dabei würde ein unteres Auffangbecken für etwa ein Fünftel der Tagesmenge des Kühlwassers erlauben, das gesamte Kühlwasser hochzupumpen.

Die Dimensionierung der Druckleitung (Stollen) auf ein Betriebswasser, dessen Menge doppelt so groß ist, als während mehr als der doppelten Zeit aufwärts zu pumpen nötig wäre, würde eine etwa doppelte Förderung von Pumpwasser möglich machen. Etwa die Hälfte davon würde bei größerer Wasserführung eine langfristige Speicherung und bei Hochwasser eine Verringerung des Hochwasserabflusses darstellen.

Die Anlage von Hochspeichern auch dieser Zweckbestimmung ist wegen der dabei entstehenden Verringerung von Hochwasserabfluß gleicherweise wie die unter 3.121. geschilderte der öffentlichen Förderung würdig.

3.13. Wasserqualität

Sowohl die Speicherung des Flußwassers in natürlichen oder künstlichen Seen, also in stehenden Gewässern, als auch die Aufwärmung des Flusses verlangen gute Wasserqualität, wenn nicht für die Trink- und Brauchwasserversorgung, für die Rekreation am und auf dem Fluß, für die Siedlungsgebiete am Fluß und für die Flußlandschaft große Verluste entstehen sollen.

Die Stauregelung verändert das Verhalten der Inhaltsstoffe des Wassers. Schwebstoffe werden in stilleren Zonen abgesetzt. Beim Anstieg zu Hochwasser werden letztere zur gleichen Zeit mit den Abwaschungen des Niederschlags aus Verkehrsflächen, Kanälen und ungereinigten Abwässern aus Regenentlastungen ausgespült. Im oberen Bereich großer Hochwasserwellen sind diese Stoffe bereits abgegangen. Die Retention in seitlichen Überflutungsgebieten lagert deshalb weder unnatürliche oder schädliche Stoffe ab, noch macht ihr versickernder Teil durch zehrende oder schädliche Stoffe das Grundwasser unbrauchbar.

3.14. Verbrauchs- sowie Gebrauchswasser

In einem weit entwickelten Gebiet ist auch am Oberlauf über den leicht nutzbaren Teil der Wasserführung bis über Mittelwasser bereits verfügt. Die Beschränkung der Füllung auf die kurzen Zeiten großer Wasserführung und die großen laufenden Mengen für die Versorgung großer ferner Mangelgebiete macht die Füllmengen solcher Speicher besonders bei Hochwasser groß.

3.2. Möglichkeiten von Maßnahmen zur Verringerung des Hochwasserabflusses

Hinweise auf den Rhein als Beispiel.

3.21. Natürliche Seen

Hinter Endmoränen der Gletscher und Felsstürzen im Lauf des Flusses entstanden, verringern Seen die zufließende Hochwasserwelle zu Beginn ihres Anstiegs auf den zuvor vorhandenen Abfluß aus dem See, der sich mit Steigerung der Seestände durch Retention um so geringer erhöht, je größer die Seefläche ist. Die Retention im See läuft nach Ablauf des Hochwassers im Fluß nach.

Der Rhein hätte ohne Seeretention bei Basel statt eines alle 1000 Jahre zu erwartenden Hochwassers von 6000 m^3/s ein solches von rd. 10 000 m^3/s.

Aufladungen oberhalb der Seen können dem Fluß den Weg zu seinem See verschüttet haben. Die Wiederherstellung des ursprünglichen natürlichen Durchflusses durch den See ist eine sehr wirksame Verringerung des Hochwasserabflusses. Im Rheingebiet wurden die Einleitungen der Aare in den Bieler See und der Linth in den Walensee wiederhergestellt.

3.22. Regulierte Seen

Mittels eines Regulierwehres am Auslauf eines Sees können dessen Abflüsse und Seestände (Retention) verändert werden in den Grenzen der Zulässigkeit, die gegeben sind durch die Nutzungen der Ufergebiete des Sees und des Flusses. Im Falle der Regelmäßigkeit jahreszeitlichen Anstiegs zum höchsten Seestand kann ein vom Seestand abhängig gemachter Vorabfluß durch langfristig sich summierende mäßige Vergrößerung des Abflusses die Seestände niedriger halten, den See für Hochwasser schadlos aufnahmefähiger machen. Mit dem Regulierwehr läßt sich durch Austiefung des Seeauslaufes der Bereich der Seestände nach unten erweitern, wenn dies nach oben wegen der Uferbebauung nicht möglich ist. Dadurch wird das bewirtschaftbare Volumen gesteigert und die Aufnahmefähigkeit für Hochwasser gleichfalls verbessert.

Bei seltenem, gefährlichem, sehr großem Hochwasser des Flusses kann der vorhandene Abfluß aus dem See gedrosselt werden, entweder ganz oder bis zu einem minimalen Abfluß, der abhängig ist von Nutzungen bis zum nächsten größeren Zufluß und von der Schadlosigkeit der Vergrößerung des Seeanstieges.

Im Rheingebiet sind hierfür Beispiele die regulierten Schweizer Seen und die geplante Regulierung des Bodensees. Im Winter, wenn im Rhein durch Schneeschmelze im Mittelgebirge die größten Hochwasser entstehen, erscheint eine Verringerung der Abflüsse bei dann niedrigen Seeständen immer möglich.

In der Summe der Seen kann diese Retention ein erheblicher Beitrag zur Verringerung der Hochwasserabflüsse des Rheins werden.

3.23. Künstliche Seen

Sie werden zur Gewinnung von Energie, Trink- und Brauchwasser, Zuschußwasser zur Verbesserung des Niedrigwasserabflusses mit deren im vorangegangenen Kapitel behandelten zahlreichen Zielen meist im Gebirge, aber auch als Ausgleichsbecken im oder neben dem Fluß angelegt. Im Gebirge sammeln sie den dort überdurchschnittlichen Niederschlag, Abgang des jahreszeitlichen Vorrats an Schnee und im Hochgebirge den der Gletscher aus früheren Klimaperioden.

Bei erheblich geringerem laufenden Abfluß aus den Seen speichern sie den Hochwasserzufluß und verlegen ihn in spätere Zeiten des Bedarfs. Bei großer Summe ihrer Einzugsflächen und Niederschläge erbringen sie entsprechend große Verringerung des Hochwasserabflusses in den Flußstrecken abwärts.

Künstliche Seen werden zunehmend mit hochgepumptem Wasser aus noch nicht genutzter höherer Wasserführung eines Flusses gefüllt, darunter Hochwasser. Hierzu ist unter 3.121. und 3.122. skizziert.

Im Rheingebiet ist die Verringerung des Hochwasserabflusses der alpinen Hochspeicher beschränkt auf die Flußstrecken bis zu den großen Seen am Rand der Alpen, wo sie schon von Natur aus große Verringerung erfuhren oder von einem Reglement des Sees erfaßt werden, das weiter ausgleichend wirkt.

Für die weitere Zukunft kann vermutet werden, daß auch Pumpspeicherungen in künstlichen Seen eine zunehmende Entlastung bei Hochwasser bringen können.

3.24. Flußstrecken mit Stauregelung (Oberlauf)

3.241. Laufzeit der Hochwasser-Wellen

Die Laufzeit bestimmt die Addition der Wellen der Nebenflüsse. Unter 3.1. ist auf die Verkürzung der Laufzeiten im Fluß als Folge der Stauregelung hingewiesen.

In der Flußstrecke mit Stauregelung ist sie in den Grenzen zweier Betriebsarten der Stauhaltung steuerbar zwischen Betrieb unter Erhaltung des Wasserstands am Wehr (Stauziel) mit Veränderung des Inhalts der Stauhaltung und mit Laufzeit (Stauzielbetrieb) und

Betrieb unter Erhaltung des Inhalts der Stauhaltung durch Veränderung des Wasserstands am Wehr und ohne Laufzeit (Kippbetrieb).

Auf diese Betriebsarten und ihre Bedeutung bei der Koordinierung von verschiedenen, im Lauf weit auseinander liegender Maßnahmen zur Verringerung des Hochwasserabflusses wird unter 3.3. eingegangen. Entscheidend für die Betriebsart ist, ob die Zeit einer genauen Vorhersage vom Ort einer Maßnahme bis zur untersten Stufe ausreichend länger ist, als die Laufzeit für diese Strecke.

3.242. Seitenkanal-Teilstrecken

Bei Stauregelung mit längeren Seitenkanal-Teilstrecken neben Flußstrecken und großem Anteil des Betriebswassers am Hochwasserabfluß kann das Betriebswasser an den Kraftwerken gestoppt werden und die Strecke der Länge des Kanals, nunmehr aber ab Wehr im Flußbett wiederholt durchfließen. Für das Betriebswasser entspricht dies einer Verlängerung des Flußlaufes um die Länge der Flußstrecken neben den Kanalstrecken und der Laufzeiten um die dazu benötigten zusätzlichen Laufzeiten.

Diese lassen sich anhand der Näherungsformel für die Laufgeschwindigkeit (c) im stationären Abfluß ermessen:

$$c = \frac{\triangle Q}{\triangle z \cdot b}\text{; darin ist}$$

$\triangle$ Q die Änderung des Abflusses,

$\triangle$ z die zugehörige Änderung des Wasserstandes,

b die Breite des Wasserspiegels des Querschnittes.

Je kleiner c, je länger ist die Laufzeit $T = \frac{s}{c}$ durch die Flußstrecke s.

Die Retention ist

$$\triangle Q \cdot T = \triangle z \cdot b \cdot c \cdot T = \triangle z \cdot b \cdot s$$

Je größer die durchflossene Breite des Flußbettes b bei Hochwasser ist, desto größer ist die Retention und dadurch die Laufzeit.

Neben Seitenkanälen verlaufende Flußstrecken mit Ausuferung in seitlichem Hochwasserbett ist eine Vergrößerung des Anstiegs des Wasserstandes $\triangle z$ im Verhältnis zur Zunahme des Abflusses $\triangle Q$ möglich, wenn durch Querdämme der ganze Abfluß stellenweise in das Mittelwasserbett gedrängt wird (Wirkung von Buhnen).

Zugleich entsteht dort durch Querströmung eine zusätzliche Erhöhung der Wasserspiegel durch Einengen des effektiven Abflußquerschnittes des Mittelwasserbettes und durch Stauhöhe zur Beschleunigung in die Flußrichtung.

Staustellen in Flußstrecken mit Ausuferung neben Seitenkanälen können im Zusammenhang mit nur niedrigen überströmbaren Uferdämmen mit der Wirkung von Streichwerken so hoch angelegt werden, daß eine Überflutung des Hochwasserbettes und damit die Vergrößerung von b erst dann und unter Nutzung des ganzen anfangs noch leeren Retentionsraumes eintritt, wenn diese Retention zeitgerecht mithilft, die zulässige maximale Leistungsfähigkeit der Hochwasser-Schutzbauten unterhalb nicht zu überschreiten. Überströmbare Uferdämme sind in ihrer Gefällshöhe vom Fluß zum Retentionsraum des Hochwasserbettes beschränkt. Dessen Füllung und Entleerung ist abhängig vom Gang (Höhe und Dauer) der Welle des Hochwasserabflusses und kann somit nur gesteuert werden über diese Welle.

Dies kann nur geschehen in willkürlich steuerbaren großen Retentionsräumen oberhalb, deren Zu- und Abflußbauwerke große Leistung haben. Dies ist der Fall, wenn ein solcher Raum zwischen zwei Wehren als seeartige Erweiterung des Flusses möglich ist, weil die Wehre als Zu- und Abflußbauwerke die Leistung des „maßgebenden Hochwassers" haben, auch werden besondere Bauwerke hierfür erspart.

Dagegen sind besondere Bauwerke großer Leistung für Füllung und Entleerung nötig bei seitlich, vom Fluß durch Dämme getrennten Poldern, deren Volumen bei waagerechtem Wasserspiegel, aber mit zunehmender Geländeneigung abnimmt und so am Oberlauf teuer wird.

Im Rhein sind Seitenkanal-Strecken neben Flußstrecken vorhanden, oberhalb Basel zwei, unterhalb Basel fünf. Zum Teil sind sie mit Staueinrichtungen zur Stützung des Grundwassers gegen Auslaufen in den Rhein versehen. Querdämme sind an einem Teil dieser Staustellen geplant.

3.243. Vorabfluß

Er ist im Anstieg einer Hochwasserwelle durch Absenken der Stauhaltungen möglich, addiert sich von Stauhaltung zu Stauhaltung abwärts und kann Anwendung finden, wenn die Addition der Nebenflußwellen unterhalb noch keine Überschreitung der maximalen Leistung der Schutzbauten hervorruft.

Der durch Vorabfluß freigemachte Raum gibt dem weiteren Anstieg der Welle eine tiefere Basis und damit eine größere Retention zur Verringerung der Abflüsse im Scheitelbereich.

Die Anwendung hat eine genaue Vorausbestimmung aller sich addierender Wellen unterhalb zur Voraussetzung und hat bei Fehleinsatz schädliche, überhöhende Wirkung im Gegensatz zur Retention, die nicht schaden, nur etwa unnötig ermäßigend sein kann.

Ein Vorabfluß entsteht durch Stauabsenkung in Stadtgebieten zu deren besonderem Schutz. Am Rhein sind dazu Beispiele die Stadt- und Hafengebiete von Basel und Straßburg/Kehl.

3.244. Schwellbetrieb mit Ober- und Unterbecken (s. 3.121.)

Diese Becken lassen sich von einer gewissen Größe ab und in Abhängigkeit von der Schwellwassermenge auch für die Retention bei Hochwasser nutzen. Ihre Bereitschaft dazu

muß vor dem Hochwasser durch Entleerung hergestellt werden können. In langer Staukette läßt sich dies unter Umständen auch für eine längere Gefahrenzeit, z. B. die Zeit zu erwartender Schneeschmelze, bewirken, wenn das Oberbecken neben den zwei obersten Stauhaltungen liegt und bis zum Stauspiegel der zweiten Stauhaltung abgesenkt werden kann. Dadurch wird lediglich das oberste Kraftwerk vom Schwellbetrieb ausgenommen. Es entsteht dabei ein Retentionsraum mit großer Füllhöhe, der Gefällshöhe einer Kraftwerksstufe.

Um den Folgen der Erhöhung des Hochwasserabflusses durch Stauregelung zu begegnen, werden zunächst alle ihre nutzbringenden Anlagen und Möglichkeiten des Betriebs darauf zu prüfen sein, ob sie der Verringerung des Hochwasserabflusses bei den seltenen sehr großen Hochwässern dienstbar gemacht werden können. Danach werden noch besondere ergänzende Maßnahmen unerläßlich.

3.3. *Die Koordinierung verschiedener Maßnahmen durch den Betrieb der Stauregelung am Oberlauf bei sehr großem Hochwasser*

3.31. Notwendigkeit der Koordinierung

Sobald an einem Strom eine Verbesserung des Hochwasserschutzes oder die Erhaltung des bisherigen Schutzes bei einer Erhöhung der Hochwassergefahr nicht durch Erhöhung der Hochwasserdämme allein möglich ist, so daß zusätzlich Maßnahmen zur Hochwasserrückhaltung getroffen werden müssen, wird neben den Baumaßnahmen eine betriebliche Regelung erforderlich. Diese betriebliche Regelung gewinnt um so mehr an Bedeutung, je größer das zurückzuhaltende Wasservolumen ist und je mehr verschiedene Maßnahmen zur Rückhaltung eingesetzt werden müssen.

Am Oberrhein ist als Folge verschiedener technischer Eingriffe, zuletzt der Stauregelung unterhalb von Basel, eine Verschärfung der Hochwassergefahr für die Unterlieger eingetreten. Sie kann durch Erhöhung der bestehenden Hochwasserdämme in der Rheinstrecke unterhalb der letzten Staustufe, wenn überhaupt, so nur in sehr bescheidenem Maße bekämpft werden. Die erhöhten Hochwasserwellen sehr großer Hochwasser müssen daher weitestgehend durch Hochwasserrückhaltung auf das in dieser Strecke zulässige Maß reduziert werden.

Ein einziger Retentionsraum, der die gesamte zu speichernde Abflußfülle aufnehmen könnte, ist nicht möglich. Es müssen vielmehr die verschiedenen, unter 3.2. für den Rhein geschilderten Schutzmaßnahmen weitgehend herangezogen werden, wenn ein den heutigen Bedürfnissen entsprechender Hochwasserschutz erreicht werden soll.

3.32. Möglichkeiten der Koordinierung

Unter Koordinierung verschiedener Hochwasserschutzmaßnahmen soll hier das Betriebsschema zum optimalen Einsatz verschiedener Retentionsmaßnahmen verstanden werden. Auf die technischen Einzelheiten der Steuerung des Betriebes — von Datenübermittlung über Rechenanlagen zur Bedienung der Wehre usw. — kann hier nicht näher eingegangen werden. Es sollen nur die Grundtypen der Koordinierung gezeigt werden, die sich in einem zur Staukette ausgebauten Strom anbieten.

3.321. Koordinierung ohne Beeinflussung der Laufzeit der Hochwasserwelle — Stauzielbetrieb —

Kann die Hochwasserrückhaltung mittels eines oder mehrerer unweit oberhalb der zu schützenden Strecke gelegenen Retentionsräumen erreicht werden, so ist eine Koordinie-

rung ohne Schwierigkeiten möglich. Dasselbe gilt, wenn zwischen Retentionsräumen und zu schützender Strecke ein längerer Abschnitt des Stromes liegt, in diesem Abschnitt aber keine Nebenflüsse münden, die den Hochwasserablauf nennenswert beeinflussen. Wird der Ablauf der Hochwasser jedoch durch die Hochwasserwellen von Nebenflüssen zwischen Retentionsraum und zu schützender Strecke gestört, so ist zum zeitgerechten Einsatz des Retentionsraumes eine Abflußvorhersage, die auch in beiden ersten Fällen von Vorteil ist, zwingend notwendig. Die Vorhersagezeit muß für jeden Nebenfluß mindestens so lang sein wie die Laufzeit der Hochwasserwelle des Stromes zwischen dem Retentionsraum und der Nebenflußmündung. Ist eine so lange Vorhersagezeit nicht möglich, so kann ein Retentionsraum nur dann mit Sicherheit voll eingesetzt werden, wenn sein Inhalt im Verhältnis zum gesamten erforderlichen Retentionsraum relativ klein ist und wenn die Gesamtzeit, in der Hochwasser zurückgehalten werden muß, beträchtlich größer ist als die o. g. Laufzeit.

Am Rhein muß ein großer Teil des erforderlichen Retentionsvolumens 100 km und weiter oberhalb der untersten Stufe zurückgehalten werden, und im unteren Teil dieser Strecke münden mehrere Nebenflüsse, die den Ablauf der Rheinhochwasser stark beeinflussen können. Eine Abflußvorhersage für diese Nebenflüsse ist aufgrund von Pegelbeziehungen nur für 2 bis 4 Stunden möglich, während die Laufzeit der Hochwasserwelle von den großen, nur am Oberlauf möglichen Retentionsräumen bis in den Bereich dieser Nebenflüsse ein Vielfaches dieser Zeit beträgt. Wie weit die Vorhersagefrist durch Einbeziehung der Niederschläge verlängert werden kann, soll untersucht werden, da jede Verbesserung der Abflußvorhersage einen Vorteil für die Steuerung der Schutzmaßnahmen bedeutet. Diese Untersuchungen dürften jedoch Jahre in Anspruch nehmen, und ob die erforderliche Vorhersagezeiten mit für die Hochwassersteuerung ausreichender Genauigkeit erreicht werden kann, bleibt sehr zweifelhaft. Eine Vorhersagezeit, die den zeitgerechten Einsatz des Bodensees oder der anderen Alpenrandseen für die Hochwasserrückhaltung ermöglichen würde, ist zudem schlechthin unmöglich. Man muß daher davon ausgehen, daß am Rhein eine Koordinierung der Hochwasserschutzmaßnahmen ohne Beeinflussung der Laufzeit der Hochwasserwelle nicht möglich ist.

3.322. Koordinierung mit Beeinflussung der Laufzeit — Kippbetrieb —

Wie unter 3.241. angedeutet, lassen sich in einem zur ununterbrochenen Staukette ausgebauten Strom bei „Kippbetrieb" Abflußänderungen am oberen und am unteren Ende gleichzeitig durchführen. „Kippbetrieb" ist als Betriebsweise für Durchlaufspeicherung von Kraftwerksketten bekannt. Hier soll der Ausdruck im gleichen Sinne gebraucht werden, nur daß nicht ein Niederwasserabfluß durch die Kraftwerkskette moduliert werden soll, sondern der Abfluß sehr großer Hochwasser, wobei natürlich vor allem die Wehre bedient werden müssen. Hauptzweck der zeitlosen Durchgabe ist es, die Hochwasserabflußvorhersage als einschränkende Bedingung für den zeitgerechten Einsatz von Retentionsräumen zu eliminieren.

Als „reiner Kippbetrieb" soll eine Betriebsweise bezeichnet werden, bei welcher der Inhalt jeder Staustufe vom Beginn der Umstellung an konstant gehalten wird. Aus der Kontinuitätsbedingung ergibt sich, daß dabei der momentane Abfluß Q_i aus jeder Stauhaltung i gleich ihrem momentanen Zufluß sein muß, der sich aus dem Abfluß Q_{i-1} aus der nächst oberen Stauhaltung und dem Abfluß Q_n der einmündenden Nebenflüsse zusammensetzt:

$$Q_i = Q_{i-1} + Q_n \quad (1)$$

Bezeichnet man die oberste Stauhaltung mit o und die unterste mit u, so ergibt sich für die ganze Staukette:

$$Q_u = Q_o + \sum_{o}^{u} Q_n \quad (2)$$

Der Anteil des Abflusses Q_u, der den höchsten unterhalb der letzten Staustufe zulässigen Abfluß $\overline{Q}_u$ überschreitet, muß den oberhalb gelegenen Retentionsräumen als Zufluß ΣQ_R zugeführt werden; mit

$$\overline{Q}_u - Q_u = \sum_{o}^{u} Q_R \quad (3)$$

erhält man

$$\overline{Q}_u = Q_o + \sum_{o}^{u} Q_n - \sum_{o}^{u} Q_R \quad (4)$$

bzw.

$$Q_o = \overline{Q}_u - \sum_{o}^{u} Q_n + \sum_{o}^{u} Q_R \quad (4')$$

Für jede beliebige Staustufe gilt entsprechend:

$$Q_i = \overline{Q}_u - \sum_{i}^{u} Q_n + \sum_{i}^{u} Q_R \quad (5)$$

Das bedeutet, daß bei Durchführung des reinen Kippbetriebes ein für die unterste Staustufe höchster zulässiger Abfluß $\overline{Q}_u$ künstlich erzwungen werden kann, wenn ausreichender Retentionsraum zur Verfügung steht. Die Lage des Retentionsraumes in der Staukette ist dabei gleichgültig. Es muß nur der Abfluß aus jeder Stauhaltung so eingestellt werden, daß er, zusammen mit dem momentanen Abfluß der unterhalb mündenden Nebenflüsse und vermindert um die momentanen Zuflüsse zu den unterhalb gelegenen Retentionsräumen gerade diesen höchsten zulässigen Abfluß Q_u ergibt.

3.33. Probleme bei der Einführung des Kippbetriebes und ihre Lösungsmöglichkeiten

Es wird vorausgesetzt, daß die Umstellung der Staukette vom normalen Stauzielbetrieb auf den beschriebenen Kippbetrieb unter Berücksichtigung der für die Umstellung erforderlichen Zeitspanne erst dann erfolgt, wenn unterhalb der untersten Staustufe der höchste zulässige Abfluß erreicht wird. Weil aber zuvor die Hochwasserwelle die Staukette mit der dem Stauzielbetrieb entsprechenden Laufzeit (s. 3.4.2.1 ff) durchläuft, ist der Abfluß in den oberhalb gelegenen Stauhaltungen dann bereits größer, als beim reinen Kippbetrieb zulässig. Die Umstellung auf den Kippbetrieb ist also mit einer Abflußverminderung verbunden, wobei die Abflußdifferenz in der Regel stromaufwärts zunimmt. Im weiteren Verlauf des Kippbetriebes müssen die Abflüsse der oberen Stauhaltungen entsprechend dem Anstieg der Hochwasserwellen der Nebenflüsse (s. Gleichung 5) weiter verringert werden, bis deren Summe ihren Scheitel überschritten hat. Das kann zu gewissen Schwierigkeiten für die Durchführung des reinen Kippbetriebes führen.

3.331. Schwallerscheinungen bei der Umstellung auf Kippbetrieb

Durch die Abflußverminderung, die beim Beginn der Umstellung in relativ kurzer Zeit durchgeführt werden muß, können Schwallerscheinungen an den Wehren auftreten; je

nach den Abmessungen der Stauhaltung (Wehre, Dammhöhen usw.) könnten sie gefährlich werden. Dies kann durch entsprechende Vorbereitung der Umstellung, z. B. durch Wahl einer ausreichend langen Zeitspanne für die Abflußänderung, vermieden werden.

Am Rhein sind nach ersten Untersuchungen, die sich auf Erfahrungen von Versuchen für Durchlaufspeicherung mit Kippbetrieb stützen, die Schwallerscheinungen nicht so stark, daß sie der Einführung des Kippbetriebes bei Hochwasser im Wege stehen.

3.332. Erhaltung des konstanten Inhalts der Staustufen beim Kippbetrieb

Der Inhalt der Stauhaltungen muß vom Beginn der Umstellung an konstant gehalten werden. Er entspricht jeweils dem Abfluß am Ende des Stauzielbetriebes und ist damit zu Beginn des Kippbetriebes zwangsläufig zu groß; der Wasserspiegel in der Haltung kippt, am Wehr wird das Stauziel überschritten, und an der Stauwurzel sinkt der Wasserstand ab, bis das Gefälle dem neuen Abflußzustand entspricht. Im weiteren Verlauf wird der Abfluß noch mehr verringert, bis die Abflußsumme der Nebenflüsse unterhalb ihren Scheitel überschritten hat, es sei denn ein unterhalb gelegener Retentionsraum wird eingesetzt (s. Gleichung 5). Je nach den Abmessungen der Stauhaltung (Länge, Stauhöhe am Wehr usw.) führt dies dazu, daß im unteren Bereich die Dämme nicht mehr ausreichen. Diese Gefahr ist vor allem dann gegeben, wenn oberhalb einer Stauhaltung eine Strecke mit freiem Abfluß liegt. In diesen Strecken kann die Laufzeit nicht künstlich beeinflußt werden. Solange dort ein größerer Abfluß in Bewegung ist, als der reine Kippbetrieb für die Stauhaltung momentan vorschreibt, wird dieser in die Stauhaltung eintreten und deren Inhalt vergrößern. Dies gilt nicht nur für eine Ausbaulücke in der Staukette, sondern auch dort, wo das Flußbett neben Seitenkanälen zur Hochwasserabführung dient.

Wenn die Dämme für diesen Anstieg des Wasserstandes im unteren Teil der Stauhaltung nicht ausreichen, muß eine Entlastung in unterhalb gelegene Retentionsräume erfolgen. Sobald die oberhalb gelegenen Retentionsräume gefüllt sind und damit der Abfluß durch die Staukette zunimmt, wird deren Inhalt wieder entsprechend vergrößert, so daß dieses Volumen nicht etwa die Retentionsräume unnötig belastet. Das setzt voraus, daß möglichst nahe dem unteren Ende der Stauhaltung ein größerer Retentionsraum zur Verfügung steht, der durch entsprechende Steuerung bis zuletzt noch aufnahmefähig gehalten werden kann. Alle hier angedeuteten Steuerungsmaßnahmen bedeuten allerdings eine Abwendung vom Prinzip des reinen Kippbetriebes.

Bei Strecken mit freiem Abfluß ist von Fall zu Fall zu prüfen, ob nicht ihr Ausbau zu einem Retentionsraum durch Errichtung eines Wehres am unteren Ende und entsprechende Dammerhöhungen wirtschaftlich vertretbar ist. Damit wäre die Lücke in der Staukette geschlossen.

Am Rhein wird ein reiner Kippbetrieb voraussichtlich nicht möglich sein, weil er bei einigen Stauhaltungen zu einer zu großen Erhöhung der Wasserstände oberhalb des Wehres und in den Seitenkanalstrecken führen dürfte. Das Problem läßt sich jedoch dadurch lösen, daß außer den großen Retentionsräumen im Oberlauf noch einige kleinere längs der Staukette eingerichtet werden können. Die Errichtung eines größeren Retentionsraumes am unteren Ende der Staukette wird angestrebt.

3.34. Weitere Voraussetzungen für die Koordinierung verschiedener Maßnahmen durch Kippbetrieb

Im vorigen Abschnitt wurden die Probleme behandelt, die sich aus der Natur der Staukette und der Anordnungsmöglichkeit der Retentionsräume ergeben.

Daß für die Durchführung des Kippbetriebes ein zuverlässig arbeitendes mathematisches Modell des Stromes erforderlich ist, das neben der Staukette auch alle Retentionsmöglichkeiten enthält, versteht sich von selbst. Mit Hilfe dieses Modells muß der Hochwasserablauf aufgrund der eingehenden Wasserstands-, Abfluß- und u. U. meteorologischen Daten dauernd simuliert werden. Die Ergebnisse dieser Rechnungen müssen zu Anweisungen für die jeweilige Bedienung der Steuerungselemente (Wehre, Einlässe usw.) verarbeitet werden. Für den Rhein ist ein solches mathematisches Modell schon im Aufbau.

Die Einrichtungen für die schnelle Übermittlung sowohl der beim Rechenzentrum eingehenden Meßdaten als auch der dort erarbeiteten jeweiligen Bedienungsanweisungen müssen ebenfalls geschaffen werden.

Die Einführung des Kippbetriebes setzt außerdem noch eine hochentwickelte Hydrometrie und eine kurzfristige Abflußvorhersage voraus.

An allen Wehren und Kraftwerken der Staukette sowie an allen Ein- und Auslaßbauwerken der Retentionsräume muß jederzeit der Abfluß ausreichend genau bestimmt werden können. Untersuchungen zur Abflußbestimmung in Stauhaltungen auch bei in Grenzen variablem Stauziel sind am Rhein begonnen worden. Wenn hier auch noch eine große Aufgabe zu bewältigen ist, so ist eine für den Kippbetrieb ausreichend genaue Abflußermittlung sicherlich möglich.

Eine kurzfristige Abflußvorhersage in dem Umfang, wie sie für den Kippbetrieb erforderlich ist, erscheint am Rhein möglich. Sie braucht nur die Zeit zu überbrücken, die von der Messung der gewässerkundlichen und u. U. meteorologischen Daten bis zur Ausführung der im Rechenzentrum ausgearbeiteten Bedienungsanweisungen vergeht.

Schrifttumsverzeichnis

[1] TEUBER, W.: Kontinuierliches Abflußvorhersagen mittels mehrfacher linearer Regression, Dissertation an der Technischen Universität Braunschweig, 1970

[2] EFROYMSEN, M. A.: Multiple Regression Analysis, Mathematical Methods for Digital Computers, Teil V (17), hrsg. v. A. Ralston und H. S. Wilf, Wiley, N.Y., 1960

[3] DIXON, W. J.: BMD-Biomedical Computer Programs, Health Sciences of Preventive Medicine and Public Health School of Medicine, Univ. of California, Los Angeles 1965

[4] LUGIEZ, F., P. Kasser, H. Jensen und P. Guillot: La Prévision des Débits du Rhin. Bulletin of the International Association of Scientific Hydrology, XIV, 1 - 3/1969

[5] BUZENGEIGER, G.: Entwicklung der Schiffahrt auf Flüssen mit geringer Wassertiefe. Verbesserung der Schiffahrt durch Zuschußwasser aus Speicherbecken, dargestellt am Beispiel der Weser. XX. Internationaler Schiffahrtskongreß, Baltimore 1961, Abteilung I, Mitteilung 2

[6] SCHMIDT, F.: Wasserwirtschaftliche Aspekte für den Umweltschutz in Baden-Württemberg, Sonderdruck, Druckhaus Schwaben, Stuttgart 1971

[7] BENSING, W.: Gewässerkundliche Probleme beim Ausbau des Oberrheins, Deutsche Gewässerkundliche Mitteilungen, Heft 4, 1966

[8] NEUMÜLLER, M. und BERNHAUER, W.: Stauregelung und Abflußregelung an Laufwasserkraftwerken, Die Wasserwirtschaft, Heft 10, 1969

[9] WITTMANN, H. und BLEINES: Kraftwerkschwalle und Schiffahrt, Schweizerische Bauzeitung, Nr. 34, 1953

[10] GÖSSLER, D.: Die Einsatzbereitschaft von Pumpspeichersätzen, Schweizerische Bau-Zeitung, Heft 23, 1969

Abteilung I — Binnenschiffahrt

Thema 5

Ausbau der Wasserstraßen im Rahmen einer Politik der Freizeitgestaltung und des Naturschutzes (künstliche Strände, Wassersport, Fischerei/Angelsport usw.)

Von Ernst Bittmann, Dipl.-Ing. und Landschaftsarchitekt, Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz; Helmut Hellhammer, Regierungsbaudirektor, Wasser- und Schiffahrtsamt Rheine; Emil Renner, Präsident, Wasser- und Schiffahrtsdirektion Würzburg; Peter Rohrbach, Regierungsbaudirektor, Bundesministerium für Verkehr, Bonn.

Zusammenfassung

Wasserstraßen sind Mehrzweckanlagen, deren Planung bisher auf den Nutzungen Verkehr, Energie, Wasserwirtschaft, Hochwasserschutz ausgerichtet war. Dabei wurden die naturnahe Gestaltung der Wasserstraßen und beim Ausbau staugeregelter Flüsse und Kanäle die rechtlich geforderten schadenverhütenden Einrichtungen für die Sportschiffahrt soweit wie möglich berücksichtigt. Ein eigenes Planungsziel „Freizeitgestaltung und Erholung an Binnenwasserstraßen" gab es nicht.

Wasserstraßen sind aber wegen ihrer hohen Erlebniswirkung und der unmittelbaren Nutzbarkeit für Freizeitaktivitäten besonders geeignet, die Wünsche fast aller Bevölkerungsteile für Urlaub- und Wochenendgestaltung zu erfüllen. Der wachsende Wohlstand und die anhaltende Arbeitszeitverkürzung drängen darauf, die öffentliche Daseinsvorsorge auch bei der Planung von Wasserstraßen im Rahmen einer Politik der Freizeitgestaltung zu verstärken.

Der nachfolgende Bericht bringt deshalb in 3 Abschnitten die derzeitige Nutzung der Binnenwasserstraßen in der Bundesrepublik Deutschland als Freizeitwert mit Verbesserungsvorschlägen, die Gestaltung neuer Anlagen für den Wassersport an Staustufen und der freien Strecke und den Naturschutz mit Landschaftspflege an den Gewässern.

Abschnitt 1 behandelt den Freizeitwert der vorhandenen Binnenwasserstraßen und zeigt die Entwicklungen auf, die in den letzten Jahren eingetreten und die zu neuen Überlegungen auch im Wasserstraßenausbau Anlaß geben. Diese Überlegungen beziehen sich dabei nicht nur auf die im Abschnitt 2 behandelten technischen Anlagen, sondern behandeln auch die sonstigen Nutzungen an Wasserstraßen, die auch mit der Schaffung künstlicher Strände und neuer Wasserflächen außerhalb der durchgehenden Wasserstraßen und sonstigen für die Freizeitgestaltung erforderlichen Maßnahmen zusammenhängen, z. B. Möglichkeiten der Anlage von Campingplätzen am Wasser in Verbindung mit Bootsliegeplätzen oder Schaffung neuer Wasserflächen beim Ausbau von Kiesgruben für den Angelsport u. a. m. Der Freizeitwert einer Wasserstraße geht deshalb weit über die vorhandenen in Abschnitt 2 geschilderten technischen Anlagen hinaus, läßt sich allerdings nur sehr schwer in einer Kosten-Nutzen-Analyse erfassen. Der Umfang der Entwicklung gibt aber dennoch wertvolle Anhaltspunkte für die Größenordnung der derzeitigen Verhältnisse an Binnenwasserstraßen.

Abschnitt 2 behandelt in umfassender Weise die Gestaltung neuer technischer Anlagen an Binnenwasserstraßen, die der Freizeitgestaltung dienen sollen. Es handelt sich dabei um Großschiffahrtsschleusen, Bootsschleusen, Bootsgassen, Boots-

schleppen, Liege- und Einsetzstellen mit eigenen Sportbootháfen und Einsetzstellen in der freien Strecke.

Anhand jahrelanger Erfahrungen an vorhandenen Anlagen und unter Berücksichtigung der Entwicklung des Wassersportes, sowohl nach Umfang als auch nach modernen Bootsbautendenzen wurden Grundsätze einer künftigen Anlagengestaltung entwickelt, die für die nächsten Jahre eine einwandfreie Planung neuer Anlagen sowie den Umbau veralteter Anlagen richtungweisend gestatten. Die Zunahme der Interessenten am Wassersport zwingt die Wasserstraßenverwaltung, beim Betrieb vorhandener und beim Ausbau neuer Wasserstraßen die Erfahrungen zu verwerten, um dadurch den Tendenzen der neuen Entwicklungen Rechnung zu tragen.

Abschnitt 3 gibt weitgehend biologische Richtlinien und Vorschläge für die Anwendung der Landschaftspflege im Rahmen des Naturschutzes, wobei Grundlagen und Folgerungen mit Vorschlägen gebracht werden. Ohne eine übergeordnete Planung sind die vielfachen und vielseitigen Anforderungen an Binnenwasserstraßen nicht zu erfüllen, sofern nicht chaotische, landschaft- und wasserstraßenfeindliche Auswirkungen hingenommen werden sollen.

Der Aspekt beim Ausbau von Wasserstraßen umfassend auch die Freizeitgestaltung und den Naturschutz so zu berücksichtigen, daß eine harmonische Eingliederung aller Belange möglich ist, erfordert eine Änderung der früheren Planungsmethoden mit neuen Zielen und eine stärkere Betonung der Daseinsvorsorge auf dem Gebiete der Freizeitgestaltung, unter Einfügung der bisherigen Planungsgrundsätze in die neuen, modernen Gedanken der Volkserholung.

Die Auswirkungen einer künftigen Politik der Freizeitgestaltung und des Naturschutzes beim Ausbau von Binnenwasserstraßen sind als Wege neuer Planungsziele am Schluß des Berichtes besonders herausgestellt.

Inhalt

Seite

1. Freizeitgestaltung an Binnenwasserstraßen 118
   1.1. Allgemeines 118
   1.2. Personenschiffahrt 118
   1.3. Sportschiffahrt und Kleinfahrzeuge 119
   1.4. Sonstige Sportarten auf den Binnenwasserstraßen 120
      1.41. Wasserskisport 120
      1.42. Angelsport/Fischerei 120
      1.43. Sportbootvermietung 121
   1.5. Sonstige Anlagen an Binnenwasserstraßen 121
      1.51. Campingplätze 121
      1.52. Sportvereine und Erholungsanlagen, Badeplätze 122
      1.53. Wanderwege 123
   1.6. Schlußfolgerungen 123

2. Technische Anlagen an Binnenwasserstraßen 123
   2.1. Allgemeines 123
   2.2. Schleusen 124

Seite

2.21. Großschiffahrtsschleusen 124
2.211. Anwendungsbereich 124
2.212. Anforderungen an Großschiffahrtsschleusen 124
2.22. Bootsschleusen 125
2.221. Anwendungsbereich 125
2.222. Abmessungen und Anforderungen an die bauliche Gestaltung der Anlagen 125
2.223. Bedienung und Betrieb der Bootsschleusen 128
2.3. Bootsgassen 129
2.31. Anwendungsbereich 129
2.311. Allgemeines 129
2.312. Bauformen 129
2.32. Abmessungen und Anforderungen an die bauliche Gestaltung der Anlagen 130
2.33. Betrieb der Bootsgassen 133
2.4. Bootsschleppen 134
2.41. Anwendungsbereich 134
2.42. Abmessungen und Anforderungen an die bauliche Gestaltung der Anlagen 134
2.5. Liege- und Einsetzstellen 137
2.51. Sporthäfen 137
2.511. Allgemeines 137
2.512. Lage der Sporthäfen 137
2.513. Flächenbedarf 137
2.514. Ausstattung der Wasserliegeplätze 138
2.515. Anlagen zum Umsetzen der Boote 138
2.516. Anforderungen an die bauliche Gestaltung der Hafenbecken ... 139
2.52. Einsetz- und Anlegestellen 139
2.521. Allgemeines 139
2.522. Anwendungsbereich 139
2.523. Abmessungen und Anforderungen an die bauliche Gestaltung .. 140

3. Naturschutz und Landschaftspflege an Binnenwasserstraßen und Gewässern 143
3.1. Einleitung 143
3.2. Ufervegetation 143
3.3. Richtlinien 145
3.4. Folgerungen und Vorschläge 147

4. Künftige Planung und Nutzung der Freizeitgestaltung an Binnenwasserstraßen 147

1. Freizeitgestaltung an Binnenwasserstraßen

1.1 Allgemeines

In einer Zeit der immer weiter um sich greifenden Industrialisierung und Ausdehnung der großen Siedlungsgebiete muß noch ein Mindestraum für das steigende Erholungsbedürfnis der Bevölkerung und des einzelnen Menschen verbleiben. Wasser und Wald bieten diese Erholungsgebiete und lassen erkennen, daß das natürliche Empfinden des Menschen, in seiner Freizeit dorthin auszuweichen, von Jahr zu Jahr zunimmt.

Die Bundeswasserstraßen als die größten Wasserläufe und Stromgebiete in der Bundesrepublik Deutschland hatten schon immer eine besondere Anziehungskraft für Erholungssuchende. Diese Zunahme des Erholungsbedürfnisses ist erkennbar an der Zahl der jährlich eingesetzten Personenschiffe, der laufenden Zunahme der Kleinfahrzeuge wie Motorboote, Segelboote, Ruderboote, Kanus, Fischerboote, an der Zahl der Wasserskistrecken und Campingplätze am Wasser, an der Anzahl der Bootsvermietestellen sowie an der Zunahme der Sportvereine, Erholungsstätten und Badeplätze.

Nachstehend sind deshalb einige Zusammenstellungen wiedergegeben, die den Umfang dieser Entwicklungen nach dem heute erfaßbaren Stand erkennen lassen.

1.2. Personenschiffahrt

Die Personenschiffahrt hat sich in den letzten Jahren laufend erweitert. Sie zeichnet sich aus durch fahrplanmäßige Fahrten, wie sie z. B. am Rhein stattfinden, um einem täglichen Tourismus Rechnung zu tragen. In Verbindung mit anderen Verkehrsmitteln, z. B. Eisenbahn oder Omnibus, können Rundfahrten veranstaltet werden, die sich großer Beliebtheit erfreuen. Auch Kabinenschiffe in festen Reiserouten haben dann Erfolg, wenn sie besonders reizvolle Landschaftsgebiete berühren und überwiegend im freien Strom ohne Staustufen verkehren können. Die Fahrtdauer dieser Schiffe liegt dabei zwischen 5—10 Tagen. Neben den fahrplanmäßigen Fahrten sind kleine Kaffee-Fahrten oder ganztägige Betriebsausflüge sehr beliebt, die für viele Angehörige von Industriewerken und Betrieben ein besonderes Erlebnis bedeuten und den Gemeinschaftsgedanken fördern. Die Erweiterung von Wasserstraßen in große Siedlungsräume hinein wird dabei als besondere Attraktivität empfunden.

Die nachfolgende Tabelle zeigt, daß mit etwa 248 Personenschiffen (nicht ausländische) und rd. 80 400 zugelassenen Beförderungsplätzen im Jahr mehrere Millionen Menschen die Landschaft vom Wasser aus erleben wollen.

Stromgebiet	Wasser- und Schiffahrts-direktion	Anzahl	
		Fahrgastschiffe	Plätze
Rhein	Freiburg	1	190
Rhein	Mainz	ca. 20	3 000
Rhein	Duisburg	121	54 079
Nordwestdeutsche Kanäle	Münster	7	1 327
Weser und Mittelland-kanal	Hannover	30	6 521
Neckar	Stuttgart	30	6 800
Main	Würzburg	25	5 596
Donau	Regensburg	14	2 887
		248	80 400

1.3. Sportschiffahrt und Kleinfahrzeuge

Die Anzahl der Kleinfahrzeuge, die sowohl für Vereine wie für Private auf den Bundeswasserstraßen verkehren, hat in den letzten Jahren erheblich zugenommen. Besonders Motor- und Segelboote stehen dabei an erster Stelle. Auch diese Entwicklung kann in nachstehender Tabelle für die Budeswasserstraßen erfaßt werden. Die beiden Jahre 1970/71 mußten aus statistischen Gründen zusammengefaßt werden.

Der Trend der Entwicklung zeigt eine laufende Zunahme vor allem der Motorboote. Dadurch werden Probleme aufgeworfen, die für die Binnenwasserstraßen nicht ohne weiteres gelöst werden können, wenn nicht erhebliche finanzielle Mittel zur Verfügung stehen oder dringend notwendige Bestimmungen eingehalten werden. Hier steht an erster Stelle die Unterbringung der nichttragbaren, schweren Boote in eigenen Sportboothäfen. Diese Frage wird besonders in Kanälen mit einem begrenzten Fahrwasser akut, weil hier unbemannte Boote wegen der Gefahr des Abreißens durch die gewerbliche Binnenschifffahrt, nicht liegenbleiben können.

Die nachfolgende Zusammenstellung ergibt Ende 1970/Anfang 1971 rd. 80 000 Kleinfahrzeuge, die auf den Bundeswasserstraßen vorhanden sind und überwiegend an Wochenenden und Feiertagen die Wasserstraßen befahren. Da die Zunahme der Kleinfahrzeuge nach statistischen Ermittlungen je Jahr etwa 10 % beträgt, dürfte sich die Zahl der Kleinfahrzeuge auf den Bundeswasserstraßen Ende 1972 der 100 000-Grenze nähern.

Stromgebiet	Wasser- und Schiffahrts-direktion	Anzahl der Klein- und Sportfahrzeuge Stand: Ende 1970				
		Motor-boote	Segel-boote	Ruder-boote	Fischer-boote	Gesamt
Rhein	Freiburg	1 800	542	755	15	3 112
Rhein, Mosel, Lahn	Mainz					10 000 *)
Rhein	Duisburg	13 568	1 638	14 902	8	30 116
Nordwestdeutsche Kanäle	Münster	2 858	5 358 **)		—	8 216
Weser und Mittellandkanal	Hannover	9 044	377	3 031	62	12 514
Neckar	Stuttgart	3 172	1 371 **)		8	4 551
Main	Würzburg	5 378	401	3 323	183	9 285
Donau	Regensburg	1 800	—	1 000	—	2 800
						80 594

*) geschätzt
**) Segel- u. Ruderboote zusammen

Die Zunahme dieser Kleinfahrzeuge, die teilweise als Kajütboote mit allem Komfort ausgestattet sind, ist eindeutig eine Folge des hohen Lebensstandards in der Bundesrepublik, der laufend zunehmenden Freizeit und des Trends der Menschen zum Wasser, weg von der Straße.

Hier sei erwähnt, daß die Wasser- und Schiffahrtsverwaltung der Bundesrepublik ein Merkblatt für den Wassersport im deutschen Rheingebiet und ein Merkblatt für Wassersportler im Binnenbereich herausgibt (Ausgabe 1972), die die Wassersporttreibenden auf besonders wichtige Punkte, die sie bei der Ausübung des Wassersports beachten müssen, hinweisen und ihnen einen Anhalt dafür geben, wo die entsprechenden Bestimmungen zu finden sind.

1.4. Sonstige Sportarten auf den Binnenwasserstraßen

1.41. Wasserskisport

Die Sportart des Wasserskilaufens, die vor Jahren noch auf ruhigen Seen und Meeresküsten beschränkt war, hat in den letzten Jahren auch auf den Bundeswasserstraßen weitgehend Eingang gefunden. Für diese Sportart soll versucht werden, einen Überblick über Anzahl der Strecken in den einzelnen Stromgebieten zu erhalten. Die nachfolgende Tabelle läßt erkennen, wo Wasserskisport möglich ist und wo er wegen des starken gewerblichen Binnenschiffsverkehrs und der beschränkten Wasserverhältnisse nicht zugelassen werden kann.

Stromgebiet	Wasser- und Schiff-fahrtsdirektion	Anzahl der zu-der zugelassenen Strecken	Länge in km	Bemerkungen
Rhein	Freiburg	13	65,2	
Rhein, Mosel, Lahn	Mainz Mainz	50	98,8	
Rhein	Duisburg	25	82,8	
Nordwestdeutsche Kanäle	Münster	—	—	Wasserski wegen Fahrwasserbegrenzung nicht zugelassen
Weser, Werra, Fulda, Aller, Leine, Edersee	Hannover Hannover Hannover	17	30,8	
Neckar	Stuttgart	—	—	Wegen zu engen Fahrwassers nicht zugelassen
Main	Würzburg	37	61,45	
Donau	Regensburg	7	89,55	Überwiegend auf Wasserflächen der Staustufen beschränkt.
		149	428,6	

Mit rd. 149 Wasserskistrecken sind etwa 429 km Bundeswasserstraßen für den Wasserskisport freigegeben. Dieses Entgegenkommen der Wasserstraßenverwaltung ist nur dadurch möglich, daß sich die Sporttreibenden selbst einer strengen Disziplin unterwerfen. Dadurch ist es bisher möglich gewesen, die Gefahren des Wasserskilaufens für die Sporttreibenden und für die gewerbliche Binnenschiffahrt in vertretbaren Grenzen zu halten.

1.42. Angelsport/Fischerei

Während die offizielle Berufsfischerei von Jahr zu Jahr abnimmt, weil die wirtschaftliche Attraktivität des Berufsfischens durch das Volks-Nahrungsmittel „See-Fisch" nicht mehr wie früher gegeben ist, nimmt der Angelsport, also die Sportfischerei als Freizeiterholung laufend zu. Soweit die Flüsse noch ungestaut sind und die Verschmutzung des Wassers noch nicht zu weit fortgeschritten ist, hängt das Sportfischen in der freien Strecke von der jeweiligen Wasserführung des Stromes ab. Die hier gegebenen Möglichkeiten sind deshalb sehr unterschiedlich zu bewerten. Wenn es sich dagegen um staugeregelte Flüsse handelt, wird das Sportfischen sehr attraktiv. Sowohl im freien gestauten Fluß, wie auch in Altwässern und Kiesgruben mit ruhigem, meist auch qualitativ wesentlich

besserem Wasser als am Fluß, ist heute die Sportfischerei ein echtes Bedürfnis der Freizeitgestaltung auf breiter Ebene geworden.

Die früher bei Stauanlagen vorgeschriebenen und wasserrechtlich geforderten Fischpässe haben ihre Erwartungen nicht erfüllt. Sie werden deshalb heute durch Besatzauflagen in den einzelnen Stauhaltungen ersetzt. Da der Aufwuchs der jungen Fische und des Besatzes in Kiesgruben, die noch mit dem Fluß in Verbindung stehen, günstiger ist, wird sich das Sportangeln künftig auf diesen Wasserflächen neben den Binnenwasserstraßen konzentrieren.

1.43. Sportbootvermietung

In größeren Siedlungsgebieten hat sich in den letzten Jahren die Vermietung von kleinen Sportbooten eingebürgert. Sie stellt ein beliebtes Mittel zur Erholung auf dem Fluß dar. Hierzu muß jedoch festgestellt werden, daß für Unkundige das Wasser und die Bedienung solcher Boote (kleine Kanus, Wassertretboote) eine gewisse Gefahr bedeuten, wenn die Mieter nicht ausreichend vom Vermieter auf diese Gefahren auf dem Wasser aufmerksam gemacht werden. Die durchgehende gewerbliche Schiffahrt sowie die Personenschiffahrt sind über diese Wassersportart wenig erfreut, weil sie den Verkehr auf den Wasserstraßen stört und dabei Fahrzeuge, Besatzung und Sporttreibende in große Gefahren bringen kann.

1.5. Sonstige Anlagen an Binnenwasserstraßen

1.51. Campingplätze am Fluß

Campingplätze liegen in der Regel an landschaftlich besonders reizvollen Stellen der Flußtäler. Das zunehmende Interesse, sich am Wasser zu erholen, hat deshalb auch die Zahl der Campingplätze an den Binnenwasserstraßen in den letzten Jahren beträchtlich ansteigen lassen.

Die nachstehende Tabelle zeigt die Anzahl der Campingplätze und der etwaigen Stellplätze in den einzelnen Stromgebieten

Stromgebiet	Wasser und Schifffahrtsdirektion	Anzahl Campingplätze	etwaige Anzahl Stellplätze
Rhein	Freiburg	5	ca. 200
Rhein	Mainz	31	1 550 *)
Mosel	Mainz	30	1 500 *)
Lahn	Mainz	20	1 000 *)
Saar	Mainz	14	700 *)
Rhein	Duisburg	33	1 806
Nordwestdeutsche Kanäle	Münster	60	3 000 *)
Weser	Hannover	31	5 590
Werra	Hannover	2	300
Fulda	Hannover	2	200
Aller	Hannover	6	1 450
Edertalsperre	Hannover	10	1 230
Diemeltalsperre	Hannover	6	510
Neckar	Stuttgart	19	1 000
Main	Würzburg	38	5 144
Donau	Regensburg	7	350
		314	25 530

*) je C-Platz 50 Stellplätze geschätzt

Mit 314 Campingplätzen ist eine Stellmöglichkeit für Zelte oder Wohnwagen an Binnenwasserstraßen von über 25 500 vorhanden, ein Beweis für das Bedürfnis solcher Plätze am Wasser. Der Komfort dieser Plätze wird von Jahr zu Jahr besser, weil die Ansprüche der Menschen steigen. Restaurants, Tankstellen, sanitäre Anlagen, Kinderspielplätze, Freilichtbühnen, Badeplätze und nicht zuletzt Sportbootliegeplätze in Verbindung mit guten Strom- und Wasseranschlüssen für jeden einzelnen Campingstellplatz sind heute bereits Forderungen, die vom Besucher an fast jeden Campingplatz am Wasser gestellt werden.

1.52. Sportvereine und Erholungsanlagen, Badeplätze

Die nachfolgende Tabelle zeigt das große Interesse der sportlichen Betätigung in Vereinen, speziell auf den Binnenwasserstraßen (freien Flüssen, staugeregelten Flüssen und Kanälen):

Stromgebiet	Wasser- und Schiffahrtsdirektion	Sport- und Erholungsanlagen am Strom	Badeanlagen im Strom	Badeanlagen am Strom
Rhein	Freiburg	27	2	1
Rhein	Mainz	126	—	13
Mosel	Mainz	20	—	13
Saar	Mainz	14	—	19
Lahn	Mainz	65	17	22
Rhein	Duisburg	72	—	—
Nordwestdeutsche Kanäle	Münster	129	6	23
Weser	Hannover	23	1	9
Werra	Hannover	4	—	—
Fulda	Hannover	28	—	2
Aller	Hannover	14	—	—
Edertalsperre	Hannover	16	Ufer frei	—
Diemeltalsperre	Hannover	1	Ufer frei	—
Mittelland-Kanal	Hannover	11	2	6
Neckar	Stuttgart	92	3	16
Main und Main-Donau-Kanal	Würzburg	152	12	30
Donau	Regensburg	11	Ufer frei	—
		805	43	154

Etwa 805 Sportvereine sind an den Binnenwasserstraßen ansässig und an der Ausübung des Wassersports — Rudern, Kanu fahren, Segeln, Wasserski fahren usw. — interessiert.

Die Ausnutzung des Wassers für Badezwecke hat jedoch in den letzten Jahren erheblich abgenommen, weil die laufende Verschlechterung der Wasserqualität hier einen spürbaren Riegel vorschiebt.

Während die Flüsse vor Jahrzehnten für Badezwecke nahezu ohne Einschränkung genutzt werden konnten, bilden heute gewisse Flußstrecken durch die starke Verschmutzung mit kommunalen und industriellen Abwässern eine Gefahr für die Gesundheit und das Leben der Menschen. Die Badeanstalten für Baden im Strom nehmen deshalb laufend ab, während die Badeanstalten neben dem Gewässer, weil sie ganjährig mit sauberem

Wasser versorgt werden können, den Menschen anziehen. Bei Schiffahrtskanälen in hochindustrialisierten Gebieten und großen Siedlungsräumen stellt das Baden in diesen Kanälen ein Problem dar, das wegen der Unfallgefahr für die Badenden einer dringenden Lösung bedarf. Hier können nur zusätzliche Anlagen außerhalb der Wasserstraßen dazu beitragen, den Wunsch nach Erholung zu befriedigen. Hierbei müssen auch soziale Gesichtspunkte berücksichtigt werden, indem der Preis für den Eintritt in die Badeanstalten auf ein Minimum herabgesetzt wird.

Eine wertvolle Bereicherung des Bedürfnisses, sich am Wasser zu erholen, stellen die vielen Kies- und Baggergruben dar, die mit dem Strom noch in Verbindung stehen. Hier bieten sich neue Möglichkeiten an, die aber nur dann zum Erfolg führen können, wenn diese Plätze entsprechend bewacht, gepflegt und mit sanitären Anlagen ausgestattet werden. Es hat sich gezeigt, daß bei fehlender Betreuung oder Überwachung landschaftlich wieder reizvoll gestaltete Baggerseen nach kurzer Zeit restlos verwildern und zerstört werden.

1.53. W a n d e r w e g e

Die Fußgänger, Wanderer und Bürger der Städte und des gesamten Siedlungsraumes an Binnenwasserstraßen müssen Zugänge zu deren Ufer, gut begehbare Uferwege, Sitz- und Ruhegelegenheit erhalten. Durch Bepflanzung der Ufer sollte der Wasserlauf in die Landschaft natürlich eingebunden werden. Zur Erfüllung dieser Forderung ist dadurch die Möglichkeit gegeben, daß die Verwaltung für die Uferunterhaltung einen Arbeitsstreifen benötigt, der Eigentum des Staates ist und der damit der Öffentlichkeit zugänglich gemacht werden kann. Hier unterscheiden sich die Binnenwasserstraßen in der Bundesrepublik grundsätzlich von den Seelandschaften, deren Ufer weitgehend in Privatbesitz und somit der Öffentlichkeit nicht mehr zugänglich sind. Die Arbeitsstreifen entlang der Ufer, sowie die Wege auf den Dämmen und den Einschnittsstrecken der Kanäle können als Spazier- und Wanderwege freigegeben werden, sofern die Haftungsfrage geklärt werden kann.

1.6. Schlußfolgerungen

Die Zunahme des Erholungswertes der Binnenwasserstraßen steht aufgrund der dargestellten Entwicklung fest [3, 4]. Er ist jedoch bisher in Form einer Kosten-Nutzen-Analyse nicht ermittelt worden. Es scheint daher dringend erforderlich zu sein, daß dies geschieht. Beim Ausbau des Europakanals Rhein-Main-Donau ist der Auftrag erteilt worden, für den gesamten bayerischen Main, den Main-Donau-Kanal und den Donaubereich ein entsprechendes Gutachten zu erstellen [1]. Der Europakanal bietet insgesamt und in dem noch zu bauenden Abschnitt Nürnberg—Donau eine Chance, mit der künftigen Entwicklung auf diesem Gebiet Schritt zu halten [2]. Die entsprechende Zielsetzung für alle Binnenwasserstraßen in der Bundesrepublik Deutschland ist deshalb am Schluß des vorliegenden Berichtes nochmals zusammengefaßt worden.

2. Technische Anlagen an Binnenwasserstraßen

2.1. Allgemeines

Mit der Verkürzung der regelmäßigen Arbeitszeit gewinnt die Freizeit ständig an Bedeutung. Dementsprechend weist auch der Wassersport, der sich inzwischen zu einem Breiten-Sport entwickelt hat, hohe Zuwachsraten auf. Ein erheblicher Teil dieser Wassersport- und Erholungswelle drängt auf die Wasserstraßen, vor allem, weil sich ein großer Teil der Ballungszentren in deren unmittelbarer Nähe befindet. Dem Freizeitwert der Wasserstraßen kommt deswegen heute eine besondere Bedeutung zu. Dies gilt sowohl für freifließende Flüsse als auch für kanalisierte Flüsse und für Kanäle. Insbesondere

durch Stauregelungen können für den Wassersport ideale Möglichkeiten geschaffen werden, sofern seine Belange bei der Planung und beim Ausbau gebührend berücksichtigt werden. Das letztere ist in der Vergangenheit aus heutiger Sicht jedoch nur in unzureichendem Maße der Fall gewesen. Insbesondere die Sportschiffahrtsanlagen an älteren Stauanlagen, soweit überhaupt welche vorhanden sind, können deswegen aufgrund der völlig veränderten Verhältnisse den heutigen Anforderungen hinsichtlich ihrer Abmessungen und technischen Gestaltung nicht mehr gerecht werden. Hierbei muß allerdings berücksichtigt werden, daß die Art der ausgeführten Sportbootanlagen durch den jeweiligen Bedarf der Sportschiffahrt und den technischen Entwicklungsstand zur Bauzeit der einzelnen Wasserstraßenabschnitte bestimmt wurde.

Im Zuge der Entwicklung neuer Freizeitaktivitäten erscheint es geboten, beim Bau neuer Schiffahrtsanlagen — sei es bei neuen Ausbaumaßnahmen oder bei der Umgestaltung unzureichender bestehender Anlagen — allen zeitgemäßen Belangen der Kleinschiffahrt für Sport und Freizeit unter Berücksichtigung der weiteren Entwicklungstendenzen — gestützt auf die beim Betrieb neuerer Anlagen gewonnenen Erfahrungen — Rechnung zu tragen. Dies gilt sowohl für die Anlagen zur Überwindung von Gefällstufen als auch für die Liege- und Einsetzstellen auf der freien Strecke, die sowohl im Interesse des ruhenden Verkehrs als auch der durchgehenden Schiffahrt von besonderer Bedeutung sind. Nachfolgend ist eine Reihe von wichtigen, sich aus diesen Gesichtspunkten ergebenden Anforderungen, die an neuzeitliche Schiffahrtsanlagen für Sport und Freizeit an Binnenwasserstraßen gestellt werden sollten, zusammengestellt. Soweit zum Verständnis notwendig, werden hierbei bewährte Betriebseinrichtungen neuerer Anlagen kurz erläutert. Auch sinnvoll und wirtschaftlich vertretbar erscheinende Weiterentwicklungsmöglichkeiten werden aufgezeigt. Die Ausarbeitung stützt sich auf einen entsprechenden vorläufigen Richtlinienentwurf, der im Jahre 1972 von einer Arbeitsgruppe im Auftrag des Bundesverkehrsministeriums in Bonn ausgearbeitet wurde.

2.2. *Schleusen*

2.21. Großschiffahrtsschleusen

2.211. Anwendungsbereich

Die Überwindung einer Gefällstufe durch Schleusenanlagen kommt besonders dann in Betracht, wenn mit größeren Sport- und Freizeitbooten, d. h. in erster Linie Motorbooten und Segelyachten, zu rechnen ist. Sofern Schleusen für die gewerbliche Schiffahrt vorhanden sind, kommt auch das Mit- oder Sonderschleusen in diesen Schleusenkammern in Frage. Dies sollte jedoch auf diejenigen Fälle beschränkt bleiben, in denen der Bootsverkehr relativ gering ist oder die jeweiligen Verhältnisse bei geringem Umfang der gewerblichen Schiffahrt eine Trennung des Verkehrs im Betrieb der Schiffahrtsschleusen zulassen.

2.212. Anforderungen an Großschiffahrtsschleusen

Je nach Art des Füll- und Entleerungssystems sollte untersucht werden, ob für das sichere Mit- und Sonderschleusen von Sport- und Freizeitbooten ein gesondertes Schleusungsprogramm mit reduzierten Geschwindigkeiten notwendig ist oder durch technische Gestaltung der Großschiffahrtsschleusen auch mit großen Fallhöhen von 10—30 m ein ruhiges Liegen der Sportboote beim Schleusungsvorgang gewährleistet ist.

In den Vorhäfen sollten sichere Warteplätze mit Anlegemöglichkeiten geschaffen werden. Zweckmäßig ist die Anordnung auf der von der Großschiffahrt nicht oder weniger benutzten Vorhafenseite, möglichst in Kammernähe, jedoch außerhalb des unmittelbaren

Strömungsbereichs bei Kammerentleerung. Die Liegeplätze sollten vom Schleusensteuerstand aus eingesehen werden können und eine Zugangsmöglichkeit zur Schleuse besitzen.

Betriebliche Voraussetzung ist, daß die Schiffahrtsschleusen, besonders in Ballungsgebieten, auch in den Hauptverkehrszeiten der Sportschiffahrt (Wochenende, Feiertage) benutzt werden können. Auch diese Anforderung wird Anlaß geben, in Zukunft eine Automatisierung des Schleusungsbetriebes anzustreben bzw. feste Schleusungszeiten einzuführen, die dann für jeweilige Berg- oder Talschleusungen von einer Haltung in die andere für die Sportboote bindend sind. Dies wird bei Schleusen mit großen Fallhöhen wegen der hohen Wasserverluste eine feste Betriebsregelung für die Sportschiffahrt bringen.

2.22. Bootsschleusen

2.221. Anwendungsbereich

Bootsschleusen als zusätzliche Anlage zu Großschiffahrtsschleusen kommen besonders bei verkehrsreichen Wasserstraßen in Betracht, wo wegen der umfangreichen gewerblichen Schiffahrt oder wegen des starken Sport- und Freizeitbootverkehrs Mit- und Sonderschleusungen aus Gründen der Gefahr unerwünscht sind. Auch bei Binnenwasserstraßen mit überwiegendem Verkehr von Motorbooten und kleinen Fahrgastschiffen können Bootsschleusen zweckmäßig sein.

2.222. Abmessungen und Anforderungen an die bauliche Gestaltung der Anlagen

Schleusenkammer

Nach den bisherigen Erfahrungen sollten bei neuen Anlagen folgende Abmessungen nicht überschritten werden:

Nutzbare Länge (L_n): 20,0 m

Nutzbare Breite (B_n): 3,50 m (Minimum) bis 4,50 m

Maximale Breite: 7,0 (doppelte Belegbreite bei starker Belegung)

Als Sicherheitsabstände an den Häuptern sollten folgende Mindestwerte zugrunde gelegt werden:

Sicherheitsabstand am Oberhaupt zwischen Kammerlängenmarkierung und Vorderkante des Drempels: $s_o = 1{,}0$ m

Sicherheitsabstand am Unterhaupt zwischen Kammernutzlängenmarkierung und der nach Oberwasser gerichteten Vorderkante des Untertores, bei Schlag- bzw. Stemmtoren + Vorderkante der Stemmtornische: $s_u = 0{,}50$ m.

Mindestdrempeltiefe — bezogen auf den ungünstigen Wasserstand nach dem Ausbau —: 1,80 m.

Höhe der Schleusenplattform über dem Normalstau: mind. 0,75 m, höchstens 1,0 m.

Die Mindestausrüstung der Kammerwände sollte auf jeder Kammerseite aus 2 Haltestangen und 2 Nischenpollerreihen mit links daneben angeordneten Steigleitern, von denen jeweils eine bis zur Kammersohle durchzuführen ist, bestehen. Von Fall zu Fall muß jedoch geprüft werden, ob bzw. inwieweit die Haltestangen durch Nischenpoller zu ersetzen sind. Die Verwendung von Schwimmpollern anstelle der Nischenpollerreihen wäre zu begrüßen. Auf der Schleusenplattform sind jeweils auf Höhe der Haltestangen bzw. der Nischenpoller Kantenpoller anzuordnen. Ein Vorschlag für eine derartige Regelausrüstung einer Bootsschleusenkammer ist in Bild 1 dargestellt.

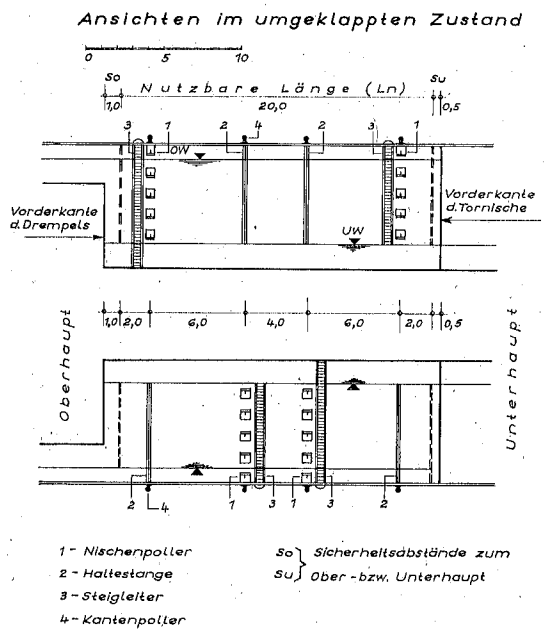


Abb. 1: Bootsschleuse
Regelausrüstung der Kammerwände

Die bisher verwendeten Füll- und Entleerungseinrichtungen (in den Schleusentoren) stellen — insbesondere für größere Fallhöhen — noch keine optimale Lösung dar. Durch die Automatisierung verringert sich ferner die Einflußmöglichkeit des Bedienenden auf den Schleusungsvorgang. Ziel der weiteren Entwicklung sollte es daher sein, bei zügigem Ablauf der Schleusung eine möglichst ruhige Lage aller Bootsarten zu erreichen. Nach den bisherigen Erfahrungen dürfte dies am ehesten über ein Längskanalsystem zu erreichen sein, wofür eine baureife Lösung in Modellversuchen ermittelt werden müßte.

Schleusenvorhäfen

Allgemeine Grundsätze für die Anordnung

Bei Flußkanalisierungen hat sich die Anordnung der Bootsschleusen neben dem Wehr bewährt. Generell müssen die Vorhäfen so ausgebildet werden, daß die Fahrzeuge bis zum höchsten Betriebswasserstand der Bootsschleuse sicher ein- und ausfahren sowie darin festmachen und liegen können. Die Vorhäfen sind daher durch geeignete Trennmolen im OW und UW gegen die Strömung vom Wehr bzw. Kraftwerk abzusichern.

Größe, Verlauf und Ausbildung (an den Enden eventuell durchbrochen) richten sich nach den örtlichen Gegebenheiten. Im UW ist auch der Einfluß der Verlandung zu berücksichtigen.

Abmessungen und Ausbildung der Vorhäfen

Die Vorhafenbreite setzt sich zusammen aus:

Fahrspurbreite B_f =	7,5 m	(für Ruderboote)
Liegeplatzbreite B_l (= Schleusenbreite) mindestens =	3,5 m	
Sicherheitsabstand s =	0,75 m	
Gesamtbreite $B_f + B_l + s \geqq$	11,75 m	

Soweit keine Ruderboote berücksichtigt werden müssen, kann B_f auf B_l ermäßigt werden. Normalerweise wird man die Achse der Fahrspur in Verlängerung der Kammerachse anordnen. Nur bei ungünstigen örtlichen Verhältnissen sollte die Trennmole in geradliniger Verlängerung einer Kammerwand angeordnet werden. Die Neigung der Einfahrtsleitwerke im Grundriß kann relativ groß sein, da die wendigen Boote beim Einfahren ihre große Manövrierfähigkeit ausnutzen können. Für dieses Maß werden daher in der Regel hydrauliche Gesichtspunkte (Kammerfüllung bzw. Entleerung) maßgebend sein.

Die Liegeplatzlänge ist so zu bemessen, daß im Vorhafen mindestens eine Schleusenfüllung an Fahrzeugen aufgenommen werden kann. Sie sollte jedoch den 1,5-fachen Wert der nutzbaren Kammerlänge nicht unterschreiten. Der Liegeplatzbereich muß mit geeigneten Festmachevorrichtungen ausgerüstet werden. Hierfür kommen — jeweils entsprechend der Uferausbildung — in einem Regalabstand von 5 m — senkrechte versenkte Haltestangen, kleine Nischen- oder Böschungspoller, einfache Dalben oder waagerechte, versenkte Haltestangen, die bei allen Betriebswasserständen benutzbar sein müssen, in Frage.

Geböschte Ufer sind wegen ihrer wellenbrechenden Funktion vorzuziehen. Im Liegeplatzbereich müssen sowohl die Böschungsflächen als auch senkrechte Ufereinfassungen möglichst glatt sein.

Die Fahrwassertiefe in den Vorhäfen im OW und UW sollte — bezogen auf den jeweils ungünstigsten Wasserstand nach dem Ausbau — 1,80 m betragen. (Bild 2, Vorhafen)

Anlegestellen

Die Ausbildung der auf der Liegeplatzseite vorzusehenden Anlegestelle richtet sich nach der Art der Ufereinfassung. Ihre Mindestabmessungen sollten 7 m für die Länge und 3 m für die Breite nicht unterschreiten. Die verschiedenen Möglichkeiten der Ausbildung sind unter Punkt 2.523. beschrieben.

Zufahrten zur Bootsschleuse

Durch die anzustrebende Trennung des durch die Bootsschleuse gehenden Verkehrs von der Großschiffahrt sind zwischen den Trennmolenspitzen im OW und UW in der Regel Zufahrten zur Bootsschleuse außerhalb des Fahrwassers der Großschiffahrt not-

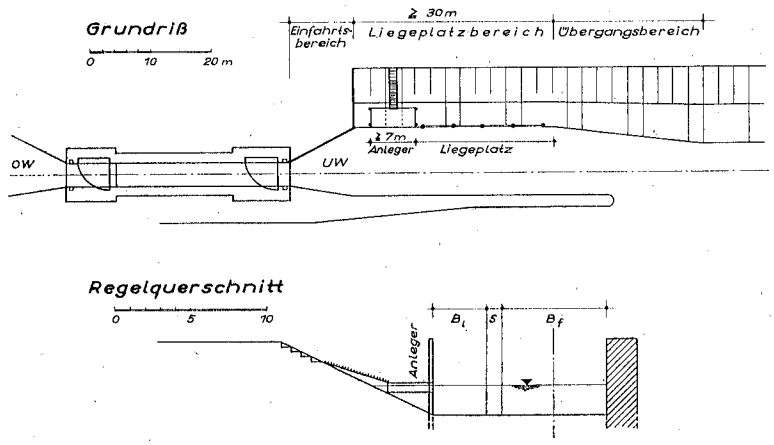


Abb. 2: Bootsschleuse — Vorhafen im Unterwasser

wendig. Die Mindestbreite des Fahrwassers sollte bei schwierigen Untergrundverhältnissen 8 m, sonst wenigstens 10 m, betragen. Unterhaltungstechnische Gesichtspunkte können u. U. eine größere Breite erforderlich machen. Die Mindestfahrwassertiefe sollte 1,50 m betragen. Wichtig ist, daß die Abzweigung von der Großschiffahrtstraße deutlich beschildert und vor allem die ausgebaggerten Zufahrten im UW markiert werden.

2.223. Bedienung und Betrieb der Bootsschleusen

Die Bootsschleusen sind für eine selbständige Bedienung einzurichten, die möglichst einfach, sicher und bequem sein muß. Der bereits entwickelte ölhydraulische Antrieb mit automatischer Zwangssteuerung hat sich hierfür bewährt. Durch eine automatische Steuerung laufen die einzelnen Bewegungen der Tore und Schütze für einen kompletten Schleusungsvorgang durch einen fortlaufenden Antrieb in der richtigen Reihenfolge ab, wobei vorher lediglich die Schleusungsrichtung (Berg- oder Talfahrt) durch einen Wahlschalter vorgewählt werden muß. Der Antrieb der Ölpumpe muß maschinell erfolgen. Eine Bedienung mittels Handkurbel, wie sie an älteren Bootsschleusen teilweise noch vorhanden ist, ist überholt. So wurden beispielsweise sämtliche Moselbootsschleusen, die ursprünglich von Hand bedient werden mußten, nachträglich mit einem maschinellen Antrieb ausgerüstet.

Antrieb und Steuerung müssen so gestaltet werden, daß bei jeder Phase des Schleusenvorganges jeder Bewegungsablauf (sowohl der Schleusentore als auch der Wasserspiegelveränderung in der Kammer) aus Sicherheitsgründen gestoppt und nach Möglichkeit auch rückgängig gemacht werden kann.

Bedienungseinrichtung

Bei den vorhandenen modernen Bootsschleusen ist die Steuereinrichtung zentral (und hochwassersicher) auf der Schleusenplattform angeordnet. Sie umfaßt einen Wahlhebel, mit dem die Schleusungsrichtung (Berg- bzw. Talfahrt) vorgewählt wird, sowie einen Schaltknopf für den Antrieb. Wird dieser mit einer Selbsthaltung versehen, muß zusätzlich ein „Nothalteknopf" angeordnet werden, mit dem der Antrieb bei Gefahr angehalten und anschließend der gegenläufige Bewegungsvorgang eingeleitet werden kann (System der Moselbootschleusen). Wird keine Selbsthaltung für den Einschaltknopf gewählt, entfällt der Nothalteknopf. In diesem Falle muß jedoch der Einschaltknopf während der gesamten Dauer des Schleusungsvorganges gedrückt werden, was eine mindestens 2köpfige Besatzung erfordert (System der 1971 in Betrieb genommenen Bootsschleuse der neuen Mainstaustufe Kleinostheim). Bei der Entscheidung für eine der beiden Bedienungsmöglichkeiten sind erhöhte Sicherheitsanforderungen gegen betriebliche Vorteile abzuwägen.

Die Einfahrt von OW und UW wird durch Tageslichtsignale, die mit dem Antrieb elektrisch gekoppelt sind, geregelt.

Als ideal kann eine Steuereinrichtung angesehen werden, die ohne Verlassen der Fahrzeuge bedient werden kann. Hierzu müßten die jeweils notwendigen Steuereinrichtungen an den Anlagestellen im oberen und unteren Vorhafen und in der Schleusenkammer so angeordnet werden, daß sie bei allen möglichen Betriebswasserständen vom Boot aus bedient werden können (wasserdichte bzw. wasserunempfindliche Ausführung). Durch die entfallende Verständigungsmöglichkeiten zwischen Berg- und Talfahrer in Verbindung mit dem notwendigen vollautomatischen Betriebsablauf wird der Steuerungsmechanismus umfangreicher. Die Entwicklung dieser Bedienungseinrichtung „der Zukunft" ist jedoch technisch lösbar.

2.3. *Bootsgassen*

2.31. Anwendungsbereich

2.311. Allgemeines

Die Bootsgasse ist — besonders in talwärtiger Fahrtrichtung — die einzige Einrichtung zur schnellen und sportlichen Überwindung von Gefällstufen. Sie ist in erster Linie für Kanus gedacht, kann jedoch bei entsprechender Konstruktion auch von Ruderbooten benutzt werden. Sie ermöglicht dem Wassersportler eine ungehinderte Talfahrt. Besonders für Kanus, die die Fahrt im strömenden Wasser bevorzugen, wird hierdurch der Reiz einer Wasserstraße erhöht. Bei der wesentlich seltener vorkommenden Bergfahrt kann das Boot von Hand mit relativ geringer Zugkraft getreidelt werden.

Die Bootsgasse sollte deswegen überall dort gebaut werden, wo ein beträchtlicher Sportbootverkehr vorhanden oder durch den Bau einer neuen Stauanlage zu erwarten ist. Dies trifft für Flüsse in reizvollen, landschaftlich schönen Gegenden besonders zu. Wegen ihrer großen Leistungsfähigkeit empfehlen sie sich außerdem in Regionen, wo mit einem starken Andrang der Sportschiffahrt zu rechnen ist (Ballungszentren). An sportlich interessanten Großschiffahrtsstraßen sollte sie nach dem Vorbild einer Reihe von Moselstaustufen zusätzlich zur Bootsschleuse angeordnet werden.

Die Baukosten und der Wasserverbrauch von Bootsgassen liegen erheblich unter denjenigen von Bootsschleusen.

2.312. Bauformen

Die Bootsgassenanlage setzt sich aus dem Anfahrtsraum im OW, der Gasse (Einlaufbauwerk und Rinne) und dem Ausfahrtsraum im UW zusammen. Es wird zwischen offenen und geschlossenen Bootsgassen unterschieden.

Offene Gassen besitzen keinen Verschluß und werden ständig durchströmt. Deswegen kommen sie nur in Frage, wenn die erforderliche Betriebswassermenge (je nach Gassenbreite zwischen 1,5 und 2,5 m^3/s) durch die Wasserführung des Flusses jederzeit garantiert ist und kein anderweitiger Bedarf besteht.

Geschlossene Gassen sind mit einem beweglichen Verschluß ausgestattet. Die Rinne wird nur zum Füllen und für die Dauer der Durchfahrtsmöglichkeit durchströmt. Diese Bauart erspart Wasser und kann auch dann noch angewandt werden, wenn die Wasserführung des Flusses unter der Betriebswassermenge der Bootsgasse liegt.

Nach der Art der Benutzung kann zwischen folgenden Gassentypen unterschieden werden:

K-Gasse (Kanugasse). Die lichte Rinnenbreite beträgt 1,30 m. Die Rinne hat hohe Seitenwangen für verschiedene Oberwasserstände. Die Wangenoberkante sollte mindestens 10 cm über dem höchsten vorkommenden Wasserstand liegen.

R-Gasse (Rudergasse). Die lichte Rinnenbreite beträgt ebenfalls 1,30 m. Sie ist jedoch nur bei konstantem Oberwasserspiegel anwendbar, da die Höhe der Seitenwangen wegen der Ausleger der Buderboote mit dem Wasserspiegel bündig abschließen muß.

U-Gasse (Universalgasse). Die lichte Rinnenbreite beträgt 2,30 m. Seitenwangenhöhe wie bei der K-Gasse.

Mit diesem Gassentyp soll der Anwendungsbereich der Boootsgassen erweitert werden, da er auch von kleineren Motorbooten mit Außenbordmotor sowie den meisten Segeljollen durchfahren werden kann. Eine erste U-Gasse wurde in Gießen an der Lahn in Verbindung mit einem Sohlabsturz als offene Gasse gebaut. Ergebnisse über die Erprobung lagen zum Zeitpunkt der Berichtsabfassung noch nicht vor. (Bild 3)

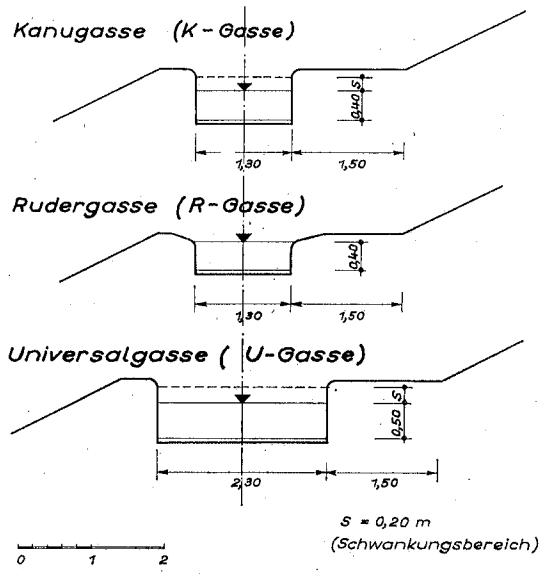


Abb. 3: Bootsgassen-Typen

2.32. Abmessungen und Anforderungen an die bauliche Gestaltung der Anlagen

Vorbemerkung:

Es werden nur die wesentlichen Abmessungen und die wichtigsten Gesichtspunkte, die beim Bau einer Bootsgasse nach den vorliegenden Erfahrungen zu beachten sind, behandelt. Bezüglich weiterer Einzelheiten wird auf den deutschen Beitrag zum 21. Internationalen Schiffahrtskongreß in Stockholm 1965 verwiesen.

Rinne

Als Mindestfahrwassertiefe über den Schikanen in der Rinne reichen für K- und R-Gassen 35 bis 40 cm aus. Am Oberhaupt muß die Mindestfahrwassertiefe 60 cm unter NW-Stau betragen. Bei der U-Gasse ist eine Wassertiefe von 50 cm in der Rinne und 75 cm am Oberhaupt notwendig.

Wenn die Gasse im Grundriß in einer Krümmung angelegt werden muß, soll der Krümmungsradius mindestens das 200fache der Rinnenbreite betragen.

Bei K-Gassen kann eine Anfangslängsneigung von 1 : 10, bei Fallhöhen über 5 m von 1 : 12 zugelassen werden, die dann entsprechend einer Seilkurve im Mittelteil auf eine Neigung von 1 : 12 und weiter auf 1 : 15 übergeht und schließlich innerhalb des Schwankungsbereichs der betrieblichen Unterwasserstände in einer Neigung von 1 : 18 endet. Bei R- und U-Gassen sollte einheitlich eine konstante Neigung von 1 : 20 gewählt werden.

Die Gasse sollte wenigstens auf der Landseite einen Treidelpfad mit möglichst 1,5 m Breite erhalten.

Einlaufbauwerk

Das Einlaufbauwerk besteht aus der Einlauftrompete mit der Verschlußeinrichtung (nur bei geschlossenen Gassen) und dem Notverschluß. Als Verschluß hat sich das Zugsegment bewährt (geringer Unterhaltungsaufwand). Ausgeführt wurde ferner die Klappe mit Ablauf (Olympiaslalomstrecke in Augsburg).

Bei geschlossener Gasse sind Wasserspiegelschwankungen im OW bis zu 20 cm über NW-Stau tragbar. Wenn bei größeren Schwankungen die Anlage benutzbar sein muß, ist ein Verschluß notwendig, der die Einhaltung einer konstanten Durchflußmenge ermöglicht.

Besondere Einrichtungen für den Querverkehr werden zweckmäßigerweise im Bereich des Einlaufbauwerkes angeordnet.

Vorhäfen einschl. Anlegestellen

Anfahrtsraum im OW

Der Anfahrtsraum im OW sollte so bemessen werden, daß bei durchströmter Gasse keine spürbare Absenkung des Wasserspiegels auftritt. Er sollte daher bei einer Mindestfahrwassertiefe von 1,5 m unter NW-Stau eine Mindestsohlenbreite von 5 m bei K-Gassen bzw. 7 bis 8 m bei U-Gassen bei 1 : 2 geneigten Böschungen erhalten. Die Länge sollte mindestens 30 m betragen, die sich aus 3 Teillängen von jeweils 10 m für das Einscheren vom Fluß her, für den eigentlichen Anlegeraum sowie für die Zufahrt zum Einlaufbauwerk zusammensetzt. Besitzen Bootsschleusen und Bootsgassen einen gemeinsamen Vorhafen, genügt zwischen beiden die Anordnung einer kurzen, u. U. durchbrochenen Unabhängigkeitsmole zur Ermöglichung eines gleichzeitigen Betriebes. Wird die Bootsgasse alleine unmittelbar neben dem Wehr angeordnet, gelten bezüglich der Abgrenzung gegen den Wehrbereich dieselben Gestaltungsgrundsätze wie bei der Bootsschleuse (s. hierzu Ziff. 2.222 — Schleusenvorhäfen —).

Ausfahrtsraum im UW

Die Rinne ist so weit ins Unterwasser zu führen, daß bei niedrigstem Unterwasserspiegel noch ein Wasserpolster von 50 bis 70 cm über dem Ende der Rinnensohle vorhanden ist. Es schließt sich ein senkrechter Übergang zum Auslaufraum, dessen Sohle 1,20 bis 1,50 m unter NNW liegen soll, an. Die Kante am Ende der Rinnensohle ist auszurunden und mit einem elastischen Kantenschutz zu versehen. Die Breite des Ausfahrtsraumes, der möglichst symmetrisch zur Rinne anzuordnen ist, sollte wenigstens das 4- bis 5fache der Rinnenbreite betragen, damit eine freie Entfaltungsmöglichkeit nach beiden Seiten unmittelbar nach dem Verlassen der Rinne gewährleistet ist. Die Länge des Ausfahrtsraumes soll im Falle einer Begrenzung 30 m nicht unterschreiten. Bei gekrümmten Gassen muß die Achse des Auslaufraumes tangential an die Bootsgassenachse anschließen. Eine beidseitige Einfassung des Ausfahrtsraumes mit senkrechten Ufereinfassungen ist zu vermeiden. Geeignet sind Böschungen bis zu einer Neigung von 1 : 2.

Bei der Anordnung des Ausfahrtraumes unmittelbar neben dem Wehr ist darauf zu achten, daß die Beeinträchtigungen durch Querströmungen, Wellen usw. infolge der Wehrüberströmung bis zum höchsten Betriebswasserstand der Gasse in tragbaren Grenzen bleiben. Notfalls müssen geeignete Trennbauten vorgesehen werden.

Anleger im OW

Im OW sollte grundsätzlich eine Anlegestelle angeordnet werden. In Frage kommen sowohl feste (bei konstantem OW-Spiegel) als auch schwimmende (bei schwankendem OW-Spiegel) Plattformen. Ihre Vorderkante sollte bei K-Gassen mindestens 2,0 m, bei U-Gassen 3,0 m hinter der Flucht der anlegerseitigen Wand der Bootsgasse liegen. Bezüglich der Mindestabmessungen der Plattformen wird auf Ziff. 2.523 (Abmessungen von Einsetz- und Anlegestellen) verwiesen.

Der bei geschlossenen Gassen erforderliche Auslöseschalter zur Betätigung des Verschlusses kann entweder in geeigneter Weise an der Anlegestelle oder auf der gegen-

überliegenden Seite an einem besonderen Kleindalben (besserer Schutz vor Mißbrauch) angeordnet werden.

Anleger im UW

Eine Anlegestelle im UW kommt nur dann in Frage, wenn mit einem starken Bergverkehr (Treideln) gerechnet werden muß. Zweckmäßig ist eine feste Anlegeplattform, die wenigstens bis zum Mittelwasserstand benutzbar sein sollte. Sie könnte im Prinzip wie die uferseitige Anlegeplattform einer Bootsschleppe im UW (für wechselnde Wasserstände) gemäß Ziff. 2.421 ausgebildet werden. Bei ihrer Anordnung müssen die Bedingungen für den Ausfahrtsraum im UW beachtet werden (Bild 4).

Hilfseinrichtungen für die Bergfahrt

Für das Treideln von Hand sind keine besonderen Einrichtungen erforderlich. Wegen der Gefahr des Entlangrutschens des Bootes beim Hochziehen sollten jedoch die Rinnenkanten ausgerundet und mit einem elastischen Belag versehen werden.

Maschinell angetriebene Treidelhilfen bestehen bisher noch nicht. Sie könnten jedoch in Zukunft bei sehr starkem Bergverkehr in Erwägung gezogen werden. Das Konstruktionsprinzip könnte demjenigen eines Ski-Schleppliftes mit umlaufendem Seil (große

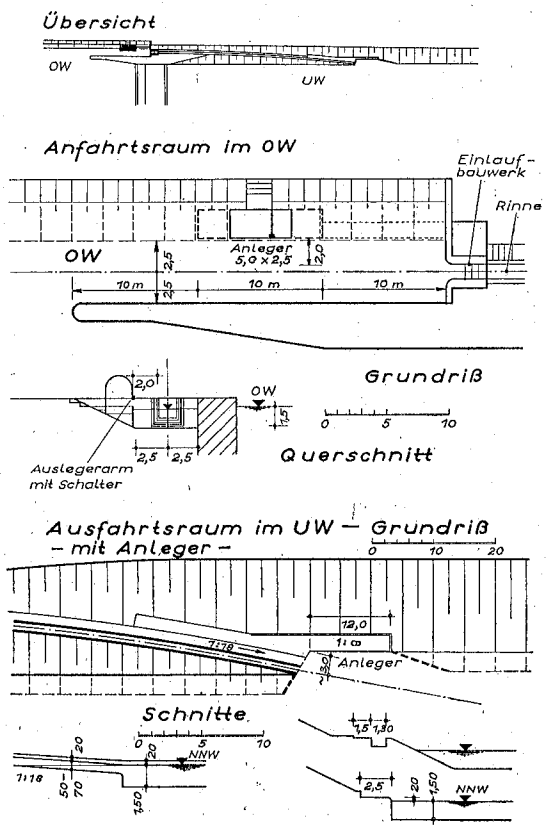


Abb. 4: Bootsgasse (K-Gasse)

Leistungsfähigkeit) entsprechen. Auch das Verfahren einer auf einer starren Schiene laufenden elektrisch angetriebenen Schleppkatze, die nach Gebrauch automatisch zum UW zurückläuft, ist denkbar.

Die Entwicklung dieses Systems bietet fördertechnisch keine Schwierigkeiten. Ihre Anwendung wird sich jedoch nach den örtlichen Bedürfnissen und den finanziellen Möglichkeiten zu richten haben.

2.33. Betrieb der Bootsgassen

Allgemeines

Die Lage der Bootsgasse ist im OW durch Hinweisschilder deutlich kenntlich zu machen. Die in der Rinne entsprechend dem jeweiligen Oberwasserstand vorhandene Wassertiefe kann den Talfahrern durch einen in ausreichendem Abstand vor der Einfahrt angebrachten Bezugspegel kenntlich gemacht werden.

Offene Gassen

Besondere Bedienungseinrichtungen sind nicht erforderlich. Wird Bergverkehr (Treideln) zugelassen, so muß durch eine entsprechende Hinweistafel im UW sichergestellt werden, daß der Bergfahrer die Bootsgasse erst benutzt, nachdem er sich vergewissert hat, daß während dieser Zeit kein Talfahrer einfährt. Dem Talfahrer muß der Vorrang eingeräumt werden. Bei starkem Verkehr in beiden Richtungen wird eine Lichtsignalanlage zweckmäßig sein. (Bild 5)

Geschlossene Rinnen

Nur Talverkehr:

Die technisch ausgereifte und praxisbewährte Betriebseinrichtung mit Auslösedruckschalter (Anordnung siehe Ziff. 2.323.) und Einfahrtstageslichtsignal arbeitet automatisch. Bei Betätigung des Auslösedruckknopfes wird durch ein Zeitrelais sichergestellt, daß die

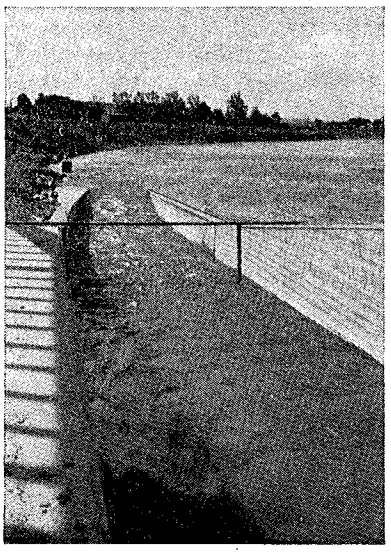


Abb. 5:
Bootsgasse an der Lahn
(Offene U-Gasse)

Gasse erst in dem Moment für die Einfahrt freigegeben wird, von dem ab sie ausreichend durchströmt wird (ca. 10 Sekunden-Dauer einstellbar). Nach der für das Einfahren und Passieren der Gasse erforderlichen Dauer (bei Gassenlänge zwischen 40 und 80 m rd. 30 Sekunden — Dauer einstellbar) fährt der Verschluß automatisch in Schließstellung zurück, nachdem rechtzeitig vorher die Einfahrt wieder gesperrt wurde. Bei einem erneuten Betätigen des Auslösedruckknopfes während der „Grünphase" wird diese um eine volle Periode verlängert. Auf diese Weise können auch mehrere Boote hintereinander ohne Unterbrechung die Gasse passieren.

Neben dem Auslösedruckknopf muß eine Tafel mit einer klaren und verständlichen Bedienungsanleitung angebracht sein.

Tal- und Bergverkehr:

Wird Bergverkehr zugelassen, so muß auch an der Anlegestelle im UW (siehe Ziff. 2.323.) ein bei allen Betriebswasserständen bedienbarer Auslösedruckschalter (auf beweglichem Gestell) angeordnet werden. Durch die elektrische Schaltung ist sicherzustellen, daß nach dem Betätigen dieses Auslösedruckknopfes die Einfahrt von Oberwasser für die Dauer des Treidelvorganges (rd. 3 Minuten) — einstellbar über Zeitrelais — trotz durchströmter Gasse gesperrt bleibt. Durch die Anordnung eines Einfahrtssignales im Unterwasser in Verbindung mit dem Auslösedruckknopf könnte die Betriebssicherheit erhöht werden. Eine derartige Anlage ist noch nicht vorhanden.

2.4. Bootsschleppen

2.41. Anwendungsbereich

Wegen der Notwendigkeit, das Fahrzeug aus dem Wasser herauszunehmen, beschränkt sich der Anwendungsbereich von Bootsschleppen auf leichte und handliche Boote, also Kanus, Ruderboote sowie kleine Motor- und Segelboote. Allein wird sie nur dort in Frage kommen, wo mit geringem Verkehr, überwiegend in talwärtiger Richtung, zu rechnen ist. Bei stärkerem Verkehr kann sie zusätzlich zur Bootsschleuse angeordnet werden, sofern hierfür nicht eine Bootsgasse in Frage kommt.

2.42. Abmessungen und Anforderungen an die bauliche Gestaltung der Anlagen

Die Bootsschleppe setzt sich aus den Einsetzstellen in OW und UW und dem Verbindungsweg zusammen. Hierzu gehören ein oder mehrere Bootswagen für den Transport der Boote.

Einsetzstellen im OW und UW

Die Einsetzstellen werden in der Regel als Längsrampen ausgebildet. Die Rampengradiente muß so gestaltet werden, daß auch bei niedrigstem Wasserstand (NNW Stau) noch die Möglichkeit besteht, mit dem jeweiligen Bootswagen unter das schwimmende Boot fahren zu können.

Für Gradiente und Breite der Rampe im Einsetzbereich werden folgende Abmessungen vorgeschlagen:

Tabelle 1

	Kanus	Ruderboote **)	Kleine Motor- und Segelboote	Bemerkungen
Rampenneigung	1 : 10	1 : 12 (1 : 15)	1 : 15	
Tiefe des Rampenfußes unter dem niedrigsten Wasserspiegel (NNW Stau)	0,70	0,80	1,00	
Länge des horizontal *) unter Wasser verlaufenden Rampenteiles	12,0 *)	15,0 *) (18,0)	10,0 *)	*) Nur bei Anordnung in Buchten erforderlich
Rampenbreite	1,50	2,50	3,0	

**) Die angegebenen Werte gelten für Vierer, sofern mit Achtern gerechnet werden muß, sollten die Werte in Klammern angewendet werden.

Ausbildung der uferseitigen Anlegeplattform

Im Einsetzbereich ist neben der Rampe, in der Regel auf ihrer Landseite, eine feste Anlegeplattform anzuordnen. Sie muß ein sicheres Ein- und Aussteigen jeweils bei einem Boot mit den größten in Frage kommenden Abmessungen ermöglichen. Zwischen Anlegeplattform und Rampensohle ist eine senkrechte Ufereinfassung notwendig.

Für die Anlegeplattform werden folgende Abmessungen vorgeschlagen:

Tabelle 2

	Kanus	Ruderboote **)	Kleine Motor- und Segelboote	Bemerkungen
Gesamtlänge (horizontal)	12,0	15,0 (18,0)	10,0	gemessen ab Rampenfußpunkt
Breite	1,50	2,50	2,50	
Höhe über dem Wasserspiegel	0,20	0,20	0,20	

**) siehe Bemerkung unter Tabelle 1

Um im UW auch bei höheren Wasserständen ein sicheres Ein- und Aussteigen zu ermöglichen, sollte hier die Anlegeplattform bereits auf Höhe der MW-Linie + 0,20 m beginnen. Sie führt von dort mit einem Gefälle von etwa 1 : 15 abwärts bis auf die Kote 0,20 m über NNW (Stau), wo der horizontale Teil der Plattform anschließt. Die Neigung der im Gefälle liegenden Plattform kann auch flacher gewählt werden, sofern hierdurch der horizontale Teil der Plattform (Länge siehe Tabelle 2) nicht verlängert wird. Die geneigte Plattform kann auch als Treppe mit derselben Neigung und einer Stufenlänge von etwa 5 m ersetzt werden. (Bild 6)

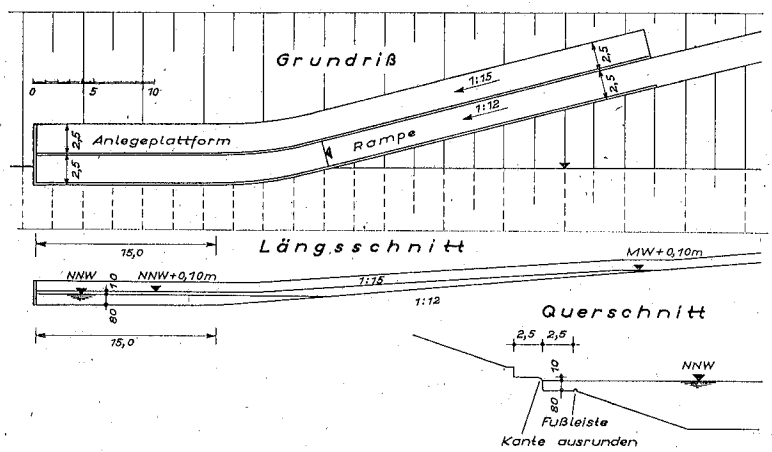


Abb. 6: Bootsschleppe — für Ruderboote (Vierer) — Einsetzstelle im Unterwasser

Konstruktive Sicherheitsanforderungen

Die wasserseitige Kante der Rampe sowie deren Ende sind mit einer abgerundeten Fußschwelle zu versehen, um ein Abgleiten in tieferes Wasser zu vermeiden. Die wasserseitige Kante der Anlegeplattform ist zum Schutz der Boote auszurunden und in weichem dauerhaftem Material auszubilden.

Als Festmachevorrichtungen kommen Halteringe und kleine Poller in Frage, die in einem Abstand von höchstens 5 m angeordnet werden. Sie sollten im UW bis auf Höhe der Mittelwasserlinie + 0,20 m (Beginn der Plattform) vorgesehen werden. Im Bereich unter Wasser sind Halteringe, die in der Oberfläche versenkt werden, besonders geeignet.

Verbindungsweg

Grundsätzlich sollten die Einsetzstellen im OW und UW so angeordnet werden, daß die Entfernung und damit der Verbindungsweg zwischen ihnen so kurz wie möglich wird. Bei der Ausbildung des Verbindungsweges, der nach Möglichkeit kreuzungsfrei anzulegen ist, sollten nachfolgende Abmessungen nicht unterschritten werden:

Tabelle 3

	Kanus	Ruderboote **)	Kleine Motor- und Segelboote
Lichtraumprofil			
Breite	2,00	2,50	2,50
Höhe	2,10	2,10	2,10
Befestigungsbreite	2,00	2,50	2,50
Längsneigung	1 : 10	1 : 15	1 : 15
Krümmungsradius	20 m	25 m **) (35 m)	20 m

**) siehe Bemerkung unter Tabelle 1

Bootswagen

Die Bootswagen müssen vor allem leicht, robust, handlich und witterungsbeständig sein. Besonders wichtig ist eine gute Lagerung des Bootskörpers (ausgerundete Lagerpritsche mit weicher Oberfläche). Für die Konstruktion werden folgende Daten vorgeschlagen:

Tabelle 4

	Kanus und Ruderboote	Leichte Motor- und Segelboote	Bemerkungen
Bauhöhe *)	0,50	0,50	*) Oberkante Lagerpritsche in Wagenmitte
Tragfähigkeit	150 kg	300 kg	

2.5. *Liege- und Einsetzstellen*

Es ist zu unterscheiden zwischen Sporthäfen und Einsetz- sowie Anlegestellen für Einzelfahrzeuge auf der freien Strecke.

2.51. Sporthäfen

2.511. Allgemeines

Bereits im deutschen Beitrag zum internationalen Schiffahrtskongreß 1965 wurde auf die ständig wachsende Zahl der kleinen Anlegestellen, insbesondere für Motorboote an den Ufergrundstücken entlang der Wasserstraßen, hingewiesen. Dieser Trend hat sich weiter verstärkt. Auf die damit verbundene Problematik wurde ebenfalls hingewiesen. Diese kleinen Anlegestellen und die daran festgemachten Fahrzeuge werden durch die durchgehende Schiffahrt erheblich gefährdet. Auch durch überraschend auftretende Sommerhochwässer ergeben sich Schwierigkeiten. Andererseits wird hierdurch die Verkehrssicherheit und Leichtigkeit der durchgehenden Schiffahrt beeinträchtigt. Es muß daher das Ziel sein, die Zahl derartiger Anlegestellen in Grenzen zu halten. Die Errichtung von Sporthäfen kann dazu beitragen. An Kanälen wird dies unabdingbar sein, weil auf diesen Wassenstraßen wegen der beengten Verhältnisse die Zulassung derartiger Anlegestellen nicht möglich ist.

2.512. Lage der Sporthäfen

Die Lage wird durch die örtlichen Verhältnisse bestimmt werden. Folgende allgemeine Faktoren sind jedoch von besonderer Bedeutung:

Voraussetzung ist ein guter Anschluß an das öffentliche Straßennetz. In Naherholungsgebieten sollte der Hafen nach Möglichkeit mit öffentlichen Verkehrsmitteln gut erreichbar sein. Besonders geeignet sind Wasserstraßenbereiche mit gleichbleibenden oder nur wenig schwankenden Wasserständen (See, Kanäle, Oberwasserbereich staugeregelter Flüsse). Für die Anordnung können Neben- und Altarme, Kiesgruben, Buchten, stillgelegte Vorkanäle und Schleusen in Frage kommen.

2.513. Flächenbedarf

Wasserliegeplätze sind insbesondere für größere Motor- und Segelboote vorzusehen, die den Hafen für die Dauer der Wassersportsaison belegen. Der Platzbedarf

ist von der Art und Weise, wie die Boote festgemacht werden (entweder zwischen Steg und Dalben oder zwischen Fingern an Schwimmstegen), abhängig. Einwandfreies Manövrieren muß möglich sein. Neuere Untersuchungen haben eine erforderliche Ankerplatzbreite von 3 m ergeben. Der Abstand zwischen 2 Booten sollte nicht kleiner als 1 m sein.

Daneben sollte eine ausreichende Fläche für Landliegeplätze zur Verfügung stehen, die zur vorübergehenden Lagerung kleiner Motor- und Segelboote, welche über Land an- und abgefahren werden, aber auch zur Überwinterung größerer Boote, soweit hierfür nicht Winterlagerhallen geschaffen werden, dienen.

Parkplätze sollten sowohl für alle Liegeplatzinhaber als auch für eine ausreichende Anzahl von Besuchern bemessen werden.

Bei größeren Sporthäfen oder reinen Motorboothäfen können Tankanlagen notwendig werden.

Im hochbaulichen Teil müssen neben der Hafenaufsicht und Verwaltung in erster Linie ausreichende sanitäre Anlagen, eine kleine Unfallstation, Lagerräume sowie nach Möglichkeit ein Raum für Reparaturen untergebracht werden.

2.514. Ausstattung der Wasserliegeplätze

Als Bootsstege kommen feste Stege (Fertigteile), bei größeren Wasserspiegelschwankungen Schwimmstege (Fertigteile) im Baukastensystem aus Metall oder Kunststoff in Frage. Ausreichende Belegmöglichkeiten (Poller, Klampen, Ringe) müssen vorhanden sein. Hinzu kommt die Ausrüstung mit den notwendigen Sicherheitseinrichtungen (Steigleitern, Rettungsringe usw.). Ölbehälter an Land und eine Altölsammelstelle sollten nicht fehlen. Die Stege sollten nach Möglichkeit beleuchtet sein. Moderne Häfen mit Komfort besitzen Zapfstellen für Wasser und Strom oder — für größere Boote — besondere Zapfstellen — Versorgungsblocks, in denen alle wichtigen Anschlüsse zusammengefaßt sind.

2.515. Anlagen zum Umsetzen der Boote

Eine gute und leistungsfähige Anlage zum Umsetzen der Boote erhöht den Wert eines Sportboothafens. Damit können Kosten für eine aufwendige Wasserfläche eingespart werden. Hierfür können Rampen bzw. Bühnen, Bootslips und Bootskräne in Frage kommen. Einzelheiten siehe unter Ziff. 2.52. (Bild 7).

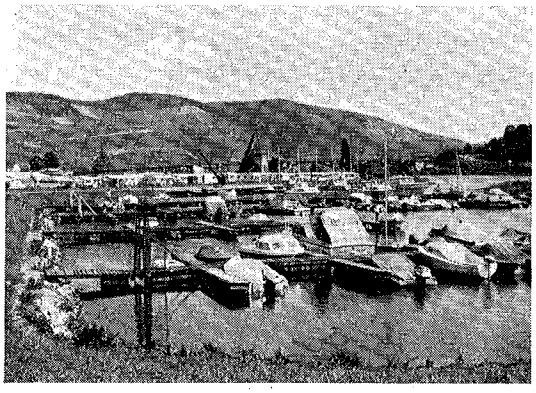


Abb. 7: Bootshafen an der Mosel

2.516. Anforderungen an die bauliche Gestaltung der Hafenbecken

Ein- und Ausfahrten

Bei der Gestaltung ist zu berücksichtigen, daß bei der Ausfahrt die Wasserstraße vom Boot aus gut eingesehen werden kann. Ferner sollten die Wellen vorüberfahrender Schiffe durch eine entsprechende Ausbildung des Hafenmundes weitmöglichst gemindert werden. Durch eine spitzwinklige Anordnung der Einfahrt nach unterstrom wird die Einfahrt (gegen die Strömung) erleichtert. Durch eine gegenüber der Flußsohle höhere Sohle der Hafeneinfahrt wird der Geschiebeeintrieb verhindert.

Hafenbecken

Vertikale Ufereinfassungen sollten wegen der starken Wellenreflexion im Hafenbecken auf das unbedingt notwendige Maß (Versorgungskais, Krananlagen usw.) beschränkt werden. Wegen der geringen Beanspruchung sind relativ leichte Ufersicherungen ausreichend. Sie müssen im Anfahrbereich möglichst glatt sein.

Als Wassertiefe dürften 1,80 m im Normalfall ausreichend sein, sofern nicht besondere Gesichtspunkte eine größere Tiefe (u. U. nur für einen Teil des Hafenbeckens) erfordern, was von Fall zu Fall geprüft werden muß.

2.52. Einsetz- und Anlegestellen

2.521. Allgemeines

Einsetzstellen dienen dem Zweck, Kleinfahrzeuge (Kanus, Ruderboote, kleine Motor- und Segelboote) möglichst leicht und sicher über Böschungen und senkrechte Ufereinfassungen einzusetzen bzw. herauszunehmen.

Anlegestellen sollen das leichte und sichere Ein- und Aussteigen sowie Be- und Entladen bei Kleinfahrzeugen ermöglichen. Sie dienen vielfach auch als Sammelliegeplätze.

Bei der Anordnung zu beachtende Gesichtspunkte

Durch die Einrichtung darf weder die fahrende noch die ruhende Großschiffahrt beeinträchtigt werden. Der Mindestabstand der Anlagen bis zum Rande der Schiffahrtsrinne sollte daher auf freier Strecke bei freifließenden und staugeregelten Flüssen 20 m betragen. Örtliche Gesichtspunkte können eine Erhöhung dieses Wertes erforderlich machen. Notfalls ist eine Anordnung in Buchten erforderlich. Größere Gemeinschaftsanlagen sollten zahlreichen kleinen Einzelanlagen vorgezogen werden.

Sofern die Anlagen nicht an Grundstücke und Gebäude von Wassersportvereinen gebunden sind, werden sie zweckmäßigerweise in der Nähe von Ortschaften, Straßenbrücken, Campingplätzen oder im Bereich von Naherholungsplätzen angeordnet. Einsetzstellen sollen nach Möglichkeit durch eine für Pkw mit Anhänger benutzbare Zufahrt an das öffentliche Straßen- und Wegenetz angeschlossen und günstig erreichbar sein. Wasserstraßenabschnitte mit kleinen oder nur geringfügigen Wasserspiegelschwankungen sind besonders geeignet.

2.522. Anwendungsbereich

Es können folgende Anlagen unterschieden werden:

Einsetzstellen, dazu gehören: Rampen, feste und schwimmende Plattformen, Slipanlagen und Bootskräne

Anlegestellen, dazu gehören: feste und schwimmende Plattformen, Treppen, kleine Landebrücken, feste und schwimmende Bootsstege

Einsetzstellen

Rampen eignen sich für das Einsetzen und Herausnehmen von Kanus, Ruderbooten sowie kleineren Motor- und Segelbooten, sowohl von Hand als auch mit Hilfe von Bootsanhängern. Rampen können längs und quer zur Gewässerachse angeordnet werden.

Plattformen (als Einsetzstellen) sind speziell für das Einsetzen und Herausnehmen von Kanus und Ruderbooten geeignet. Sie werden hierfür vor allem im Wassersportbetrieb verwendet. Bei geringfügigen Wasserspiegelschwankungen (± 10 cm) sollten feste Plattformen gewählt werden. Bei größeren Wasserspiegelschwankungen müssen schwimmende Plattformen verwendet werden. Für den Anschluß der Plattformen an den Uferweg oder Leinpfad bzw. an die Damm- oder Mauerkrone sollten möglichst Rampen angelegt werden.

Slipanlagen. Ihr Anwendungsbereich erstreckt sich durch die Verwendung von schienengebundenen oder gummibereiften Transportwagen in Verbindung mit Winden und Zugmaschinen besonders auf größere Fahrzeuge, die zur Reparatur oder zum Überwintern aus dem Wasser genommen werden müssen. Wegen ihrer Größe kommen sie im allgemeinen nur bei Bootswerften, großen Gemeinschaftsliegestellen oder Bootshäfen in Frage.

Bootskräne kommen als feste und Mastenkräne oder bewegliche Schienen- und Autokräne in Frage; für größere Einheiten selbstfahrende Doppelportalkräne, seltener Hebebühnen oder spezielle Gabelstapler. Ihr Anwendungsbereich ist auf Bootshäfen begrenzt.

Anlegestellen

Plattformen (als Anlegestellen) sind für Kleinfahrzeuge aller Art geeignet und kommen insbesondere auch als Anleger in den Vorhäfen der Bootsschleusen (gem. Ziff. 2.222.) und der Bootgassen (gem. Ziff. 2.322.) in Frage. Feste und schwimmende Bauweise wie bei den Einsetzstellen.

Treppen. Anwendungsbereich wie bei der Anlege-Plattform. Sie sollten jedoch nur bei örtlich beengten Verhältnissen (und keinesfalls mehr als Einsetzstellen) verwendet werden.

Kleine Landebrücken dienen vor allem den Besitzern kleiner und mittlerer Motorboote zum Festmachen ihrer Fahrzeuge während der Wassersportsaison.

Bootsstege dienen als Anlegestellen in Bootshäfen sowie auf der freien Strecke bei Gemeinschaftsliegeplätzen und bei sonstigen während der Wassersportsaison andauernden Bootsansammlungen (gewerblicher Bootsverleih usw.). Feste und schwimmende Bauweise entsprechen den Plattformen.

2.523. Abmessungen und Anforderungen an die bauliche Gestaltung

Einsetzstellen (Bild 8)

Rampen

Wegen der Zufahrtsmöglichkeit mit einem Bootsanhänger sollten Rampen eine befestigte Breite von mindestens 3,50 m besitzen. Die Rampenneigung sollte an der steilsten Stelle die Neigung 1 : 5 (20 %) nicht übersteigen. Gefällsbrechpunkte sind ausreichend

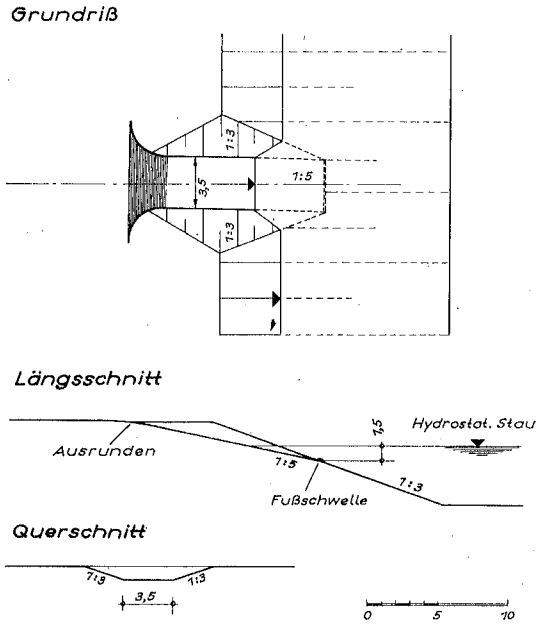


Abb. 8: Einsetzstelle für kleine Motorboote
— Querrampe —

auszurunden. Im übrigen können die Werte gem. Ziff. 2.42., Tabelle 1, zugrunde gelegt werden.

Bezüglich der konstruktiven Sicherheitsanforderungen und der Festmacheinrichtungen gilt Ziff. 2.42. ebenfalls sinngemäß (Bild 9).

Plattformen als Einsetzstellen

Abmessungen:		Kanus	Ruderboote	Bemerkungen
Mindestlänge	fest	5,00 m *)	10,00 m *)	
	schwimmend	4,00 m	7,00 m	
Mindestbreite		2,50 m	3,00 m	
Höhe über Normalwasserspiegel		0,20 m	0,10 m	
Wassertiefe vor der Plattform		0,30 m	0,30 m	jeweils unter niedrigstem Betriebswasserstand

*) Die Längenmaße beziehen sich auf die reine Plattformlänge. Voraussetzung ist hierbei, daß der ansetzende Uferverlauf so gestaltet wird, daß auch Boote mit größtmöglicher Länge (bis 17 m bei Ruderbooten) anlegen können.

Schwimmende Plattformen müssen ausreichend gegen Strömung, Wellenschlag und mögliche Wasserspiegelschwankungen verankert werden. Die Decksfläche sollte allseitig nicht mehr als 20 cm über die Randunterstützung auf den Schwimmkörpern hinausragen. Über die Sicherheitsanforderungen bezüglich Schwimmsicherheit bestehen noch keine allgemein gültigen Vorschriften. Der Zugang vom Land sollte aus Sicherheitsgründen jeweils auf die ganze Länge der Plattform (s. Tabelle) möglich sein, wobei die Übergangskonstruktion auf der Landseite und an der Plattform gelenkig zu lagern ist.

Zum Schutz der Boote ist die wasserseitige Kante der Anlegeplattform auszurunden und mit einem weichen dauerhaften Material zu verkleiden. Geeignete Festmachevorrichtungen sind in ausreichender Zahl (Abstand bis zu 2 m) vorzusehen. Hierfür sind Halteringe besonders geeignet.

Anlegestellen

Plattformen als Anlegestellen

In diesem Falle ist als Zugang vom Land ein Steg mit mindestens 0,80 m Breite ausreichend. Ein Geländer ist mindestens einseitig, möglichst beidseitig, anzuordnen. Abmessungen wie bei Einsetzstellen.

Treppen

Die Neigung entspricht normalerweise der Böschungsneigung, sie sollte jedoch nicht steiler als 1 : 1,5 sein, Auftrittbreite mindestens 25 cm. Die Treppe sollte drei Stufen unter den niedrigsten Wasserspiegel führen. Für die Treppenbreite können die für die Länge der Anlege-Plattformen genannten Werte verwendet werden.

Kleine Landebrücken

Sie setzen sich aus den Schwimmkörpern und dem Verbindungssteg zusammen.

Schwimmkörper

Es sind nur geschlossene Schwimmkörper zu verwenden, wobei der Freibord der Schwimmer bei Vollbelastung 0,20 m betragen muß. Zylindrisch geschlossene Schwim-

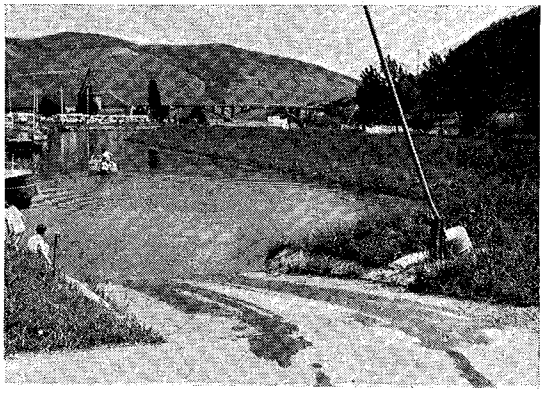


Abb. 9
Einsetzstelle in einem Bootshafen
(Querrampe)

mer müssen bei Vollbelastung 1/3 ihrer Gesamthöhe als Freibord behalten. Die Wandstärke sollte mindestens 2 mm betragen.

Auf der Wasserseite ist eine geeignete Fenderung vorzusehen.

Bezüglich S t e g wie bei Anlege-Plattformen.

B o o t s s t e g e (fest und schwimmend)

Sie entsprechen der systematischen Aneinanderreihung von Anlege-Plattformen. Ihre Anordnung wird von den örtlichen Verhältnissen bestimmt. Die vorstehenden Hinweise gelten sinngemäß.

3. Naturschutz und Landschaftspflege an Binnenwasserstraßen und Gewässern

3.1. Einleitung

Das weltweit erkennbare Freizeitverhalten der Menschen verdient nicht nur große Beachtung und Erforschung, sondern bedarf gerade im Interesse der Menschen wie vor allem zum Schutze der heute so begehrten Mangelware „Natur" einer grundsätzlichen sozialen Regelung; denn die bisherige ohnehin schon bis an die Grenze der Belastbarkeit heranreichende wirtschaftliche Nutzung unserer Gewässer und Wasserstraßen erfährt durch diese neuartige, alle bisherigen Vorstellungen und Maßstäbe bei weitem übertreffende Inanspruchnahme ein Ausmaß, das zum Verlust des natürlichen Gepräges der Gewässer und damit zu ihrer endgültigen Verödung führen kann, wenn nicht für Ausgleich oder Abhilfe gesorgt wird.

Es gilt also, ein Gleichgewicht herzustellen zwischen Gewässerschutz und wirtschaftlicher Gewässernutzung. Es muß versucht werden, die vorrangige wirtschaftliche Nutzung der Gewässer und die unabdingbare Forderung nach Erhaltung und Wiederansiedlung ihrer Pflanzen- und Tierwelt mit dem Bedürfnis der Menschen nach Freizeit am Wasser sinnvoll zu verknüpfen.

Die Erhaltung der noch vorhandenen natürlichen Ufervegetation und die bewußte Ansiedlung von Ufer- und Wasserpflanzen für Zwecke des Uferschutzes, zur Belebung und Reinigung des Wassers, zur Aktivierung des Stoffumsatzes, zur Bereicherung der Tierwelt im Wasser und am Ufer, wie schließlich zur Erhöhung des landschaftsbiologischen Wertes der Gewässer, das ist die Aufgabe von Naturschutz und Landschaftspflege an Wasserstraßen und Gewässern.

3.2. Ufervegetation

Als Ufervegetation kann man alle Pflanzenbestände bezeichnen, die das Profil eines Gewässers vom Uferfuß bis zum „Uferscheitel" besiedeln und die infolge der unterschiedlichen Dauer der Wasserbedeckung und zufolge der Uferneigung immer eine Gliederung in Gürtel oder Zonen aufweisen.

Im Niedrigwasserbereich, wo die Wasserbedeckung nahezu ein volles Jahr anhält, können nur echte Wasserpflanzen gedeihen. Dieser Uferbereich wird als „aquatische" Uferzone bezeichnet, ein Begriff, der in der vegetationskundlichen Literatur bereits Eingang gefunden hat.

Im Bereich zwischen Niedrigwasser und Mittelwasser dauert die Wasserbedeckung mindestens ein halbes Jahr, meistens länger. Hier ist die Domäne der Röhrichtpflanzen. Aber nicht an allen Gewässern wachsen hier Schilf, Binsen oder Rohrkolben, oft sind es vielmehr hohe Riedgräser (Seggen) und Sumpfstauden. Das hervorstehendste Merkmal gerade dieser Pflanzen ist ihre Fähigkeit, sich dem häufigen oder dem beträcht-

lichen Wasserstandswechsel anzupassen, d. h. also „amphibisch" leben zu können, weswegen man diesen Wasserwechselbereich die „amphibische Uferzone" nennen kann.

Zwischen Mittelwasser und (mittlerem) Hochwasser endlich dauert die Wasserbedeckung höchstens einige Wochen im Jahr, gewöhnlich nur im Winterhalbjahr. Weiden, Pappeln oder Erlen gedeihen hier von Natur aus am besten. Diese raschwüchsigen und darum „weichen" Holzarten geben dieser „Weichholzzone" den Namen und das Gepräge. Ihr Hauptvorkommen jedoch liegt im Tal, in der Aue. Am Ufer im oben definierten Sinne befinden sich diese Holzarten immer schon an der äußersten Grenze ihres natürlichen Wuchsgebietes, was bisher offenbar nicht recht erkannt worden ist. Es ist daher richtiger, in Anlehnung an die bereits verwendeten Begriffe der aquatischen und amphibischen Uferzone hier nicht von einer Weichholzzone, sondern von einer „terrestrischen Uferzone" zu sprechen. Damit ist zugleich angedeutet, daß es sich hier im Gegensatz zu den unteren Uferzonen um einen festen, außer bei Hochwasser, immer betretbaren Ufergürtel handelt.

Im Bereich endlich zwischen mittlerem und höchstem Hochwasser dauert die Wasserbedeckung nur noch wenige Tage im Jahr oder bleibt in manchen Jahren ganz aus. Daher wachsen hier schon Ulmen, Eschen, Ahorne und auch Eichen, Bäume, die zwar auch an Standorten außerhalb der Flußtäler verbreitet sind, in den Flußauen aber offensichtlich eine gemeinsame und darum typische Verbreitung gefunden haben. Verglichen mit Weiden und Pappeln sind es langsam wachsende, „harte" Holzarten, weswegen man ihr Wuchsgebiet als „Hartholzzone" bezeichnet. An „Ufern" im strengen Sinne kommt diese Gesellschaft nicht vor; vielmehr siedelt sie in der sog. „Aue", einer a u ß e r h a l b des Ufers liegenden Ebene des Flußtales, die zwar ebenfalls zeitweilig oder periodisch, jedoch meist nur sehr kurzfristig vom ausufernden Wasser überflutet oder überstaut wird.

Selten ist in der Natur die Abhängigkeit der Vegetation vom Standort so ausgeprägt wie gerade an Ufern. Für Bau und Pflege, Schutz und Unterhaltung der Gewässer ist daher die Kenntnis der Ufervegetation unerläßlich, ihre Aufzählung würde hier zu weit führen.

In den einzelnen Wuchszonen sindeln die Uferpflanzen in den verschiedenartigsten gesellschaftlichen Bindungen, von der Herde über den Verein bis zur festgefügten Pflanzengesellschaft. Die Pflanzenarten der drei Wuchszonen sind jedoch nicht streng auf ihren jeweiligen Wuchsbereich beschränkt. Die Arten der Laichkrautzone haben eine sichtbare obere Grenze, klingen aber nach unten nur langsam aus. Die Pflanzen der terrestrischen Uferzone dagegen haben eine feste untere Grenze und klingen nach oben nur allmählich aus. Die Pflanzen der amphibischen Zone nehmen eine Mittelstellung zwischen ihrer unteren und der oberen Nachbarzone ein; denn sie sind weder nach oben noch nach unten begrenzt, vielmehr greifen sie bei ausreichend günstiger Uferneigung und zusagendem Wasserwechsel wie Klammern oder Krallen in das Gefüge der benachbarten Gesellschaften ein.

Ö k o l o g i s c h u n d f u n k t i o n e l l ist daher die amphibische Uferzone die bedeutendste des gesamten Ufers. Dies gilt auch und besonders für kleine und kleinste Fließgewässer, wo infolge der geringen Profilbreite ohnehin alle Wuchszonen auf einem schmalen Band zusammengedrängt sind.

Zusammenfassend kann die Ufervegetation mit Recht als eigenständige, bemerkenswerte Pflanzenformation bezeichnet werden. Das Inventar an Pflanzenarten, die Verteilung der Lebensformen, das Gefüge der Pflanzengesellschaften, die Gliederung in Zonen und Regionen sowie die Funktion der Uferpflanzen werden durch den mehr oder weniger dominierenden Einfluß des Wassers gebildet, erhalten und verändert, wie

umgekehrt die Ufervegetation in mannigfacher Weise das Regime der Gewässer beeinflussen, ja sogar bestimmen kann.

3.3. Richtlinien

Der heutige Uferzustand vieler Fließgewässer schließt jedoch eine natürliche Besiedlung mit typischen Ufergewächsen weitgehend aus; nur eine sinnvolle Anpflanzung von geeigneten Uferpflanzen kann hier also Abhilfe schaffen. Eine zur Orientierung durchgeführte Bestandsaufnahme der Ufervegetation westdeutscher Gewässer, insbesondere der Flüsse, hatte folgendes Ergebnis:

nahezu allen schiffbaren Flüssen fehlt jeglicher natürlicher Uferbewuchs; auch die kleineren Fließgewässer weisen nur noch Spuren davon auf, wiewohl vielerorts ein angepflanzter Gehölzsaum einen naturhaften Uferbewuchs vortäuscht.

Das Auffallendste bei diesen biologisch gestörten Gewässern ist der offensichtlich kausale Zusammenhang zwischen fehlender Ufervegetation und bestehendem Uferabtrag.

Wie sieht es nun an unseren genutzten, regulierten, ausgebauten, abwasserbelasteten oder auf andere Weise strapazierten Gewässern mit den Bedingungen für das Gedeihen der Ufervegetation aus? An allen von der Schiffahrt beherrschten, aber noch frei fließenden Strömen ist jeglicher Uferbewuchs in der aquatischen und amphibischen Zone verschwunden oder bis auf klägliche Reste dezimiert.

An kanalisierten Flüssen, sind die Bewuchsverhältnisse wesentlich besser; aber auch hier fehlt an steilen Ufern der natürliche Bewuchs. An Kanälen kommt eine natürliche Ansiedlung selten zustande; vorhandener Bewuchs geht auf Anpflanzungen zurück. Bemerkenswert dagegen ist der Bewuchs an solchen Kanälen und gestauten Flüssen, die nur der Energiegewinnung dienen. Günstige Uferprofile vorausgesetzt, gibt es hier von Staustufe zu Staustufe einen lückenlosen Übergang von einer Flußufervegetation der oberen zu einer Teichufervegetation der unteren Haltungen.

Der heutige Zustand der Gewässer, im untrüglichen Spiegel der Vegetation betrachtet, gewährt uns kein erfreuliches Bild. Es ist daher gar nicht verwunderlich, wenn ganz allgemein die irrige Meinung vorherrscht, es gäbe eben an Strömen, Flüssen und künstlichen Gewässern grundsätzlich keinen anderen Uferbewuchs als das Weidengebüsch oder den Auenwaldsaum.

Von diesem landläufigen Bild eines nur mit Büschen und Bäumen „gut", weil dicht bewachsenen Ufers aber wird man sich lösen müssen zugunsten der nüchternen und notwendigen Feststellung, daß von der Gesamtheit der Ufervegetation mit ihren drei Wuchszonen dieser, der terrestrische Gehölzgürtel, im Gesamtbild des Ufers zwar der auffallendste, in der Gesamtfunktion der Ufervegetation jedoch sehr viel unbedeutender ist, als die Pflanzen der amphibischen und aquatischen Zone. Die Verödung gerade dieser wichtigen Uferbereiche an allen genutzten oder überforderten Gewässern unseres Landes ist daher als bedenkliches Zeichen für die schwindende natürliche Funktion der Gewässer im Wirkungsgefüge der belebten Landschaft zu werten.

Selbstverständlich werden wir selbst beim besten Willen diesen wirtschaftlich beanspruchten Gewässern niemals mehr ihren ursprünglichen natürlichen Charakter zurückgeben können. Diese Schwierigkeit indes entbindet alle Freunde der Natur und die verantwortlichen Behörden nicht von der Verpflichtung, Maßnahmen für eine naturnahe Wiederbegrünung der Ufer zu ergreifen und die Anwendung geeigneter ingenieur-biologischer Methoden nach Kräften zu unterstützen.

Unter den für die Vegetationsentwicklung entscheidenden Standortfaktoren nimmt die „Uferform" wohl den wichtigsten Platz ein, denn sie bestimmt mit dem Ufer-

profil oder der Uferneigung die für den Pflanzenwuchs nutzbare Breite der Uferzonen. In der Wahl der Uferform und Uferneigung und damit auch der Uferbreite haben wir also ein außerordentlich wichtiges Mittel zur Wiederbegrünung der Ufer in der Hand.

Die Uferneigung an Fließgewässern muß flach genug, etwa 1 : 5, aber niemals steiler als 1 : 3 sein. Wo sich aber noch steilere Böschungen, etwa bis 1 : 2 nicht vermeiden lassen, sollte durch Ausbildung von Bermen unbedingt für Lebensmöglichkeit der Uferpflanzen gesorgt werden.

Das Ufersubstrat oder bei ausgebauten Gewässern die Uferbefestigung ist von auslesendem Einfluß auf die Vegetation:

Je größer oder je dichter die Uferbefestigung, desto magerer der Bewuchs. In einer Bruchsteinschüttung, auf gepflasterter, womöglich verfugter Uferböschung oder gar auf Asphalt oder Beton können Uferpflanzen nicht gedeihen.

Bei giftigen Abwässern ist mit dem Totalverlust von Unterwasserpflanzen und auch mit der Schädigung von Uferpflanzen zu rechnen; organische Abwässer dagegen führen oft sogar zu einer wuchernden Ausbreitung der Gewässervegetation. Indes sollte man diese „Verkrautung" nicht allzu tragisch nehmen, auf jeden Fall ist sie Ausdruck der Selbstreinigungskraft des Gewässers, des Ausbreitungsvermögens der Vegetation. Verkrautungen lassen sich durch Unterhaltungsmaßnahmen schnell beheben oder steuern. Verödungen dagegen sind katastrophalere Erscheinungen.

Die Nutzung der Gewässer wird sich künftig den als notwendig erkannten Belangen der Gewässerpflege anpassen müssen und nicht umgekehrt, wie bisher. Als abschreckendes Beispiel für eine gewässerwidrige Nutzungsform ist hier an erster Stelle die Einbeziehung der Ufer als Weideland für Rinder anzusehen; denn an den betroffenen Flüssen ist durch die totale Ausrottung der Ufervegetation und durch die nachhaltige Zerstörung der Ufer kostspieliger Schaden entstanden, der letzten Endes nicht dem privaten Nutznießer, sondern dem Steuerzahler zur Last fällt. Die Beweidung von Ufern ist wirtschaftlich schon längst nicht mehr vertretbar und läuft dem öffentlichen Interesse zuwider. Dagegen ist die Wiesennutzung von Ufern geradezu als ideal für die Gewässerpflege zu betrachten.

Über den Nutzen oder Schaden des Uferbewuchses oder über die richtige Art der Uferbepflanzung herrschen die gegenteiligsten Meinungen. Die einen fordern die Beseitigung des Holzbewuchses, die anderen befürworten ihn; einige wollen nur nutzholzbringende Baumarten an den Ufern sehen, viele wiederum nur uferdeckende Weidengebüsche, und manche endlich sehen in der malerischen Gruppierung von Bäumen und Sträuchern das Ideal einer Bepflanzung. Solche Vorschläge aber gehen bei allem guten Willen am Kern des Problems vorbei; denn Vorbild einer kultivierten Uferbepflanzung kann nur die natürliche Ufervegetation sein.

Danach aber ist die „amphibische" Zone des Ried- und Rohrgürtels der wichtige Bereich des Ufers. Nur hier an der Nahtlinie wächst ein zerstörtes Ufer wieder zu einem stabilen Profil zusammen, nur hier bricht das Ufer, wenn es ohne Bewuchs bleibt, buchstäblich in zwei Teile auseinander. Dieser, wegen ihrer morphologischen Funktion, bedeutendsten Zone folgt als nächstwichtige die „aquatische" Laichkrautzone mit ihrer vorwiegend hydrobiologischen Funktion. Erst an dritter Stelle in der funktionellen Bedeutung steht die „terrestrische" Uferzone, wogegen die etwa an das Ufer angrenzende Hartholzzone für die hier angesprochenen, mehr das Ufer als die Auen betreffenden Maßnahmen ohnehin von geringer Bedeutung ist. So ergibt sich denn eine ganz natürliche Rangordnung für die Erhaltung des Uferbewuchses oder für die Anordnung der Uferbepflanzung.

Eine derartige Rangordnung in der Pflege vorhandenen Bewuchses und in der Uferbepflanzung ist nicht nur landschaftsbiologisch wichtig, sondern ist auch das beste, weil natürlichste Motiv für die Gestaltung eines dem Gewässertyp entsprechenden Landschaftsbildes und damit auch die wichtigste Direktive für den Uferschutz an Wasserstraßen und Gewässern.

3.4. Folgerungen und Vorschläge

Unter Berücksichtigung der an Wasserstraßen und Gewässern gegebenen Standortverhältnisse erscheinen die folgenden Maßnahmen beim Ausbau und bei der Unterhaltung in der Reihenfolge ihrer Aufzählung als vordringlich und wichtig im Sinne einer Politik der Freizeitgestaltung und des Naturschutzes zu sein.

Wiederbegrünung aller Uferzonen durch Anpflanzung oder Ansiedlung mit Ried- und Rohrgewächsen und der Anpassung von Profil und Substrat an die besonderen Lebensbedingungen der Ufervegetation (naturnaher Uferschutz).

Gliederung und landschaftliche Bepflanzung des Ufergeländes bzw. der Vorländer (Auen) unter Berücksichtigung von Hochwasserabfluß, Schiffahrtsbetrieb, Nutzung, Pflege und Landschaftswert (Freizeitlandschaft am Wasser).

Erhaltung aller vorhandenen natürlichen oder künstlichen Nebengewässer und Einrichtung neuer Naturreservate und besonderer Naturuferstrecken (Naturschutz an Wasserstraßen).

Anordnung von Campingplätzen abseits von Naturreservaten auf Uferstrecken mit künstlichem Uferausbau, desgleichen Beschränkung des motorisierten Wassersports auf besonders gekennzeichnete Gewässerstrecken in der Nachbarschaft der Campingplätze (Camping- und Wassersportplätze).

Grundsätzliche Trennung der Camping- und Wassersportufer von den Naturschutzeinrichtungen durch ausgedehnte Freizeitlandschaften. Auf ihnen gilt Auto- und Zeltverbot. Besondere Kennzeichnung notwendig.

Ohne eine vernünftige, von der Wasser- und Schiffahrtsverwaltung selbst unternommene Planung kann es jedoch bei diesem geregelten Nebeneinander keine Ordnung geben. Hierzu ist ein sog. Landschaftsplan vonnöten, in dem der landschaftliche Zustand der Wasserstraßen, die vorhandenen Camping- und Sportplätze, die Naturschutzgebiete, die natürlichen Auenwälder, die Wiesen und die technischen Einrichtungen des Schiffsverkehrs, die Häfen und sonstige wichtige Anlagen dargestellt sind.

Erst unter Auswertung dieses Zustandsplanes ist eine Neuordnung im Sinne der unterbreiteten Vorschläge möglich.

Der Bedeutung dieser Aufgabe entsprechend wäre es erwünscht, wenn das Ufergelände an Wasserstraßen nach Möglichkeit aus dem Privateigentum herausgelöst würde und allerwärts staatliches Eigentum würde.

4. Künftige Planung und Nutzung der Freizeitgestaltung an Binnenwasserstraßen

Die in den vorstehenden Abschnitten erarbeiteten Erkenntnisse ergeben eine klare Zielsetzung der Daseinsvorsorge bei der Gestaltung und dem Bau von Wasserstraßen im Rahmen einer Politik der Freizeitgestaltung und des Landschaftsschutzes.
Folgende Zielsetzungen sind gegeben:

Erhaltung und Verbesserung des Gütezustandes des Wassers [2]

Schaffung besserer Zugänglichkeit zu den Binnenwasserstraßen

Beachtung der Freizeitgestaltung bei der Planung von technischen Anlagen an den Binnenwasserstraßen

Berücksichtigung der öffentlichen Freizeitnutzung bei vorhandenen oder geplanten Binnenwasserstraßen

Gestaltung, Sicherung und Nutzung von ausgebeuteten Kiesgruben für die wasserbezogene Erholung [5]

Planmäßige Schaffung künstlicher Wasserflächen für Naherholungszwecke beim Ausbau neuer Wasserstraßen

Naturnahe Einfügung der Wasserstraßen in die Landschaftsbiologie und Pflege der neuen Anlagen

Neuordnung der Landschaft an Binnenwasserstraßen im Rahmen einer Politik der Freizeitgestaltung mit Aufstellung von Landschaftsplänen unter Beachtung aller Aspekte an den Binnenwasserstraßen als Mehrzweckanlagen

Quantifizierung des Erholungswertes von Wasserflächen und

Freizeitanlagen an Binnenwasserstraßen durch eine Kosten-Nutzen-Analyse bei Investitionsentscheidungen [1]

Im Rahmen des großen weltweiten Programmes „Umweltschutz" ist zu hoffen, daß auch der vorstehende Bericht einen Beitrag zur Verbesserung der Lebensverhältnisse der Menschen, für ihre Freizeitgestaltung und Erholung an Binnenwasserstraßen leistet.

Schrifttumsverzeichnis

[1] KLAUS, J., Prof. Dr.: „Der wirtschaftsfördernde Wert der Überleitung von Altmühl- und Donauwasser in das Regnitz—Maingebiet".
Untersuchung anhand des Nutzen-Kosten-Kriteriums.
Sonderheft, herausgegeben von der Obersten Baubehörde im Bayer. Staatsministerium des Innern.

[2] RINCKE, G., Prof. Dr.-Ing.: „Sauberes Wasser für die Freizeit".
Vogel-Verlag, Würzburg: „Das technische Umweltmagazin" Heft 2/1972.

[3] RENNER, E., Präsident: „Der Main und der Main-Donau-Kanal — Wasserstraßen für Freizeit und Erholung".
„Zeitschrift für Binnenschiffahrt und Wasserstraßen" Heft 9/1971.

[4] MESTER, D., Dipl.-Ing.: „Die Berücksichtigung des Bereiches Freizeit bei Wasserstraßenplanungen".
„Zeitschrift für Binnenschiffahrt und Wasserstraßen" Heft 10/1971.

[5] WEINZIERL, H.: „Kiesgrube und Landschaft, Erfahrungen und Erfolge".
Herausgegeben vom Bayer. Industrieverband Steine, Erden in Zusammenarbeit mit dem Deutschen Naturschutzverein.

Abteilung I — Binnenschiffahrt

Thema 6

Folgen der schnellen Entwicklung der Beförderungsverfahren mit Spezialschiffen (Container-Schiffe, Roll-on/Roll-off-Schiffe, Leichterträger (Lash), Seeleichter) für den Ausbau und den Betrieb der Häfen und der Binnenwasserstraßen. Wirtschaftliche Vorteile, technische Merkmale, Integration in den Verkehr und Probleme der Normung

Berichterstatter: Dr. Günter Boldt, Prokurist, Bremer Lagerhaus-Gesellschaft, Dr.-Ing. Gerhard Finke, Hafendirektor, Duisburg-Ruhrort Häfen AG, Dr.-Ing. Hans Heuser, Direktor, Versuchsanstalt für Binnenschiffbau eV Duisburg, Dipl.-Ing. Albrecht Hoppe, Ministerialrat, Bundesverkehrsministerium Bonn, Dipl.-Ing. Carl Kraemer, Präsident, Wasser- und Schiffahrtsdirektion Duisburg, Dipl.-Ing. Dieter Nagel, Baudirektor, Strom- und Hafenbau, Freie und Hansestadt Hamburg, Rechtsanwalt Hermann Ullrich Pabst, Verein zur Wahrung der Rheinschiffahrtsinteressen, Duisburg, Dipl.-Ing. Ernst-Ludwig Raab, Regierungsbaudirektor, Wasser- und Schiffahrtsdirektion Mainz, Dipl.-Ing. Walter Strähler, Regierungsbaudirektor, Wasser- und Schiffahrtsamt Duisburg-Meiderich.

Zusammenfassung

Der Bericht befaßt sich mit den bisher bekannten Trägerschiffsleichtern (Kombileichtern) der Typen „Lash" und „Seabee". Ihre konstruktiven Einzelheiten werden angegeben, die hydrodynamischen Verhältnisse und die Manövrierfähigkeit werden auf Grund von Modellversuchen erörtert. Über die bisherige Verkehrsabwicklung in Seehäfen, auf Strömen, Kanälen und kanalisierten Flüssen und in Binnenhäfen wird berichtet. Dabei wird auf die in See- und Binnenhäfen vorzusehenden Umschlagseinrichtungen, die Liegeplätze, die Betreuung und Bewachung der unbemannten Trägerschiffsleichter (Kombileichter) sowie auf ihre Abfertigung eingegangen. Die Beförderung auf den Binnenschifffahrtstraßen geschieht im allgemeinen in Schubverbänden, deren Abmessungen sich nach den zu befahrenden Wasserstraßen richten. Die erste Fahrt eines derartigen Verbandes am 2. April 1970 auf dem Rhein mit Abzweigung auf den Main bis Frankfurt wird eingehend beschrieben, dabei auf die zu beachtenden Tiefgangsverhältnisse hingewiesen. Auf Konstruktionsdetails, die auf gedichteten Kanalstrecken im Bereich der Böschungen Schäden verursachen könnten, wird aufmerksam gemacht. Schließlich wird festgestellt, daß diese neue Verkehrsart hinsichtlich der Wirtschaftlichkeit und Verkehrssicherheit Probleme aufwirft, für die sich Lösungsmöglichkeiten abzeichnen.

Inhalt

Seite

1. Begriffsbestimmung und Abgrenzung des Themas 150
2. Fahrzeuge, Verbandsbildung, Hydrodynamik 151
   - 2.1. Ausführungsformen (Typen) 151
   - 2.2. Konstruktive Einzelheiten 152
   - 2.3. Flachwasser-Hydrodynamik 154
     - 2.3.1. Widerstand und Vortrieb 154
     - 2.3.2. Manövrierfähigkeit 156

Seite

3. Verkehrsabwicklung (Operation) 158

3.1. Verkehrsabwicklung im Seehafen 158

3.1.1. Durch das Seeschiff bedingte hafenbautechnische Anlagen 158

3.1.2. Besondere Vorkehrungen bei gleichzeitiger Containerbehandlung 158

3.1.3. Lade- und Löschsysteme der Trägerschiffe 159

3.1.4. Sammeln und Vorstauen der Trägerschiffsleichter (Kombileichter) 159

3.1.5. Laden und Löschen der Trägerschiffsleichter (Kombileichter) in Vorhäfen oder auf offener See 160

3.1.6. Beladen und Entladen der Trägerschiffsleichter (Kombileichter) 160

3.2. Verkehrsabwicklung auf Strömen 160

3.2.1. Bericht über die erste Fahrt von Trägerschiffsleichtern (Kombileichtern) auf Rhein und Main 160

3.2.2. Bemerkungen zu Bau und Ausrüstung, Betriebs- und Verkehrssicherheit 163

3.2.3. Abladetiefen 165

3.3. Verkehrsabwicklung auf Kanälen und kanalisierten Flüssen 165

3.4. Verkehrsabwicklung in Binnenhäfen 166

3.4.1. Transport der Trägerschiffsleichter in und aus dem Hafen 166

3.4.2. Anforderungen an den Hafen 166

3.4.3. Koppel- und Liegeplatz 166

3.4.4. Betreuung und Bewachung der Trägerschiffsleichter (Kombileichter) im Hafen 167

3.4.5. Transport im Hafen zur und von der Umschlagstelle 168

3.4.6. Anforderungen an die Umschlagstelle 168

3.4.7. Liegen der Trägerschiffsleichter (Kombileichter) an der Umschlagstelle 168

3.4.8. Umschlag 169

3.4.9. Einsatz von Trägerschiffsleichtern (Kombileichtern) des Typs SEABEE 169

4. Schlußbetrachtung 169

1. Begriffsbestimmung und Abgrenzung des Themas

Diese Darstellung befaßt sich nicht mit Containern und, obwohl der „Lash-Verkehr" angesprochen ist, nicht mit dem Trägerschiff, sondern allein mit dem Leichter, im folgenden mit Trägerschiffsleichter (Kombileichter) bezeichnet, der über die hohe See an Bord eines Schiffes, des Trägerschiffes befördert wird [(l)ighter (a)board (sh)ip] und der dazu bestimmt ist, im Vor- und Nachlauf zu und von den Seehäfen Binnenwasserstraßen zu befahren, unter Erleichterung des Umschlags in den Häfen.

Nach dem Bericht der „Commission des Communautés Européennes, Comité consultatif des transports" vom 15. Dezember 1971 gilt folgende Definition, die auch von der

Europäischen Wirtschaftskommission (ECE) und der Zentralkommission für die Rheinschiffahrt (ZKR) verwendet wird, wobei der französische Text maßgebend ist:

„La barge de navire est un engin de transport

„a) destiné au transport (combiné) de marchandises par la navigation,

„b) ayant un caractère permanent quant à sa structure,

„c) spécialement conçu pour successivement

— être acheminé par un navire de mer équipé à cet effet et

— être poussé remorqué sur de voies d'eau non maritimes, sans adjonction d'autres installations assurant son état de navigabilité."

Übersetzung:

„Der Trägerschiffsleichter (Kombileichter) ist ein Fahrzeug, das

„a) zur (kombinierten) Güterbeförderung in der Schiffahrt bestimmt ist,

„b) von dauerhafter Beschaffenheit hinsichtlich seiner Bauart,

„c) besonders konzipiert ist, um nacheinander

— durch ein entsprechend ausgestattetes Seeschiff befördert zu werden und

— auf nicht zur See gehörenden Wasserstraßen ohne andere Einrichtungen, die seine Fahrtüchtigkeit gewährleisten, geschoben oder geschleppt zu werden."

Von dem konventionellen Schubleichter unterscheidet sich der Trägerschiffsleichter (Kombileichter) nur dadurch, daß er kleiner ist, keine strömungsgünstige Bugform hat und auch nicht oder nicht in der gleichen Weise mit verschiedenen Einrichtungen, z. B. Ankern, ausgerüstet ist. Die Rheinzentralkommission hat daher festgestellt, daß Trägerschiffsleichter (Kombileichter) in jedem Falle Schubleichter sind und damit denselben Vorschriften wie diese unterliegen. Bisher gilt die einzige schiffahrtpolizeiliche Sondervorschrift, daß Trägerschiffsleichter (Kombileichter), von besonderer Zulassung abgesehen, nicht an die Spitze eines Schubverbandes gesetzt werden dürfen. Der Seeschiffahrt können die Trägerschiffsleichter (Kombileichter) als Fahrzeuge nicht zugerechnet werden, da sie ihrer Bauart und Ausrüstung nach nicht auf der hohen See, sondern nur in Häfen und auf Binnenwasserstraßen verwendet werden können. *)

2. Fahrzeuge, Verbandsbildung, Hydrodynamik

2.1. Ausführungsformen (Typen)

Bisher (Stand April 1972) sind die beiden folgenden Typen von Trägerschiffsleichtern (Kombileichtern) genormt worden und kommen in größerem Umfang zum Einsatz:

*) Trägerschiffsleichter (Kombileichter) sind Binnenschiffe im Sinne der Schiffsregisterordnung (§ 3) und des Binnenschiffahrtsgesetzes, denn sie sind „schwimmfähige, mit einem Hohlraum ausgestatete Fahrzeuge, die über eine Bewegungsmöglichkeit verfügen und zur Schiffahrt bestimmt sind". Dennoch unterliegen sie den einschlägigen gesetzlichen Vorschriften über Binnenschiffe, insbesondere sind sie Objekte selbständiger Rechte (Eigentum, Hypothek).
Trägerschiffsleichter (Kombileichter) entsprechen der Definition „Schubleichter" nach der Rheinschiffahrtspolizeiverordnung. Unter Schubleichtern, z. B. der Typen „LASH" und „SEABEE" sind also Schubleichter eigentümlicher Bauweise und Ausrüstung zu verstehen, für die es einer besonderen Definition nicht bedarf, denn die Begriffsbestimmung der Schubleichter nach RheinSchPVO (§ 1.01 d) trifft voll auf sie zu: „ein zur Fortbewegung durch Schieben gebautes oder hierfür besonders eingerichtetes Fahrzeug".

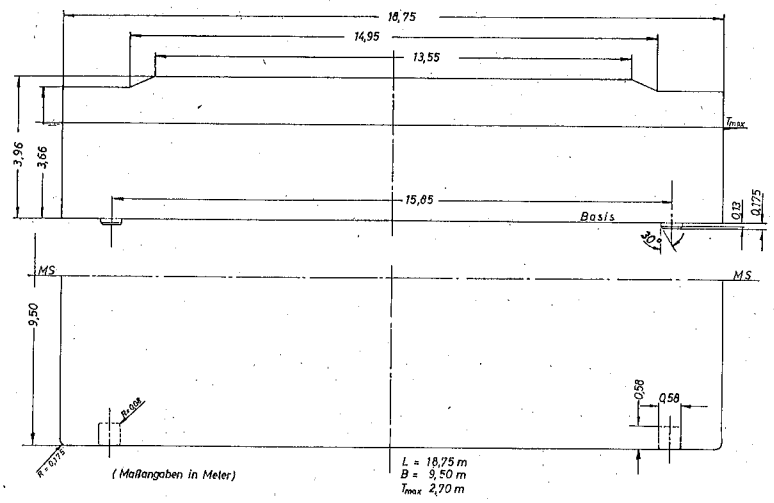


Abb. 1: Trägerschiffsleichter (Kombileichter) Typ LASH

Typ LASH (Abb. 1)

Länge über alles	$L_{ü.a.}$	=	18,75	m
Breite	$B_{ü.a.}$	=	9,50	m
Seitenhöhe	H	=	3,66	m
Höhe bis OK Laderaum	H_{tot}	=	3,96	m
max. Tiefgang (über Boden)	T_{max}	=	2,70	m
max. Wasserverdrängung	$\forall_{max}$	=	480	m^3
Eigengewicht (ca.)	G	=	80	t
max. Ladefähigkeit	L_{max}	=	400	t

Typ SEABEE (Abb. 2)

Länge über alles	$L_{ü.a.}$	=	29,72	m
Breite	$B_{ü.a.}$	=	10,67	m
Seitenhöhe	H	=	3,25	m
Höhe bis OK Laderaum	H_{tot}	=	4,90	m
max. Tiefgang (über Boden)	T_{max}	=	3,25	m
max. Wasserverdrängung	$\forall_{max}$	=	1 030	m^3
Eigengewicht (ca.)	G	=	180	t
max. Ladefähigkeit	L_{max}	=	850	t

2.2. *Konstruktive Einzelheiten*

Schiffbaulich gesehen stellt der Trägerschiffsleichter (Kombileichter) ein schwimmfähiges Gefäß einfachster Form mit genormten Abmessungen und Ausrüstungsteilen dar, das in großen Stückzahlen nach Stahlbau-Methoden gefertigt wird. Beide unter 2.1. genannten

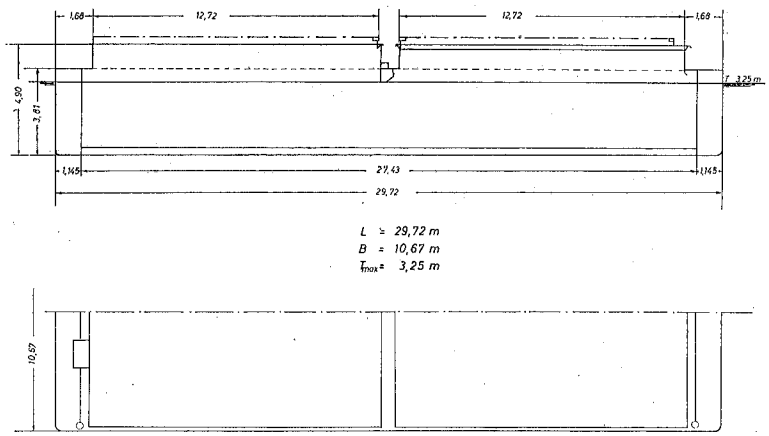


Abb. 2: Trägerschiffsleichter (Kombileichter)
Typ SEABEE

Typen sind quaderförmige Behälter mit Rechteckgrundriß ohne nennenswerte Abrundungen, so daß sie den Blockkoeffizienten $\delta = 1{,}0$ besitzen. Ein mit Lukendeckel verschließbarer Laderaum mit glatten, senkrechten Wänden und ebenem Boden bietet optimale Raumnutzungsmöglichkeiten. Den Vorzügen niedriger Gestehungskosten und günstiger Ersatzteilhaltung bei optimalem Verhältnis von Nutzlast zu Eigengewicht stehen Nachteile für den Einsatz der Trägerschiffsleichter (Kombileichter) im Vergleich zu normalen Schubleichtern auf Binnenschiffahrtsstraßen gegenüber.

Diese Nachteile entstehen einerseits aus der hydrodynamisch sehr ungünstigen äußeren Form und zum anderen dadurch, daß die Ausrüstung der z. Z. im Betrieb befindlichen Ausführungen für den Verkehr auf Binnengewässern als unzureichend bezeichnet werden muß. Dabei sind insbesondere das Fehlen von Ankern und die unterdimensionierte Ausführung von Winden und Pollern wichtige Einzelpunkte, die einer Änderung bedürfen. Während Abänderungen dieser Art durchaus im Rahmen der technischen Möglichkeiten — auch unter Berücksichtigung des Transports der Trägerschiffsleichter (Kombileichter) in Seeschiffen — liegen, sind die Hauptabmessungen und die äußere Form durch die Platzverhältnisse sowie durch Art und Dimensionierung der Transportvorrichtungen in den Trägerschiffen weitestgehend festgelegt.

Beim kleineren Typ LASH, der bisher schon in größerem Umfang auf deutsche Binnenwasserstraßen verbracht wird und dessen Breite den Einsatz im westdeutschen Kanalsystem noch gerade ermöglicht, ist ein Konstruktionsdetail für den praktischen Betrieb besonders unvorteilhaft:

Die Behälter benötigen zum Übereinander-Stau im Trägerschiff vier Stützpfosten als vertikal tragende Bauteile. Gemäß Skizze Abb. 1 befinden sich diese Pfosten unmmitelbar an den Seitenwänden und ragen ca. 180 mm über den Boden nach unten heraus. Sie vergrößern dadurch den tatsächlichen Tiefgang, erhöhen den Wasserwiderstand und stellen eine besondere Gefahr für die Beschädigung von geneigten Kanalböschungen dar. Es bleibt zu prüfen, ob es möglich ist, durch konstruktive Änderungen diese Nachteile zu vermeiden.

Hinsichtlich der Bewegung an der Oberfläche von Wasserläufen geringer Tiefe ist die Quaderform der Trägerschiffsleichter (Kombileichter) denkbar schlecht. Widerstand und Kursstabilität des einzelnen Leichters werden nicht nur durch die Form, sondern auch durch das ungünstige Längen-Breiten-Verhältnis sehr nachteilig beeinflußt.

2.3. *Flachwasser-Hydrodynamik*

2.3.1. Widerstand und Vortrieb

Die Beförderung auf Binnenwasserstraßen kann wirtschaftlich nur im Schubverband erfolgen. (Das Verbringen im Schleppzug erfordert je ein Schlepper vor und hinter dem Leichterverband und damit einen zu hohen Personalaufwand.)

Die Zusammenstellung im ein- oder zweireihigen Verband (Abb. 3) ermöglicht eine Verbesserung sowohl des spezifischen Widerstandes je t Ladung als auch der Kursstetigkeit, da das L/B-Verhältnis des Verbandes gegenüber dem Einzelleichter größer werden kann.

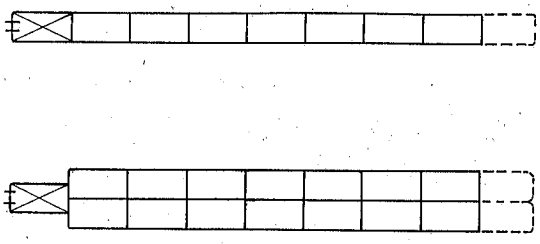


Abb. 3: Trägerschiffsleichter (Kombileichter)
Verbandsbildungen mit Schubboot
und Bugeinheiten
Beispiel: Typ LASH

In der Bundesrepublik Deutschland (BRD) sind in der Versuchsanstalt für Binnenschiffbau eV, Duisburg, (VBD) während der letzten Jahre umfangreiche Modelluntersuchungen mit Trägerschiffsleichter-(Kombileichter-)Verbänden der Typen LASH und SEABEE durchgeführt worden mit dem Ziel, den Leistungsbedarf eines Schubbootes bei verschiedenartigen Verbandsformationen und Anzahlen der Leichter als Funktion von Geschwindigkeit und gesamter Wasserverdrängung auf flachem Wasser zu ermitteln. Dabei wurde deutlich, daß Trägerschiffsleichter-(Kombileichter-)Verbände mit angemessenem Leistungsaufwand nur befördert werden können, wenn ihnen Bugeinheiten vorgesetzt werden, die eine strömungsgünstige Formgebung aufweisen. Dazu werden zweckmäßig entweder vorhandene Schubleichter des Typs EUROPA I (70 × 9,50 m) oder deren Vorschiffe — als selbständig schwimmende Einheiten — verwendet. Wenn die Zahl der ins Binnenland weiter zu transportierenden Trägerschiffsleichter (Kombileichter) zunimmt, wird die letztere Variante bevorzugt werden, da im ersteren Fall wegen der begrenzten zulässigen Gesamtlängen zu wenig Leichter in einem Verband befördert werden können. Solche speziellen Bugeinheiten in der Formgebung der Vorschiffe von EUROPA-Typschubleichtern können eine dreifache Aufgabe erfüllen:

1. sie sind Träger der Ankereinrichtung für den Verband
2. sie vermindern sehr erheblich den Fahrtwiderstand
3. sie erhöhen die Kursstabilität des Verbandes und verkürzen den Zeitbedarf für ein Ausweichmanöver.

Mit Eigenantrieb versehen würden sie sowohl als Bugsteuerorgan in Fahrt als auch zum Verholen und Kuppeln der Trägerschiffsleichter (Kombileichter) im Hafen zusätzlich Vorteile bieten.

Schwierigkeiten bereitet die Frage der Anpassung der Bugeinheiten an den Verband hinsichtlich Tiefgang und Trimmlage. Sie müssen deshalb über Ballasträume und eine

leistungsfähige Pumpeneinrichtung verfügen. Dazu ist eine bestimmte Mindestlänge erforderlich, die auf ca. 18—19 m zu beziffern ist. Der Vorschlag geht dahin, das Vorschiff eines Typleichters EUROPA I mit der Länge eines Trägerschiffsleichters (Kombileichters) zu verwenden.

Die Abbildung zeigt eine Skizze des VBD-Vorschlages mit folgenden Daten:

Länge über alles	$L_{ü.a.}$	=	18,75 m
Länge i. d. WL 2500	$L_{WL\ 2500}$	=	15,80 m
Länge i. d. WL 3250	$L_{WL\ 3250}$	=	17,30 m
Breite a. Spt.	$B_{Spt.}$	=	9,46 m
Tiefgang, max.	T_{max}	=	3,25 m
Wasserverdrängung gll.			
a. WL 2500		=	307 m^3
a. WL 3250		=	425 m^3

Obgleich die Bugeinheiten ca. 1,20 m schmaler als die Trägerschiffsleichter (Kombileichter) Typ SEABEE sind, können sie auch bei Verbänden aus Leichtern dieses Typs verwendet werden.

Es liegt nahe, den ohnehin erforderlichen Antriebsmotor für die Ballastpumpe stärker zu nehmen und ihn wahlweise für den Betrieb eines aktiven Steuerorgans einzusetzen. Dieses Steuerorgan sollte ein Ruderpropeller oder ein gleichwertiges Aggregat mit stetig veränderlicher Schubrichtung sein, damit beim Koppeln und Verholen feinfühlig manövriert werden kann. Eine motorische Antriebsleistung von 250—300 PSe wäre voll ausreichend. Die Bedienung muß sowohl auf der Bugeinheit selbst als auch vom Schubboot ferngesteuert erfolgen können.

Hinsichtlich Punkt 2 der Vorteile bei der Verwendung von Bugeinheiten — Verminderung des Fahrtwiderstandes — hatten die Modellversuche eindeutige und in ihrer Größenordnung überraschende Resultate.

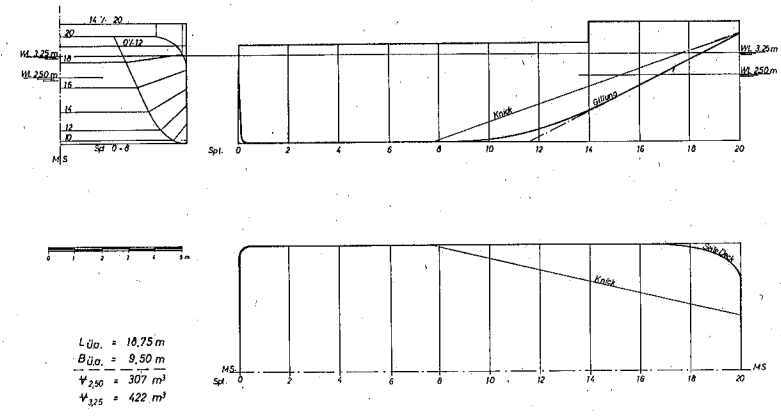
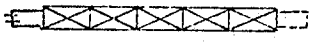


Abb. 4: Bugeinheit für Verbände aus Trägerschiffsleichtern (Kombileichtern)
Vorschlag VBD

Mit der Vergleichsleistung von 2 × 750 WPS eines 2-Schrauben-Schubbootes von 19,0 m Länge mit Propellerdüsen wurden beispielsweise folgende Fahrgeschwindigkeiten ermittelt:

Verbandskombination	Leichter Typ	Tiefgang der Leichter (m)	Fahrgeschwindigkeit (km/h) ohne Bugeinheit	mit Bugeinheit
	LASH	2,50	8,10	11,50
	SEABEE	3,25	10,80	13,15

Vergleichswassertiefe h = 5,0 m.

Der Geschwindigkeitsgewinn bei Vorsetzen der Bugteile beträgt somit, trotz der Mehrverdrängung des Gesamtverbandes, 42 bzw. 22 %. Dieses Ergebnis gilt für die Fahrt in stehendem Wasser. Der Gewinn bei der Bergfahrt in strömendem Wasser ist zwar absolut gleich, relativ jedoch noch wesentlich größer. So beträgt beispielsweise die Geschwindigkeitsdifferenz bergwärts relativ zum Ufer in einer Strömung von 4 km/h:
für das Beispiel Typ LASH 83 %, für das Beispiel Typ SEABEE 35 %.

Die Versuchsresultate lassen auch eine Näherungsberechnung des Leistungsbedarfs für Verbandszusammenstellungen mit unterschiedlicher Zahl und Anordnung der Trägerschiffsleichter (Kombileichter) zu. Abbildung 5 zeigt als Beispiel das Berechnungsdiagramm, das für die Vergleichswassertiefe 5,0 m und Verbände aus Leichtern Typ LASH mit Bugeinheiten gilt. Tiefgang der Ladungsträger 2,50 m. Die mögliche Fehlergröße im Leistungsbedarf wird etwa ±6 % nicht unterschreiten, da Einflüsse aus dem Propulsionsgütegrad durch Abweichungen in Größe und Formgebung des Schubboots sowie in Art und Dimensionierung seiner Vortriebsorgane nicht berücksichtigt werden konnten.

So werden die Ergebnisse für ein längeres Schubboot mit optimaler Formgebung und geringer Propellerbelastung günstiger, d. h. im negativen Toleranzbereich, die für ein kurzes Schubboot mit Propellern ohne Düse, ungünstigerer Formgebung und kleinem Propellerdurchmesser im positiven Toleranzbereich liegen.

2.3.2. Manövrierfähigkeit

Hinsichtlich der allgemeinen Manövrierfähigkeit von Trägerschiffsleichter-(Kombileichter-)Verbänden konnten wichtige Erkenntnisse aus vergleichenden Standard-Manövrierversuchen gewonnen werden:

Bei gleicher Antriebsleistung, also wesentlich geringerer Geschwindigkeit und entsprechend verminderter Ruderquerkraft am Schubboot erfolgt eine Kursänderung als Reaktion auf Ruderlegen (ANSCHWENKEN) beim Verband ohne Bugeinheiten ebenso schnell wie beim Verband mit Bugeinheiten. Bezogen auf gleiche Ruderquerkraft bedeutet dies eine erheblich kürzere Reaktionszeit ohne Bugeinheiten — der Verband ist weniger kursstabil.

Besonders klar ist das Versuchsresultat beim STÜTZEN. Die eingeleitete Drehbewegung um die Hochachse kann beim Verband ohne Bugeinheiten in 28 % kürzerer Zeit zum Stillstand gebracht werden als beim Verband mit Bugeinheiten. Die erreichbare QUERVERSETZUNG — Ziel eines Ausweichmanövers beim Begegnen — ist mit Bugeinheiten ca. 20 % größer als ohne diese. Die Verwendung von strömungsgünstig geformten

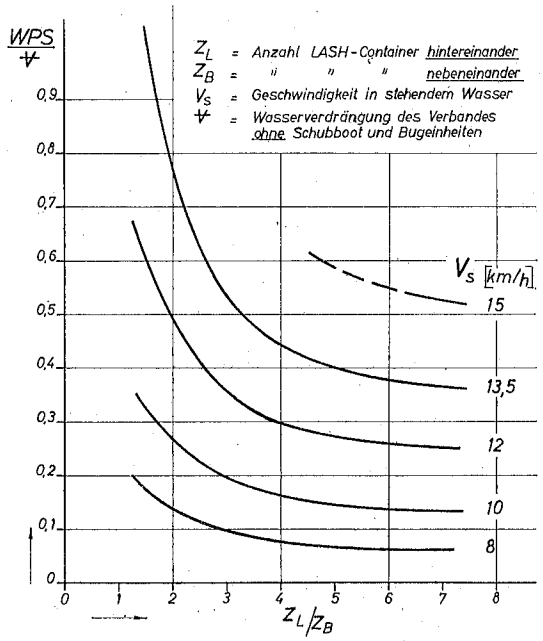


Abb. 5: Antriebsleistung für Schubboote zum Transport von Verbänden aus Trägerschiffsleichtern (Kombileichtern)
Typ LASH
Wassertiefe h = 5,0 m Tiefgang T = 2,5 m
Verbände mit Bugeinheiten

Bugeinheiten ist also auch vom Standpunkt des Manövrierverhaltens aus sehr zu empfehlen.

Das Stoppvermögen (Zeit- und Wegbedarf vom Beginn eines Stoppmanövers bis zum Stillstand) ist bei Trägerschiffsleichter-(Kombileichter-)Verband durchweg schlechter als beim normalen Schubverband gleicher Größe. Dies gilt insbesondere für den wichtigsten Fall: das Stoppen ausschließlich mit Hilfe der Propeller des Schubbootes bei Talfahrt in einem Fluß bis zum Stillstand relativ zum Ufer. Der nach Voraus gerichtete Propellerschub wird durch Auftreffen des Strahls auf die senkrechte Rückwand der letzten Leichter, abhängig von der Tiefgangsdifferenz zum Schubboot, in seiner Bremswirkung mehr oder minder stark reduziert. In der letzten Phase der Rückwärtsfahrt relativ zum strömenden Wasser ist der nutzbare Schub dadurch ebenfalls verhältnismäßig gering.

Besitzt der Verband vorgesetzte Bugeinheiten, so vergrößern sich die Stoppwege und -zeiten weiter, da aus höheren Anfangsgeschwindigkeiten heraus gestoppt werden muß.

Schubboote mit relativ großem Tiefgang ergeben — wie bei allen Schubverbänden — auch hier eine Verbesserung der Stoppeigenschaften. Modellversuche mit einem Übergangsstück zwischen Schubboot und Leichter im Unterwasserbereich, das in der Praxis als aufblasbares PVC-Formteil auf dem Schubboot mitgeführt werden könnte, erbrachten eine wesentliche Erhöhung des nutzbaren Rückwärtsschubes der Schubbootpropeller beim Stoppmanöver und damit eine deutliche Verminderung des Weg- und Zeitbedarfs. Ein solches Übergangsstück würde auch eine Steigerung der erreichbaren Vorausgeschwindigkeiten als Funktion der Antriebsleistung bringen.

3. Verkehrsabwicklung (Operation)

3.1. Verkehrsabwicklung im Seehafen

3.1.1. Durch das Seeschiff bedingte hafenbautechnische Anlagen

Das einen Seehafen anlaufende Leichter-Trägerschiff macht zum Zwecke des Ladens oder Löschens entweder

an Dalben oder
an Ufermauern oder
an Bojen

fest. Dalben, Ufermauern und Bojen können dabei im strömenden Wasser (Buchten oder Flußmündungen) oder im stehenden Wasser (offene und abgeschleuste Hafenbecken) liegen. Im Gegensatz zu den Verhältnissen im stehenden Wasser wird das Laden und Löschen der Leichter im strömenden Wasser von drei Faktoren hinsichtlich der Umschlagsgeschwindigkeit beeinflußt. Es sind dies die Lage des Schiffes relativ zur Strömung, die Strömungsgeschwindigkeit und im Falle des Festmachens an Bojen der Bewegungsspielraum der Bojen.

Durch die Größe der Trägerschiffe und ihre hohen Ladungen über Deck sind von den Festmache-Einrichtungen erhebliche Kräfte aufzunehmen. Bei einem Dalbenliegeplatz sind zwei Anlege- und mindestens zwei zurückgesetzte Vertäudalben erforderlich. Die Anlegedalben müssen für ein Arbeitsvermögen von etwa 130 Mpm und bei den an der deutschen Nordseeküste herrschenden Windverhältnissen mindestens für eine Kraft von 110 Mp bemessen werden. Für die Vertäudalben ergibt sich ein Trossenzug von 220—250 Mp in einer Höhe von 6,0 m über NN. Bei derartigen Kräfteverhältnissen werden zweckmäßig mehrpfählige Rohrdalben verwendet, wobei die Einleitung der Kräfte in die Anlegedalben über vorbauende Stahlfenderkonstruktionen mit einer Holzfenderschürze erfolgt. Die grundsätzliche Anordnung eines Dalbenliegeplatzes ist in Abb. 6 dargestellt.

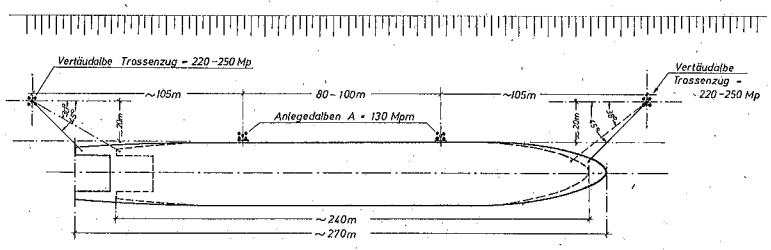


Abb. 6:

Bei einem Liegeplatz an einer Ufermauer müssen die vorhandenen Festmacheeinrichtungen (Poller) und Fender überprüft werden, inwieweit sie in der Lage sind, die durch das Leichter-Trägerschiff auftretenden Kräfte aufzunehmen.

3.1.2. Besondere Vorkehrungen bei gleichzeitiger Containerbehandlung

Einige Typen von Leichter-Trägerschiffen sind derart ausgerüstet, daß sie über und unter Deck Container tragen können. In diesem Falle müssen solche Trägerschiffe an einer Ufermauer abgefertigt werden, die mit Containerhebezeugen versehen ist. Das Laden und Löschen der Trägerschiffsleichter (Kombileichter) kann an derselben Ufermauer vor-

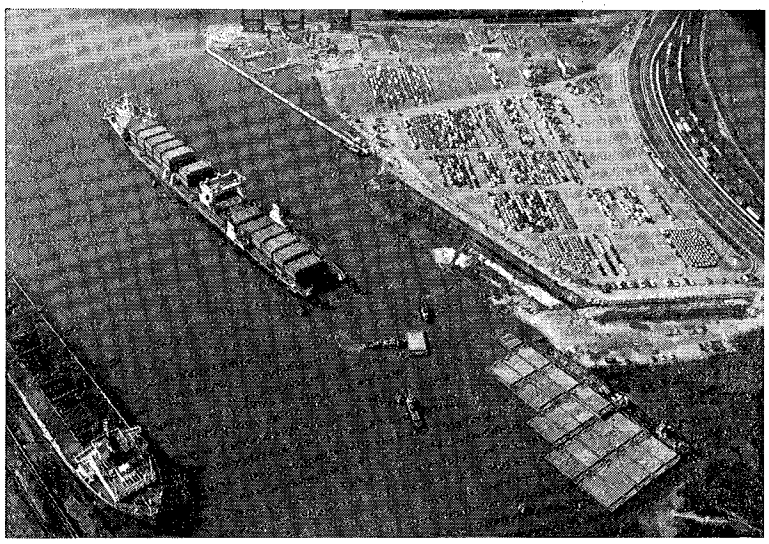


Abb. 7: Trägerschiff und „fleeting area" in Bremerhaven

genommen werden oder an einem anderen Platz zu dem das Schiff verholt. Dies trifft nicht zu für Trägerschiffe, bei denen die Container nur in den Leichtern verstaut sind.

3.1.3. Lade- und Löschsysteme der Trägerschiffe

Zur Zeit existieren zwei unterschiedliche Lade- und Löschsysteme für die Trägerschiffe.

Beim LASH-System werden die Trägerschiffsleichter (Kombileichter) ähnlich wie bei den Containerschiffen in Zellen senkrecht übereinander gestaut. Die Leichter werden mit einem an Bord des Trägerschiffes installierten Portalkran einzeln am Heck des Schiffes zu Wasser gelassen oder aus dem Wasser gehoben, in Längsrichtung des Schiffes auf Kranbahnen verfahren und an den Stauplätzen des Schiffes in den verschiedenen Lagen abgesetzt bzw. von den Stauplätzen abgehoben.

Beim SEABEE-System werden die Leichter ähnlich wie bei den Roll-on/roll-off-Schiffen horizontal hintereinander auf den drei Decks gestaut. Die Leichter werden mit einem im Heck des Schiffes eingebauten Lift zu Wasser gelassen oder aus dem Wasser gehoben und zu den einzelnen Decks des Schiffes verbracht; die horizontale Bewegung der Leichter in Längsrichtung des Schiffes auf den Decks übernimmt ein Transportsystem mit eigenem Antrieb.

3.1.4. Sammeln und Vorstauen der Trägerschiffsleichter (Kombileichter)

Die gelöschten oder zu ladenden Leichter werden in der Nähe des Liegeplatzes des Trägerschiffes in einer „fleeting area" gesammelt. Den Transport der Leichter von oder zum Trägerschiff zur oder von der „fleeting area" besorgen Hafenschlepper oder Barkassen.

In der „fleeting area" für das Laden gesammelte Leichter werden so vorgestaut, daß sie entweder in der Ladereihenfolge des Trägerschiffes zusammengestellt werden oder freien Zugriff („random access") durch die Schlepper zu jedem Leichter ermöglichen. Dies ergibt sich aus der Notwendigkeit, das Trägerschiff nach einem Stauplan zu laden,

der die Stabilität des Schiffes und die Sequenz der Leichter an Bord gemäß den angelaufenen bzw. anzulaufenden Häfen berücksichtigt.

Die zu ladenden Leichter sind entweder auf dem Wasserwege aus dem Hinterland beladen (leer) eingetroffen oder wurden im Hafengebiet beladen bzw. kommen entladen aus dem Hafengebiet. Die gelöschten Leichter sollen entweder auf dem Wasserwege ins Hinterland transportiert oder im Seehafengebiet entladen werden.

Die bisherige Erfahrung im Leichterverkehr zeigt, daß der überwiegende Teil der Leichter in den Seehäfen beladen und entladen wird.

Der Transport innerhalb des Seehafengebietes vollzieht sich in der Regel in kleineren Einheiten mittels Schlepper oder Schubboot zu oder von den Lade- oder Löschstellen.

3.1.5. Laden und Löschen der Trägerschiffsleichter (Kombileichter) in Vorhäfen oder auf offener See

Eine Variante des Transportes im Hafergebiet tritt dann ein, wenn die Lade- und Löschoperation des Trägerschiffes nicht unmittelbar im Seehafengebiet ausgeführt wird, sondern in Vorhäfen (z. B. Bremerhaven an der offenen See und Bremen weiter im Binnenland) oder im offenen Küstenbereich vor einem Hafen, so daß ein Transport der Leichter zum oder vom Bestimmungshafen notwendig wird. In diesem Falle wird zusätzlich zur „fleeting area" in der Nähe des Liegeplatzes des Trägerschiffes eine „marshalling area" im Bestimmungshafen erforderlich. Diese Wasserfläche dient dem Zweck, vom Trägerschiff gelöschte über die „fleeting area" eintreffende Leichter aufzunehmen, die in der Folge von dieser „marshalling area" auf die einzelnen Löschstellen disponiert werden. Umgekehrt nimmt diese Wasserfläche die Funktion wahr, an Ladestellen des Hafens beladene Leichter aufzunehmen, bis ein Schubverband für das Trägerschiff gebildet wird. Das Zusammenstellen und Auflösen von Schubverbänden vollzieht sich in dieser „marshalling area". Diese Wasserfläche muß dergestalt ausgelegt und örtlich angelegt sein, daß kostspielige Verholbewegungen der Leichter im Hafen minimiert werden.

3.1.6. Beladen und Entladen der Trägerschiffsleichter (Kombileichter)

Beladen und Entladen der Trägerschiffsleichter (Kombileichter) im Seehafen geschehen konventionell. Die hierfür vorzuhaltenden Ufermauern, Hebezeuge und Schuppen müssen den Tiefgängen der Leichter, den Gewichten und Massen der Packstücke etc. entsprechen. Für diesen Zweck bieten sich solche Anlagen an, die für andere moderne Verkehre (Container-, Roll-on/roll-off- und Unitschiffe) nicht mehr adäquat sind. Die Ent- und Beladung der Leichter einschließlich Transport von oder zum Trägerschiff muß jedoch in der Zeitspanne erfolgen, die sich aus zwei aufeinander folgenden Ankünften des Trägerschiffes ergibt.

Sind für den Bestimmungshafen disponierte Leichter mit Containern beladen oder sollen mit solchen beladen werden, so müssen die Leichter an mit entsprechenden Hebezeugen ausgerüsteten Anlagen abgefertigt werden.

3.2. *Verkehrsabwicklung auf Strömen*

3.2.1. Bericht über die erste Fahrt von Trägerschiffsleichtern (Kombileichtern) auf Rhein und Main

Anfang Dezember 1969 lief das erste Trägerschiff, die „Acadia Forest" mit 75 Trägerschiffsleichtern (Kombileichtern) an Bord in Rotterdam ein. Die Leichter wurden im

Hafen zu Wasser gelassen und Schubverbände für den Weitertransport auf dem Rhein zusammengestellt.

Am 2. April 1970 fuhr ein Schubverband, bestehend aus dem Schubboot „A. Detoeuf" und den beiden voreinander gekuppelten Trägerschiffsleichtern (Kombileichtern) „CG 90" und „CG 145" sowie dem Schubleichter „Navis 6" an der Spitze, durch die Gebirgsstrecke. Die Leichter haben von der Schiffsuntersuchungskommission Rotterdam am 4. November 1969 ein Schiffsattest erhalten. Der Leichter „CG 90" war auf 1,76 m und der Leichter „CG 145" auf 1,48 m abgeladen.

Der Verband hatte eine Gesamtlänge von 141,98 m bei einer Breite des Schubbootes von 11,30 m und der Leichter von 9,50 m.

Nach § 11.02 Rheinschiffahrtspolizeiverordnung dürfen Schubverbände folgende Abmessungen nicht überschreiten:

Lfd. Nr.	Strecke	Länge in m	Breite in m
I.	Basel—unterste Schleusen des kanalisierten Rheins		
	a) Schleusen Kembs:		
	große Kammer	180 *)	22,80
	kleine Kammer	95	22,80
	in der Berg- und Talfahrt b) Schleusen Ottmarsheim, Fessenheim, Vogelgrün, Marckolsheim und Rheinau:		
	große Kammer	183 *)	22,80 **)
	kleine Kammer	183 *)	11,40
	c) übrige Schleusen:		
	große Kammer	185	22,80
	kleine Kammer	185	11,40
II.	Unterste Schleusen des kanalisierten Rheins—Lauterburg		
	a) in der Bergfahrt	185	11,40
	b) in der Talfahrt	110	22,80
III.	Lauterburg—Bingen		
	a) in der Berg- und Talfahrt	185	22,80
	b) in der Talfahrt wahlweise	150	33,60
IV.	Bingen—St. Goar		
	in der Berg- und Talfahrt	110 ***)	22,80
V.	St. Goar—Gorinchem		
	a) in der Berg- und Talfahrt	185	22,80
	b) in der Talfahrt wahlweise	150	33,60
VI.	Pannerden—Krimpen		
	in der Berg- und Talfahrt	110 ***)	12,00 ***)

*) Die Länge darf mit Erlaubnis der zuständigen Behörde auf 185 m erhöht werden.

**) Die Breite eines Schubverbandes darf 22,40 m nicht überschreiten, wenn die kleine Kammer der Schleuse außer Betrieb ist.

***) Die zuständige Behörde kann Verbände mit größeren Abmessungen zulassen.

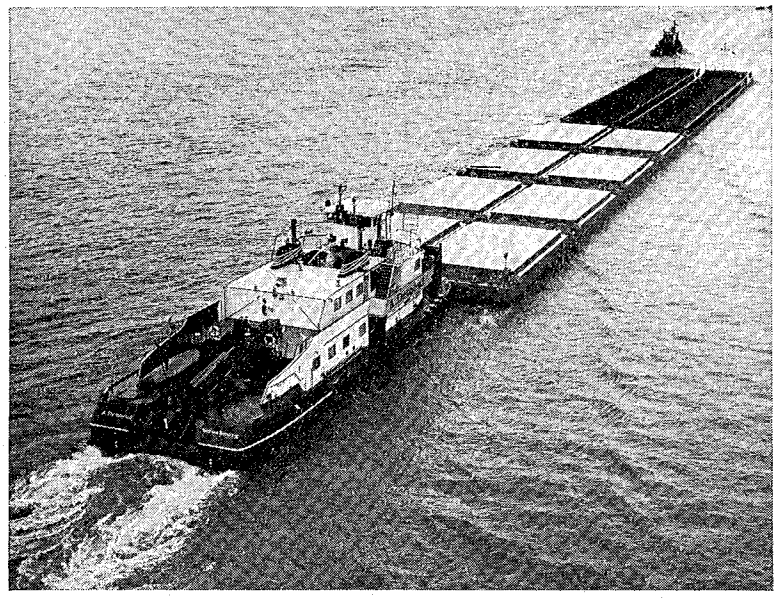


Abb. 8
Schubboot „A. Detoeuf" mit 8 Trägerschiffsleichtern
und 2 Schubleichtern auf dem Rhein

Die Manövriereigenschaften und die Fahrweise des Verbandes entsprachen denen eines Schubverbandes mit konventionellen Schubleichtern. Dies ist darauf zurückzuführen, daß ein normaler Schubleichter an der Spitze des Verbandes eingestellt wurde.

Der Verband legte die 6 km lange Strecke von St. Goar nach Oberwesel in etwa 1 Stunde und die 21 km lange Strecke zwischen Oberwesel und Bingen in rd. 2½ Stunden zurück. Das entspricht einer Geschwindigkeit über Grund in der ersten Strecke von 6 km/h und in der zweiten Strecke von rd. 8,5 km/h. Unter Berücksichtigung der durchschnittlichen Fließgeschwindigkeit des Rheins entspricht dem eine relative Geschwindgkeit des Verbandes gegen Wasser zwischen St. Goar und Oberwesel von rd. 13 km/h und zwischen Oberwesel und Bingen eine solche von rd. 16 km/h.

Dies ist natürlich eine recht grobe Betrachtung. Bei jeder Fahrt wird man auf dieser nautisch schwierigen Stromstrecke abweichende Werte für die Geschwindigkeit erhalten. Selbst innerhalb der beiden Teilstrecken können diese Durchschnittswerte mehr oder weniger stark unter- bzw. überschritten werden. In der Bergfahrt müßte mit einer Höchstgeschwindigkeit Schiff gegen Wasser von rd. 16 km/h gerechnet werden. Bei dem beobachteten Verband sind dabei keine Schwierigkeiten entstanden. Es ist zu berücksichtigen, daß die Formation (Schubleichter an der Spitze) günstige war und die beiden Trägerschiffsleichter (Kombileichter) nur zu etwa 50 % abgeladen waren.

Ein Leichter war für einen Empfänger in Frankfurt-Osthafen bestimmt. Während ein Leichter nach Teilentladung in einem Schubverband seine Reise nach Straßburg fortsetzte, wurde der andere Leichter von einem Schubboot in Mainz übernommen und mainaufwärts nach Frankfurt bugsiert.

Aus einem Bericht über die Fahrt von Mainz nach Frankfurt-Osthafen (rd. 37 km, 3 Schleusen) ist zu entnehmen, daß wegen der Gefahr des Eintauchens der Vorderkante des Fahrzeugs keine höhere Geschwindigkeit als 4 km/h über Grund erreicht

werden konnte. Ohne Aufenthalt an den Schleusen benötigte der Verband für diese Strecke 9 Stunden.

Seit der ersten Fahrt März/April 1970 sind die Trägerschiffsleichter (Kombileichter) auf dem Rhein und seinen schiffbaren Nebenflüssen nun immer wieder beobachtet worden. Dabei wird in den meisten Fällen in der Formation: Schubboot, 3—4 Trägerschiffsleichter und als Bugeinheit ein konventioneller Schubleichter gefahren. Gelegentlich sieht man aber auch, daß einzelne Leichter — besonders in der Talfahrt — längsseits an ein Gütermotorschiff gekuppelt werden. Diese Formation kann dann selbstverständlich nur auf dem freien Rheinstrom oder auf der kanalisierten Rheinstrecke verkehren, wo es die Fahrwasserbreiten bzw. die Breite der Schleusenkammern gestatten.

Trägerschiffsleichter (Kombileichter) zum Transport gefährlicher Güter sind bisher nicht angetroffen worden. Diese müßten den Vorschriften über die Beförderung gefährlicher Güter auf dem Rhein (ADNR) vom 23. November 1971 entsprechen und als Fahrzeuge, die gefährliche Güter transportieren, gekennzeichnet sein.

3.2.2. Bemerkungen zu Bau und Ausrüstung, Betriebs- und Verkehrssicherheit

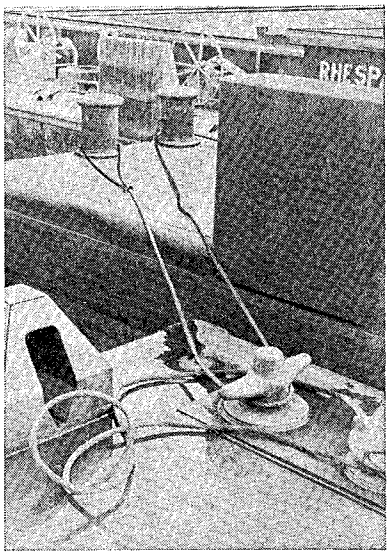


Abb. 9:
Klampe auf Trägerschiffsleichter (vorne)

Allgemein wurde von den Aufsichtsbehörden bemängelt, daß die auf den LASH-Leichtern vorhandenen Klampen zu geringe Durchmesser aufweisen und daher für das Belegen mit den Kupplungsdrähten der Schubboote bzw. der konventionellen Schubleichter ungeeignet sind.

Das Fehlen von Ankergeschirr und geeigneten Vorrichtungen zum Setzen von Signallichtern und sonstigen Schiffahrtzeichen erledigt sich durch das Verbot des Einstellens an die Spitze eines Schubverbandes. Nur können Trägerschiffsleichter (Kombileichter) nicht im freien Strom abgelegt werden, sondern sind hierzu immer auf Festmachevorrichtungen am Ufer angewiesen.

Ohne darauf einzugehen, ob die Trägerschiffsleichter (Kombileichter) den Bauvorschriften für Binnenschiffe, wie sie in der Rheinschiffs-Untersuchungsordnung festgelegt sind, entsprechen (z. B. Vorhandensein von Kollisionsschotten usw.), sei auf einige Forderungen hingewiesen die bei den Leichtern erfüllt werden müssen, um die während des Transports erforderlichen Arbeiten an Bord ohne Gefahr für Mann und Schiff durchführen zu können.

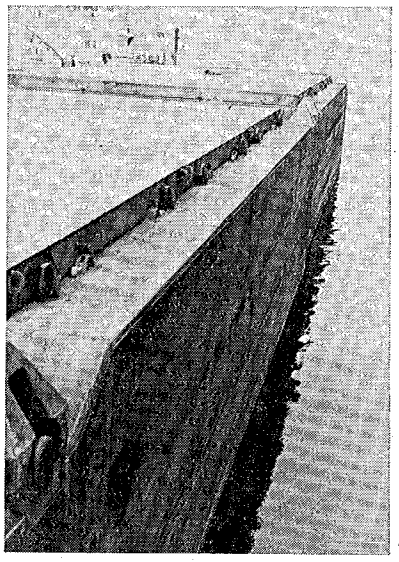


Abb. 10:
Gangbord eines
Trägerschiffsleichters

Nach den geltenden Unfallverhütungsvorschriften müssen an den Außenkanten der Decks zum Schutz gegen Ausgleiten und Abstürzen Leisten oder Winkel angebracht sein.

Die Außenkanten der Gangborde der LASH-Leichter, der einzigen bisher auf europäischen Wasserstraßen verkehrenden Trägerschiffsleichter (Kombileichter), sind abgerundet. Hiermit ist eine erhöhte Gefahr für das Personal gegeben. Ein Schutz gegen Abrutschen ist unbedingt vorzusehen. Ein Ersatz kann durch Anbringen eines Geländers mit 3 Durchzügen geschaffen werden, wenn der unterste Durchzug nicht höher als 10 cm über Deck angebracht wird. Dieses Geländer muß bei Zuwasserlassen des Leichters gesetzt und darf erst vor Anbordnahme in das Trägerschiff wieder entfernt werden.

Weiter wird vorgeschrieben, daß Schuten im Bereich der Gangborde ein Lukensüll von mindestens 400 mm Höhe haben müssen. Die LASH-Leichter haben ein solches Lukensüll nicht. Eine besondere Sicherung gegen Abstürzen in den Laderaum ist jedoch nicht erforderlich, wenn die Bordkante durch das oben beschriebene Geländer gesichert ist. Sollte dies nicht der Fall sein, so müßte am Lukenrand ein entsprechendes Geländer aufgestellt werden.

Die bisher im Verkehr befindlichen Trägerschiffsleichter (Kombileichter) sind mit glatten Decks versehen. Bei Neubauten ist darauf zu achten, daß diese Decks, Gangborde usw. aus Warzen- oder Raupenblech hergestellt werden. Die Decks der bereits im Verkehr befindlichen Leichter sind durch Aufbringen von Spachtelmasse oder durch Aufschweißen von Warzen rutschsicher zu machen. Die schrägen Absätze zwischen Gangbord und Deck sind durch Stufen aus Warzen- oder Raupenblech oder aufgeschweißte

Stege zu sichern. Nach den Unfallverhütungsvorschriften wird ferner gefordert, daß die Unterkanten der Lukensülle so ausgebildet sein müssen, daß Ladegeschirr oder Hieven sich nicht festhaken können. Bei Neubauten müßte diese Forderung durch entsprechende Konstruktion besser erfüllt werden als bisher.

3.2.3. Abladetiefen

Die Binnenschiffahrt auf freien Strömen ist hinsichtlich der Abladung der Schiffe von den Pegelständen abhängig.

Gegebenenfalls müssen Leichterungen von zu tief abgeladenen Trägerschiffsleichtern (Kombileichtern) vorgenommen werden. Dies kann sowohl im Seehafen als auch an Unterwegsstationen vorgenommen werden, was allerdings die Wirtschaftlichkeit dieses Verkehrs stark beeinträchtigen und auch zollrechtliche Schwierigkeiten auslösen würde.

3.3. Verkehrsabwicklung auf Kanälen und kanalisierten Flüssen

Der Trägerschiffsleichter (Kombileichter) erscheint auch in zunehmendem Maße in den Kanälen und kanalisierten Flüssen. Der Grund hierfür ist seine Eignung für die Haus-zu-Haus-Beförderung großer Gütermengen, die erst durch die Verteilerfunktion der Nebenwasserstraßen voll ausgenutzt werden kann. So verkehrten z. B. in der zweiten Hälfte des Jahres 1971 mehr als 30 LASH-Leichter mit Stahlblech zwischen dem Stadthafen Gelsenkirchen am Rhein-Herne-Kanal und den US-Häfen Houston und Vicksburg am Mississippi.

Verlader und Empfänger legen großen Wert auf die durch den Trägerschiffsleichter (Kombileichter) mögliche Vermeidung von Umladungen der Ware. Trägerschiffe werden daher Seehäfen bevorzugen, von denen aus jeder Zeit volle Abladetiefe garantierende Binnenwasserstraßen ins Landesinnere führen.

Für den Verkehr von Trägerschiffsleichtern (Kombileichtern) geeignet sind Kanäle und staugeregelte Flüsse, die für Schubverbände ausgebaut und zugelassen sind. Die Fahrt ohne Bugeinheit wird wegen der geringen Geschwindigkeit und der Angriffe auf das Gewässerbett auch auf Stillgewässern nur über kurze Entfernungen möglich sein. Von der Disposition her ist es jedoch schwierig, als Vorschiff für beladene Trägerschiffsleichter (Kombileichter) stets einen beladenen Normalleichter und umgekehrt einzusetzen. Eine mit einem entsprechenden Antrieb versehene Bugeinheit könnte demgegenüber auch den Verholdienst im Hafen- und Schleusenbereich übernehmen. Das wäre besonders dort vorteilhaft, wo längere Verbände wegen zu kurzer Schleusen oder Hebewerke aufgeteilt werden müssen (s. auch Abschnitt 2.3.).

Grundsätzlich werden die Höchst-Abmessungen der Schubverbände aus Trägerschiffsleichtern (Kombileichtern) den zulässigen Abmessungen konventioneller Schubverbände entsprechen müssen. Die Verbandslänge richtet sich nicht nur nach der Schleusenlänge, sondern auch nach den Kurvenverhältnissen. Für die 9,50 m breiten Leichter vom Typ LASH genügen 10 m breite Schleusenkammern, während für den 10,67 m breiten Typ SEABEE die bei neueren Schleusen übliche Kammerbreite von 12 m geeignet ist. Die in der BRD für Wasserstraßen der Klasse IV empfohlene Drempeltiefe von 4 m genügt auch bei voller Abladung. Die vorhandenen Drempeltiefen sind jedoch teilweise geringer.

Wie weit das Gewässerbett eine Vollabladung der Trägerschiffsleichter (Kombileichter) ermöglicht, muß von Fall zu Fall überprüft werden. So können z. B. die bei dem Typ LASH über den Boden rd. 180 mm nach unten herausragenden Stützpfosten der Kanal- oder Flußsohle im allgemeinen keinen unmittelbaren Schaden zufügen, während sie geneigte Uferböschungen durchaus beschädigen können. Eine besondere Gefahr besteht

für gedichtete Kanalstrecken im Bereich der Uferböschungen, so daß eine Verbesserung dieser Konstruktionsdetails dringend erwünscht ist (vgl. Abschnitt 2).

3.4. Verkehrsabwicklung in Binnenhäfen

3.4.1. Transport der Trägerschiffsleichter in und aus dem Hafen

Die festgelegten An- und Abfahrtszeiten der im Liniendienst zwischen amerikanischen und europäischen Seehäfen eingesetzten Trägerschiffe für Trägerschiffsleichter (Kombileichter) wirken sich auch auf die Ankunfts- bzw. Abfahrtszeiten der Leichter in den Binnenhäfen aus, so daß auch hier — mehr als bei anderen Schiffen — ein gewisser Fahrplan entsteht, zumindest versucht wird.

Ist es nicht möglich, mit dem geschlossenen Verband in den Hafen einzufahren, so muß er in der Nähe auf einem Liegeplatz der Wasserstraße verankert werden. Die für den Hafen bestimmten Leichter können abgekoppelt und in einer geeigneten kleineren Formation von einem Strecken- oder Hafenschubboot zur Umschlaganlage oder zum Liegeplatz gebracht werden. Von den Raum- und Verkehrsverhältnissen des Hafens hängt es ab, welche Abmessungen der aus Leichtern zusammengestellte Schubverband haben kann. Grundsätzlich sollten jedoch die für den Schubverkehr erlassenen Bestimmungen auch auf den Trägerschiffsleichter-(Kombileichter-)Verkehr angewendet werden. Für die Ausfahrt gelten die gleichen Regelungen, nur in umgekehrter Reihenfolge.

Beim bisher ausschließlich beobachteten Verkehr mit Trägerschiffsleichtern (Kombileichtern) vom Typ LASH gab es in den Binnenhäfen anfangs ähnliche Probleme wie schon zu Beginn der Schubschiffahrt; sie waren und sind infolge der mangelnden Ausrüstung dieser Fahrzeuge eher noch größer. Spezielle Vorschriften über die Handhabung der Leichter in den Häfen bestehen nicht. Die Hafenbeörde kann, wenn von den für den Schubverkehr geltenden Vorschriften abweichende Regelungen erforderlich sind, besondere Anordnungen erlassen.

3.4.2. Anforderungen an den Hafen

In den von Trägerschiffsleichtern (Kombileichtern) angelaufenen Binnenhäfen müssen für ihren Transport und den Umschlag erforderliche Einrichtungen und technische Ausrüstungen vorhanden sein, insbesondere soll — was allgemein für einen Binnenhafen zu empfehlen ist — die jeweilige Wassertiefe mindestens so groß sein, wie auf der angeschlossenen Wasserstraße. Die Trägerschiffsleichter (Kombileichter) erfordern in ihrer Behandlung und Abfertigung mehr Sorgfalt als andere Schiffe. Diese Voraussetzungen sind im allgemeinen dort, wo bereits Schubschiffahrt betrieben wird, gegeben.

Beim Trägerschiffsleichter-(Kombileichter-)Verkehr besteht das Problem des gleichmäßigen Ladungsaufkommens, der Partiengröße und der ausreichenden Rückladung. Vor allem für die Rückladung ist schwer abzusehen, mit welcher Menge in einem Hafen zu rechnen ist; denn diese Leichter sind in erster Linie für ein „Halbmassengut" geeignet; es besteht die Schwierigkeit darin, dieses Gut in die Binnenhäfen als Rückfracht heranzuziehen, zumal derartige Güter in der Bundesrepublik Deutschland als Exportartikel nach den Vereinigten Staaten wenig anfallen. Aus diesem Grund wird der Versuch unternommen, in verschiedenen Hafenplätzen dem Trägerschiffsleichter-(Kombileichter-)Verkehr auch Sammelstückgüter zu erschließen.

3.4.3. Koppel- und Liegeplatz

Die unbemannten Trägerschiffsleichter ((Kombileichter) liegen an Uferanlagen, gleich welcher Bauart, nicht so gut und ordnungsgemäß wie konventionelle Schubleichter oder gar bemannte Schiffe. Sie lassen sich wegen ihrer Abmessungen nicht gut über einen

längeren Zeitraum zwischen anderen Schiffen an den Umschlagplätzen unterbringen. Da die Aufenthaltszeita der Leichter im Hafen von der Abfahrt des Seeschiffes und vom Warten auf Rückladung abhängt, was deshalb u. U. sehr lange dauern kann, ist es besonders dann zweckmäßig, einen geeigneten Koppel- und Liegeplatz für diese Spezialfahrzeuge einzurichten, wenn gleichzeitig mit einer größeren Anzahl von Leichtern gerechnet werden muß.

Es empfiehlt sich, einen Liegeplatz mit senkrechtem Ufer auszuwählen, damit ein sicheres Liegen dieser unbemannten Fahrzeuge ohne größeren Wartungsaufwand gewährleistet ist. Geböschte Ufer sind nicht geeignet, und an Dalben lassen sich diese Leichter wegen ihrer geringen Länge nicht ordnungsgemäß festmachen, selbst wenn mehrere hintereinander gekoppelt sind, es sei denn, es werden wie z. B. im Hafen Rotterdam besondere Schwimmstege ausgelegt. Steht ein geeigneter Platz nicht zur Verfügung oder ist nur mit einem geringen Verkehr dieser Fahrzeuge zu rechnen, können sie auch auf den evtl. vorhandenen Liegeplätzen für konventionelle Schubleichter untergebracht werden. Notfalls lassen sich diese Leichter auch neben Schubleichter oder andere Fahrzeuge legen und dort festmachen.

Bei nennenswertem Trägerschiffsleichter-(Kombileichter-)Verkehr ist auf die Dauer somit ein besonderer Koppel- und Liegeplatz an einem gut und weitmöglichst senkrecht ausgebauten Ufer nicht zu umgehen, damit die Leichter störungsfrei abseits der anderen Schiffahrt liegen. Dieser Platz sollte außerdem in ruhigem Wasser, also nicht im Strom oder durchströmten Hafenteil angeordnet werden.

3.4.4. Betreuung und Bewachung der Trägerschiffsleichter (Kombileichter) im Hafen

Ähnlich wie schon bei den unbemannten konventionellen Schubleichtern stellt sich auch bei den Trägerschiffsleichtern (Kombileichtern) die Frage, wer für sie im Hafen verantwortlich ist, sie zu betreuen und zu bewachen hat. Solange sich der Leichter in einem Schubverband befindet, erstreckt sich die Verantwortung des Schubschiffsführers auch auf den Leichter. Dessen Verantwortlichkeit endet in der Regel mit dem Ablegen des Leichters an der Umschlagstelle oder dem vorgesehenen Liegeplatz.

Während bei anderen Fahrzeugen der Frachtführer oder Eigentümer auch während der Liegezeit an der Umschlagstelle für sein Fahrzeug verantwortlich bleibt, wird bei Trägerschiffsleichtern (Kombileichtern) zum erstenmal von diesem schiffahrtsüblichen Grundsatz abgewichen. Zwischen der für die BRD zuständigen Vertretung des Eigentümers dieser Leichter und den Umschlagfirmen werden Verwahrungsverträge abgeschlossen, die letztere verpflichten, die Leichter nach dem ordnungsgemäßen Ablegen durch die Schubbootbesatzung während der Aufenthaltszeit am Umschlagplatz zu betreuen und zu bewachen. Dazu gehört: fachgerechtes Verholen mit Losmachen und Wiederfestmachen, ferner Beleuchten, Laden, Löschen und schließlich Bereitstellen für das Abholen. Der Umschlagbetrieb hat deshalb nicht nur fachkundiges Personal bereitzuhalten, sondern auch das notwendige Gerät wie Leinen, Leuchten und dergleichen zur Verfügung zu stellen.

Die Betreuung und Bewachung der LASH-Leichter während der übrigen Aufenthaltszeit im Hafen ist, abweichend von den auf Verschuldungsprinzip beruhenden Verantwortlichkeiten, ebenfalls dergestalt geregelt, daß jeweils für den Einzelfall mit einem Reedereibetrieb ein Verwahrungsvertrag abgeschlossen wird. Im übrigen sind die allgemeinen Grundsätze der Sorgfaltspflicht anzuwenden.

Allgemein gesagt sind die Leichter so zu bewachen und zu betreuen, daß sie keine Gefahr für die Sicherheit und Leichtigkeit des übrigen Schiffsverkehrs bilden. Die Obhuts-

pflichtigen haben der Hafenbehörde eine ortsansässige, für die Leichter verantwortliche Person namhaft zu machen, die in der Lage ist, den Anweisungen der Hafenbehörde hinlichtlich des Verholens, der Befestigung und anderer Sicherheitsmaßnahmen unverzüglich Folge zu leisten.

Die notwendigen Gerätschaften sind von den Obhutspflichtigen jederzeit greifbar unterzubringen. Im allgemeinen geschieht dieses, außer auf den Bugsier-Schubbooten der Reederei bei den Umschlagbetrieben, an denen LASH-Leichter vorgelegt werden.

3.4.5. Transport im Hafen zur und von der Umschlagstelle

Trägerschiffsleichter (Kombileichter) sind wegen ihrer Kastenform und der geringen Länge selbst dann nicht genügend kursstabil, wenn sie auf Kreuzdraht verschleppt werden. Diese Leichter sollten deshalb auch in Häfen nur mit Schubbooten bewegt werden. Hierfür eignen sich am besten spezielle Hafenschubboote. Nur in Notfällen sollte von der durch die Unfallverhütungsvorschriften zugelassenen Möglichkeit Gebrauch gemacht werden, einen Leichter längsseits eines Schleppers oder besser eines Motorschiffs gekoppelt zu verholen. In den Häfen ist auch die für Ortsveränderungen auf kurzen Strecken zugelassene Schubverbandform mit den jeweils vorgeschriebenen Ausmaßen nicht zu überschreiten.

Schließlich ist es empfehlenswert, daß der Bugsierdienst dieser Spezialfahrzeuge und damit auch ihre Wartung und Betreuung von nur einem Schubbugsierunternehmen ausgeführt wird, sofern das Verholen wegen geringen Verkehrs nicht von der Streckenschubboot-Reederei mit erledigt wird.

3.4.6. Anforderungen an die Umschlagstelle

Schiffsform, Ausrüstung und fehlende Bemannung gestatten also nur bei erhöhter Aufmerksamkeit und an besonders günstigen Stellen, die Trägerschiffsleichter (Kombileichter) in durchströmten Uferbereichen anzulegen. Deshalb ist ihre Verwendung und der Umschlag in Parallelhäfen an Flüssen, ferner in der Nähe durchgehender Schiffahrt nicht zu empfehlen. Sie bedingen im allgemeinen einen Umschlag in Hafenbecken mit ruhigem Wasser. Außerdem ist an der Umschlagstelle ein guter Uferausbau, möglichst senkrechtes Ufer im Bereich der Wasserspiegelschwankungen, erforderlich.

3.4.7. Liegen der Trägerschiffsleichter (Kombileichter) an der Umschlagstelle

Die Trägerschiffsleichter (Kombileichter) erhalten schon bei ihrer Ankunft einen fest angewiesenen Liegeplatz unmittelbar an der vorgesehenen Umschlagstelle, damit sich ein Verholen zum oder während des Umschlags erübrigt.

Sie sollen nach Möglichkeit nur für die Dauer des Umschlags am Umschlagplatz liegen, da sie den übrigen Schiffs- und Umschlagverkehr behindern. Die betrieblichen Schwierigkeiten mit diesen kleinen unbemannten Fahrzeugen sind um so geringer, je größere Uferlänge und Anzahl von Kranen der Umschlagbetrieb hat. Im übrigen ist festzustellen, daß sich die Umschlagbetriebe durch die konventionellen Schubleichter, die wegen ihrer Größe zumindest gleiche Schwierigkeiten für den Umschlagbetrieb bringen, an die unbemannten Fahrzeuge gewöhnt haben. Hinzu kommt, daß für die Trägerschiffsleichter (Kombileichter) die Obhutspflicht anders und wohl auch sicherer geregelt ist. Trotzdem ist es unbedingt wichtig, daß die Leichter rechtzeitig und unmittelbar nach ihrer ladungsmäßigen Abfertigung am Umschlagplatz abgeholt werden. Hierzu wird die zuständige Bugsierreederei umgehend verständigt und aufgefordert.

3.4.8. Umschlag

Die Trägerschiffsleichter (Kombileichter) werden bisher im allgemeinen für jeweils ein Ladungsgut verwendet, so daß ihre Abfertigung gut vorbereitet und schnell durchgeführt werden kann. Bei der Beladung ist auf eine seemäßige Verstauung der Güter zu achten. Für den Umschlagbetrieb sind Unfallverhütungsvorschriften erlassen. U. a. sind hiernach wegen der nicht ausreichenden Ausrüstung dieser Fahrzeuge bereitzuhalten: Rettungsringe, Rettungskragen, Bootshaken, Landstege, Raumleitern. Letztere, weil in den Leichtern des bekannten Typs LASH keine Leitern für den Ein- und Ausstieg des Umschlagpersonals vorhanden sind.

3.4.9. Einsatz von Trägerschiffsleichtern (Kombileichtern) des Typs SEABEE

In nächster Zeit ist auch auf hiesigen Wasserstraßen der größere Typ SEABEE zu erwarten. In ihrer Konstruktion weichen diese Fahrzeuge von den LASH-Leichtern ab, und zwar vor allem dahingehend, daß sie Wallgänge haben, d. h. eine Doppelwand; damit ist ihre Sinksicherheit bei etwaigen Havarien größer. Im übrigen haben sie eben wie die LASH-Leichter keinerlei Ausrüstung, sind genauso eckig und dementsprechend auch wie LASH-Leichter zu behandeln. Für ihren Betrieb wird vorgesehen, daß sie auf der Strecke ebenfalls nur von einer Reederei bedient werden und in Häfen, soweit die Voraussetzungen gegeben sind, wiederum eine Schubbugsier-Reederei das Verholen durchführt. Ihre Einsatzdispositionen werden ebenfalls nur von einem Unternehmen getroffen, das Verträge mit den betreffenden Reedereien hat.

Wegen ihrer größeren Form werden sich die Trägerschiffsleichter (Kombileichter) des Typs SEABEE im Umschlagbetrieb besser handhaben lassen als die Lash-Leichter, zumal auch bei ihnen mit jeweils einheitlicher Ladung zu rechnen ist. Der Lade- und Löschbetrieb ist auch einfacher, weil unter den Gangborden kein Ladungsspielraum ist. Dieser ist somit glattwandig. Außerdem befindet sich z. T. die Ladung in containerähnlichen aber leichteren Verschlägen, die in die SEABEEs ein- oder ausgeladen werden und deren Einzelgewicht 25 t nicht überschreitet. Diese Verpackungsart erfordert jedoch, daß am Umschlagplatz ein Container-Ladegeschirr bereitgehalten wird.

4. Schlußbetrachtung

Aus den mitgeteilten Fakten und Schlußfolgerungen geht hervor, daß der Transport von Trägerschiffsleichtern (Kombileichtern) auf Binnenwasserstraßen und insbesondere auf strömenden Gewässern mit hoher Verkehrsdichte gegenüber der konventionellen Schubschiffahrt mit Typleichtern weitergehende und teilweise neuartige Fragen aufwirft. Sie betreffen sowohl die Wirtschaftlichkeit als auch die Sicherheit des Verkehrs. Es erscheint jedoch durchaus möglich, die Probleme durch Maßnahmen im Bereich des Schiffbaues und der Schiffs-Betriebstechnik so zu lösen, daß eine geordnete Verkehrsabwicklung mit Trägerschiffsleichter-(Kombileichter-)Schubverbänden gewährleistet wird.

Abteilung II — Seeschiffahrt

Thema 1

Technische und wirtschaftliche Gesichtspunkte der festen oder schwimmenden Bauwerke auf offener See und im tiefen Wasser:

- **Schutzbauten gegen das Meer**
- **Anlagen für das Löschen und Lagern der Güter**
- **Anlagen für die Suche und Ausnutzung der Bodenschätze**
- **Anlagen für Seezeichen**

von

Dr.-Ing. Hans Dahme, Ltd.Regierungsbaudirektor, Wasser- und Schiffahrtsdirektion Kiel; Dipl.-Ing. Wolfgang Gerlach, Oberregierungsbaurat, Wasser- und Schiffahrtsamt Kiel; Dipl.-Ing. Hans Nagel, Regierungsbaudirektor, Wasser- und Schiffahrtsdirektion Hamburg; Dr.-Ing. E. h. Dr.-Ing. Wolfram Schenck, Direktor der Philipp Holzmann AG., Hamburg; Dipl.-Ing. Jürgen Zander, Regierungsbaudirektor, Wasser- und Schiffahrtsdirektion Bremen.

Zusammenfassung

Der Bericht beschränkt sich auf die Errichtung von Leuchttürmen in der offenen See und fußt auf den vor der deutschen Küste gewonnenen praktischen Erfahrungen.

Nach einer Schilderung der besonderen Verhältnisse der deutschen Küste werden zunächst ausgeführte Bauwerke in der Wesermündung und in der Ostsee gebracht. Vor der Weser sind dies besonders die Leuchttürme „Alte Weser" und „Tegeler Plate", die unter sehr unterschiedlichen örtlichen Verhältnissen errichtet wurden, und zwar „Alte Weser" im tiefen Wasser mit Brunnengründung, „Tegeler Plate" im flachen, brandungsgefährdeten Wasser durch Einspülung als vollständiges Fertigteil. In der Ostsee werden die Leuchttürme „Kalkgrund" vor der Flensburger Förde sowie „Kiel" und „Friedrichsort" in der Kieler Förde behandelt, von denen die beiden ersten je ein Feuerschiff ersetzt haben. Die Wassertiefen sind hier nicht grundsätzlich verschieden, doch bedingen die unterschiedlichen Bodenverhältnisse jeweils ein anderes Gründungsverfahren: Pfahlgründung für „Kalkgrund", Schwimmkastengründung für „Kiel" und künstliche Sandinsel für „Friedrichsort". Konstruktion und Bauvorgang werden einzeln beschrieben.

Sodann befaßt sich der Bericht mit zwei geplanten Leuchttürmen in der Elbemündung, die ebenfalls zwei Feuerschiffe ersetzen sollen. Bei annähernd gleichen Gründungsvoraussetzungen wird ein vorliegender Entwurf mit Brunnengründung erläutert.

Ein weiterer Abschnitt enthält allgemeine technische und wirtschaftliche Betrachtungen zu dem Problem und beschreibt weitere mögliche Konstruktionen sowie Gründungs- und Bauverfahren.

Schließlich werden die an der deutschen Küste gesammelten Erfahrungen zusammengefaßt: Seegang, Wind, Strömung, Eisdruck, Schiffsstöße, Korrosion und Sandschliff sind die wesentlichen äußeren Einwirkungen, die beachtet werden müssen. Eisdruck wird mit 50—100 Mp/m² angesetzt, die Angriffsflächen sind daher möglichst klein zu halten.

Kolke können durch den Baukörper oder das Bauverfahren entstehen; ihnen ist durch runde Form der Einbauten und entsprechende Sohlenbefestigung zu begegnen.

Gerüste sind nicht zu vermeiden, sie müssen schwer und hochliegend sein sowie Baugeräte und Unterkünfte aufnehmen können. Hubinseln haben sich bewährt, sind aber teuer und nur für große Objekte vertretbar.

Ein oder mehrere Fertigteile aus Stahl können beträchtliche wirtschaftliche Vorteile bieten, setzen aber entsprechende Kräne und ruhige Wetterlage voraus. Aufteilung in mehrere Fertigteile, die verschraubt werden, ermöglicht spätere Korrektur von Position und Stellung.

Für Transport, Absetzen, Absenken und Montage großer Stahlbetonfertigteile sind in Deutschland vier Verfahren erprobt; ihre Wahl hängt von den örtlichen Verhältnissen und dem Bauwerk selbst ab.

Genauigkeit von Position und Stellung des Bauwerkes werden zwar vorwiegend von den seezeichentechnischen Forderungen bestimmt, zu kleine Toleranzen führen jedoch zu erheblichen Kostensteigerungen. Die Forderungen sollten daher nicht zu hoch geschraubt werden.

Inhalt

Seite

1. Veranlassung zu Leuchtturmbauten in offener See 172

2. Ausgeführte Bauwerke 172

2.1 Leuchttürme in der Wesermündung 172

2.1.1 Entwurfsgrundlagen 172

2.1.2 Konstruktion und Baudurchführung 174

2.1.2.1 Leuchtturm „Alte Weser" 175

2.1.2.2 Leuchtturm „Tegeler Plate" 176

2.1.2.3 Weitere Leuchttürme 177

2.2 Leuchttürme in der Ostsee 177

2.2.1 Entwurfsgrundlagen 177

2.2.2 Konstruktion und Baudurchführung 180

2.2.2.1 Leuchtturm „Kalkgrund" 180

2.2.2.2 Leuchtturm „Kiel" 182

2.2.2.3 Leuchtturm „Friedrichsort" 185

3. Geplante Leuchttürme in der Elbemündung 187

3.1 Entwurfsgrundlagen 187

3.2 Stand der Entwurfsarbeiten 188

4. Technik und Wirtschaftlichkeit 190

4.1 Allgemeine Betrachtungen 190

4.2 Brunnengründung 192

4.3 Pfahlgründung 193

5. Erfahrungen und Folgerungen 193

1. Veranlassung zu Leuchtturmbauten in offener See

Die deutsche Küste bietet der Schiffahrt von und zu den deutschen Häfen besondere Gefahren, die in der Gestaltung der Küstenlinie und des Küstenvorfeldes ihre Ursachen haben.

Die der Tide unterworfene deutsche Nordseeküste ist gekennzeichnet durch tiefeingeschnittene, trichterförmige Flußmündungen sowie umfangreiche Sände, die der Küste bis zu 30 sm Breite vorgelagert und langfristigen Veränderungen unterworfen sind. Anhand von Vergleichen der 100 Jahre und mehr zurückreichenden Seekarten lassen sich dabei vielfach gesetzmäßig verlaufende, periodische Veränderungen innerhalb einiger Jahzehnte nachweisen. Innerhalb der Sände verlaufen lange, schmale und gewundene Fahrwasser, die neben Tiefen über 20 m auch Stellen geringer Tiefe vor den Flußmündungen und in Bereichen geringer Tideströmung aufweisen.

Die tidefreie Ostsee war während der Eiszeit ganz mit Eis überdeckt, füllte sich bei dessen Rückzug mit Schmelzwasser, wurde durch eine Landhebung zum Binnenmeer und erhielt bei einer nachfolgenden Erhöhung des Wasserspiegels durch die Belte und den Öresund ihre Verbindung zur Nordsee. Die Eiszeit bescherte der deutschen Ostseeküste zwar hervorragende Naturhäfen; die in die Moränenlandschaft eingebetteten und tief ins Land eingeschnittenen Förden erschwerten aber die Zufahrt zu den aus Sicherheitsgründen und wegen der kürzeren Landverbindungen am inneren Ende der Förden angelegten Häfen. Nachweislich sind daher schon seit dem 14. Jahrhundert mit der Blüte der Hansezeit zahlreiche Seezeichen vor der deutschen Küste als schwimmende Fahrwassertonnen oder feste Leuchttürme errichtet und betrieben worden, die der Schiffahrt als sicherer Wegweiser durch das Küstenvorfeld zu den Häfen dienen sollten.

Die Entwicklung der Schiffahrt in den letzten Jahrzenten, die Zunahme der Schiffsgrößen und das aus Gründen der Wirtschaftlichkeit bedingte Bedürfnis nach einer gefahrlosen Benutzbarkeit der Seeschiffahrtstraßen auch bei unsichtigem Wetter zwingt die Bundes-Wasser- und Schiffahrtsverwaltung zu einer durchgreifenden Verbesserung des Befeuerungssystems vor den deutschen Küsten unter Ausnutzung der heutigen wasserbau- und seezeichentechnischen Erkenntnisse. Im Zuge der in diesem Zusammenhang ergriffenen Maßmahmen sind u. a. 9 Leuchttürme in der offenen See errichtet worden; weitere Türme sind in der Planung bzw. Bauvorbereitung. Sie sind Eckpfeiler des im Aufbau befindlichen automatisierten und ferngesteuerten Seezeichensystems der deutschen Küste. Über technische und wirtschaftliche Gesichtspunkte, die Standort, Konstruktion und Durchführung dieser Bauwerke bestimmen, soll nachfolgend berichtet werden, wobei auch ein Blick auf die Zukunft geworfen wird und Folgerungen aus den deutschen Erfahrungen gezogen werden.

2. Ausgeführte Bauwerke

2.1 Leuchttürme in der Wesermündung

2.1.1 Entwurfsgrundlagen

An der Außenweser wurden 1961 bis 1964 der Leuchtturm „Alte Weser" und 1964 bis 1965 der Leuchtturm „Tegeler Plate" errichtet. Beide stehen rd. 50 bzw. 40 km vom nächstgelegenen Hafen Bremerhaven entfernt und sind dem Seegang, der in die nach Nordwesten offene Wesermündung ungehindert einläuft, in vollem Umfang ausgesetzt (Abb. 1). Vier kleinere Türme folgten weseraufwärts in geschützterer Lage.

In der Außenweser verlagern sich umfangreiche Sände im Laufe von einigen Jahrzehnten periodisch. Kartenvergleiche zeigen, daß stets zwei durch einen Mittelgrund

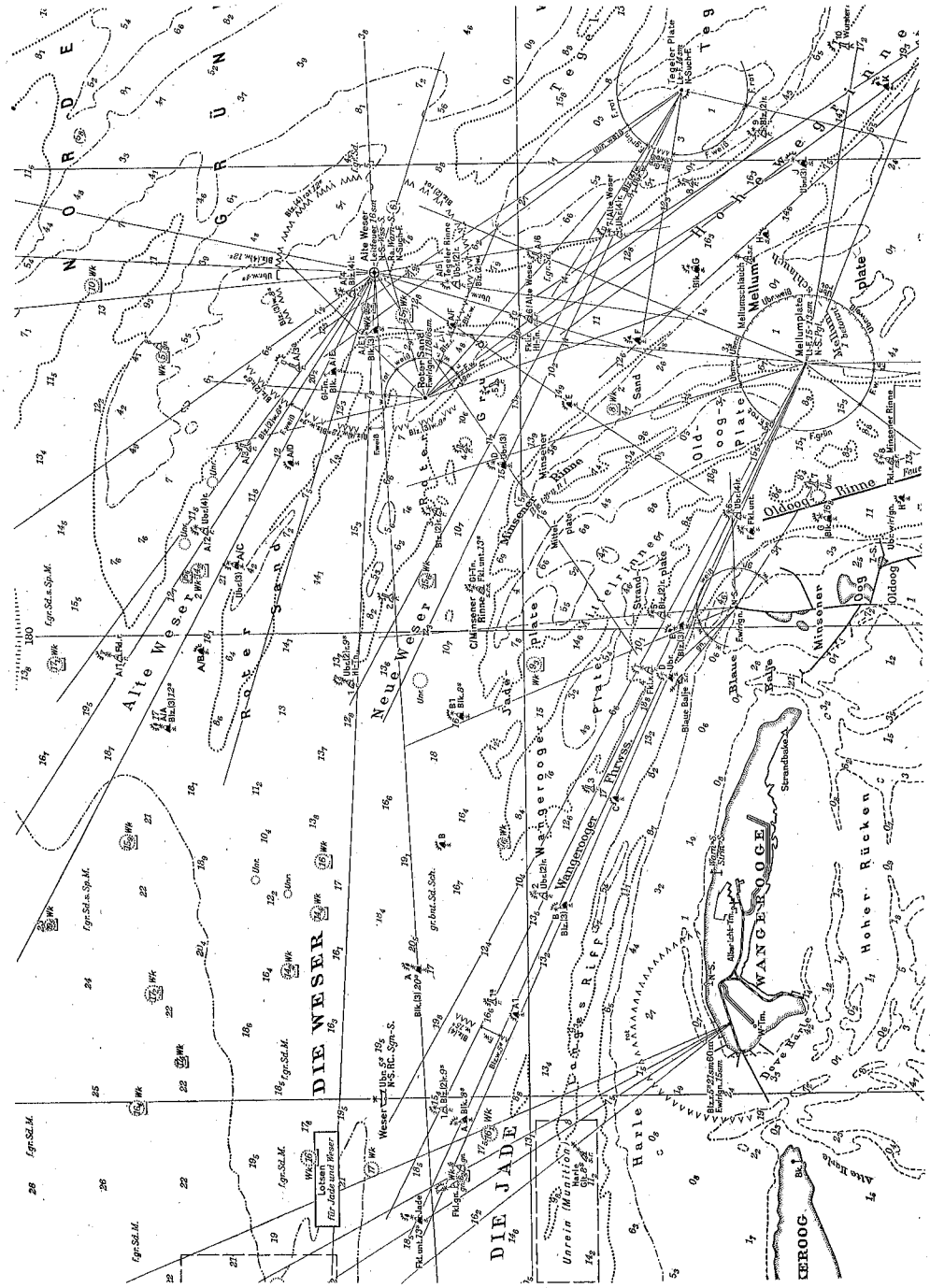


Abb. 1: Seekartenausschnitt Außenweser

getrennte Stromrinnen, die Alte Weser und die Neue Weser, der Schiffahrt zur Verfügung stehen. Die mittlere Wassertiefe bei MTnw beträgt beim Leuchtturm „Alte Weser" 10 m, beim Leuchtturm „Tegeler Plate" 2 m bei einem mittleren Tidehub von 2,70 m. Wegen der laufenden Umbildung der Stromrinnen waren erhebliche Tiefenänderungen zu berücksichtigen. Der Baugrund ist tragfähig und besteht überwiegend aus Mittel- bis Feinsanden. Als angreifende Kräfte wurden Winddruck mit 250 kp je m², maximale Wellenhöhen von 7,5 m und Eisdruck mit 50 Mp/m Turmdurchmesser sowie zusätzlich für den Leuchtturm „Alte Weser" Schiffsstoß von 830 Mp angesetzt.

Dieser schwierige Fahrwasserbereich war bisher durch den auf dem Mittelgrund stehenden Leuchtturm „Roter Sand", das an der Vereinigung der Stromrinnen ausliegende Feuerschiff „Bremen" und zahlreiche Leuchttonnen bezeichnet. Eine eingehende Prüfung des Leuchtturmes „Roter Sand" hatte ergeben, daß die Standsicherheit dieses Bauwerks wegen zerstörender Korrosion des Stahlmantels gefährdet war. Eine Sicherung des rd. 80 Jahre alten Turmes war wirtschaftlich nicht vertretbar. So fiel die Entscheidung für zwei Neubauten, die zusätzlich das in zwei Schichten mit insgesamt 20 Mann besetzte Feuerschiff „Bremen" ersetzen konnten und damit erhebliche Betriebs- und Unterhaltungskosten einsparten.

Die Überlegungen über die günstigsten Standorte gingen von der Forderung aus, beide Schiffahrtsrinnen möglichst jederzeit durch Leit- und Warnsektoren bezeichnen zu können. Aufgrund eingehender Untersuchungen wurde eine Position am Rande der Alten Weser sowie eine zweite auf einer Sandbank rd. 8 km weiter südöstlich, der „Tegeler Plate" ausgewählt (Abb. 1).

Die vielseitigen Aufgaben der beiden Leuchtfeuer erforderten eine umfangreiche seezeichentechnische Ausrüstung. Dabei war zu berücksichtigen, daß der Leuchtturm „Tegeler Plate" von vornherein und „Alte Weser" zu einem späteren Zeitpunkt unbemannt betrieben werden sollten.

Die Aufgaben des Leuchtturmes „Alte Weser" erforderten:

Leuchtfeuer in rd. 33 m Höhe über MThw mit einer Tragweite von 28 sm

Luftnebelschallsender

Radaranlage mit Fernübertragung der Radarinformation nach Bremerhaven

UKW-Sprechfunkanlagen

Schreibpegel und weitere Geräte zur Messung meteorologischer und meereskundlicher Daten

Energieversorgung durch Hochspannungsseekabel über rd. 35 km Entfernung und zwei Notstromaggregate von je 60 KVA

Anlagen zur Fernsteuerung der Seezeichengeräte und Fernübertragung von Meßwerten

Unterkunftsräume für je 4 Mann Besatzung in zwei Schichten sowie zeitweise Handwerker oder Personal für wissenschaftliche Beobachtungen

Auf dem Leuchtturm „Tegeler Plate" befinden sich nur ein Leuchtfeuer in rd. 21 m Höhe über MThw mit 18 sm Tragweite und Anlagen zur Fernsteuerung. Die Energieversorgung erfolgt über das gleiche Hochspannungsseekabel wie beim Leuchtturm „Alte Weser". Für die Notstromversorgung ist ein 15 KVA-Aggregat eingebaut.

2.1.2 Konstruktion und Baudurchführung

Die ungeschützte Lage der Baustellen erforderte Konstruktionen und Bauverfahren, die es erlaubten, die Arbeiten auf See weitgehend einzuschränken und einen möglichst

großen Teil der Fertigung an Land durchzuführen; für unvermeidbare Bauvorgänge vor Ort mußten feste Arbeitsplattformen geschaffen werden. Diesen Bedingungen trugen zwei bei den Ausschreibungen eingereichte Sonderentwürfe am besten Rechnung.

2.1.2.1 Leuchtturm „Alte Weser"

Der Leuchtturm „Alte Weser" (Abb. 2) hat einen sehr schlanken Turmschaft mit einem Durchmesser von nur 6,50 m im Bereich der Wasserwechselzone; der in die Sohle einbindende Fuß verbreitert sich auf 15,00 m. Sämtliche betrieblichen Anlagen und Wohnräume sind in mehreren Geschossen übereinander in dem weit ausladenden Turmkopf untergebracht (Abb. 3). Diese Form bietet Seegang und Eis nur eine kleine Angriffsfläche. Wegen der Korrosionsgefahr wurde Stahl für tragende Konstruktionsteile nur dort verwendet, wo eine laufende Erneuerung des Korrosionsschutzes gewährleistet war. Daher besteht der Turmschaft von der Sohle bis zur Oberkante des konischen Teils aus wasserdichtem, seewasserbeständigem Stahlbeton; die äußere Stahlhaut dient lediglich als Schalung und ist statisch nicht berücksichtigt. Sie ergab sich auch aus dem gewählten Bauvorgang, da der Turm mit den erforderlichen Aussteifungen in 3 Teilen in einem Trockendock hergestellt wurde. Turmfuß und -schaft wurden auf einer Hubinsel über rd. 70 sm nach Cuxhaven und von dort rd. 35 sm über See zur Baustelle geschleppt. Nach Hochjacken der Plattform wurde der Turmschaft als offener Brunnen mittels zahlreicher an der Innenkante der Brunnenschneide angebrachter Spüldüsen auf 10 m unter Meeressohle abgesenkt, der gelöste Boden mit einer Unterwasserpumpe ausgeworfen und eine rd. 5 m starke Sohle als Unterwasserbeton eingebracht. Nunmehr konnten der abgedichtete Stahlmantel leergepumpt und der Stahlbeton im Trockenen eingebracht werden, wobei gleichzeitig Treppen, Pegelschaft, Wasser- und Treibstoffbehälter eingebaut wurden.

Im 2. Bauabschnitt wurde der inzwischen mit allen Einbauten fertiggestellte Turmkopf auf der Hubinsel zur Seebaustelle transportiert. Die Hubinsel wurde dort so abgesetzt, daß ein U-förmiger Ausschnitt der Hubinsel den Turmschaft umfaßte. So war es mög-

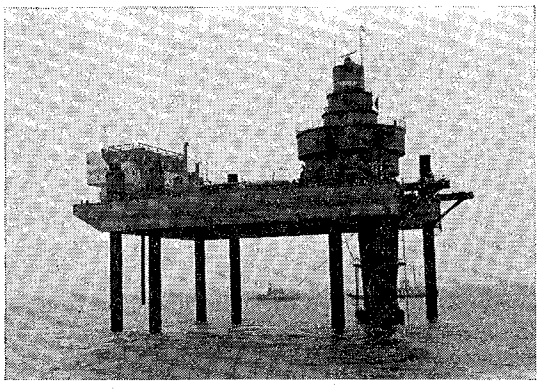


Abb. 2: Leuchtturm „Alte Weser" (Bauzustand)

lich, nach Hochjacken den Turmkopf auf Traversen seitwärts über den Turmschaft zu schieben, auf diesem abzusenken und mit ihm zu verschweißen. Damit war die Aufgabe der Hubinsel auf der Seebaustelle als Abstützung des entstehenden Bauwerks, Standort für die Baustelleneinrichtung, Lagerplatz für die benötigten Baustoffe und als Unterkunft für das gesamte Baustellenpersonal beendet. Die restlichen Ausbauarbeiten umfaßten

das Einführen des Stromversorgungskabels, Anstricharbeiten und Montage der seezeichentechnischen Anlagen sowie die Vervollständigung der Sohlensicherung, die z. T. schon vor Absenken des Turmes aufgebracht worden war, durch Senkstücke und Schüttsteine.

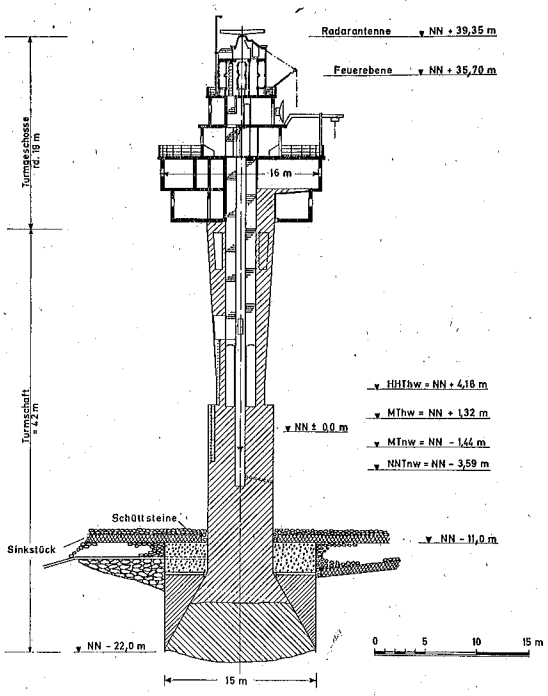


Abb. 3: Querschnitt „Alte Weser"

2.1.2.2 Leuchtturm „Tegeler Plate"

Für die grundsätzlich andere Gestaltung des Leuchtturmes „Tegeler Plate" war maßgebend, daß auf der flachen Tegeler Plate wegen starker Brandung eine regelmäßige Versorgung dieser Baustelle mit Schiffen nicht sichergestellt war. Es mußte daher die Bauzeit auf See auf die denkbar kürzeste Zeitspanne eingeschränkt werden. Dieses Ziel wurde erreicht durch Fertigung des gesamten Turmes aus Stahl an Land. Der Korrosionsgefahr wurde durch eine erheblich verstärkte Rohrwandung in der Wasserwechselzone begegnet. Nach Fertigstellung des 30 m langen Gründungsrohres mit 2,5 m Durchmesser, des 7,5 m langen Schaftes und des 8 m im Durchmesser messenden Turmkopfes mit Laterne wurden zunächst das Gründungsrohr senkrecht in den Kran eines speziell für diese Arbeit hergerichteten Hebeschiffes eingehängt und danach Schaft und Turmkopf, die bereits vorher miteinander verbunden und voll ausgerüstet waren, auf das Gründungsrohr aufgesetzt. Das insgesamt 47 m lange Bauwerk ragte jetzt 42 m aus dem Wasser heraus, da die Wassertiefen an der Baustelle nur ein 5 m tiefes Eintauchen des Gründungsrohres gestatteten. Nach einem Schleppweg von rd. 30 sm über See konnte der 140 Kp schwere Turm mit Hilfe von 6 Spülrüttlern in nur wenigen Stunden auf die planmäßige Einspültiefe von 18 m abgesenkt werden. Anschließend waren nur noch die Kabeleinführung mit Sohlensicherung sowie Anstricharbeiten und Montage der seezeichentechnischen Anlagen durchzuführen.

2.1.2.3 Weitere Leuchttürme

Die Erfahrungen beim Bau des Leuchtturmes „Tegeler Plate" hatten gelehrt, daß es außerordentlich schwierig ist, ein Rohr mit diesen Abmessungen von einem schwimmenden Gerät aus genau senkrecht einzuspülen und danach noch so lange in der senkrechten Stellung festzuhalten, bis der durch die Spülung in Schwebe gehaltene Boden sich genügend abgesetzt hat, um das Rohr einzuspannen. Beim Bau weiterer kleiner Leuchttürme, die allerdings nicht so exponiert und auf noch geringeren Wassertiefen weseraufwärts stehen, hat man daher das Bauwerk in zwei Abschnitten errichtet. Im ersten Arbeitsgang wurde nur das Gründungsrohr eingespült, im zweiten Arbeitsgang das restliche Bauwerk aufgesetzt und beide Teile miteinander verschraubt. Dadurch ergibt sich bei nicht exakt senkrecht eingespültem Gründungsrohr die Möglichkeit einer Korrektur. Mit dieser Methode sind inzwischen an der Außenweser 4 und in der Jade 2 Leuchttürme errichtet worden, von denen das Langlütjen-Unterfeuer, das neben dem Leuchtfeuer noch eine ferngesteuerte Schaltstelle für 5 Leuchtfeuer in einem größeren Turmkopf enthält, das bemerkenswerteste Beispiel ist (Abb. 4).

2.2 Leuchttürme in der Ostsee

2.2.1 Entwurfsgrundlagen

Vor der Ostseeküste wurden bisher 3 Leuchttürme in der offenen See errichtet, und zwar 1962/63 „Kalkgrund" vor der Flensburger Förde, 1964/67 „Kiel" vor der Kieler Förde, der gleichzeitig Lotsenstation ist, und 1969/71 „Friedrichsort" in der Kieler Förde (Abb. 5). Alle drei Türme sind zwar den wesentlich geringeren Seegangseinwirkungen der Ostsee ausgesetzt, erhalten aber in starken Eiswintern, die durchschnittlich alle 5 bis 7 Jahre auftreten, erheblich größeren Eisdruck.

Die eiszeitliche Entstehung des Ostseebeckens bildete zwar die Steilufer und die Erhebungen unter Wasser aus festem, von Findlingen durchsetztem Mergel mit zwischengelagerten Sandschichten, füllte die Tiefen der Förden und Rinnen aber mit Torf und kleiartigen Weichschichten sowie schluffreichem Sand auf. Schon in ganz ufernaher Zone steht daher oft der tragfähige Grund erst in über 20 m Tiefe an.

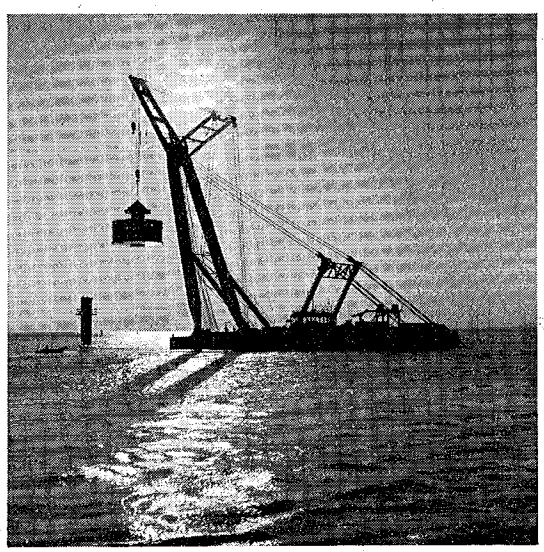


Abb. 4: Langlütjen-Unterfeuer, Leuchtfeuer

Die Kieler Bucht hat sich durch den Bau des Nord-Ostsee-Kanals zu einem Sammelbecken des Schiffsverkehrs entwickelt (Abb. 5). Der Hauptverkehr kommt aus dem Osten durch den Fehmarnbelt; vor der Kieler Förde trifft der Teilverkehr aus dem Norden auf ihn. In der inneren Kieler Förde, im Schutze der Friedrichsorter Enge, erreicht der Verkehrsstrom die Eingangsschleusen zum Nord-Ostsee-Kanal.

Wie heute noch im Fehmarnbelt lagen vor der Kieler Förde und vor der Flensburger Förde Feuerschiffe als Ansteuerungsziele aus. Daß beide Feuerschiffe durch feste Türme ersetzt wurden, hatte im wesentlichen folgende Gründe:

Die starke Zunahme des Verkehrs und das Anwachsen der Schiffsgrößen führte zu einer steigenden Gefährdung der Feuerschiffe

Moderne, leistungsstarke Schiffe und Eisbrecher ermöglichen im Winter auch dann noch Verkehr, wenn sich die Feuerschiffe nicht mehr auf Position halten können; sie mußten im Mittel alle fünf Jahre für 3 bis 4 Wochen eingezogen werden

Feuerschiffe sind Seegang und Strömung unterworfen und können deshalb nur ein Rundumfeuer in geringer Höhe über dem Wasserspiegel tragen, während Leuchttürme durch große Feuerhöhen mehr Sichtweite erzielen sowie durch Leit- und Warnsektoren Schiffahrtswege bezeichnen und Untiefen begrenzen können

Leuchttürme lassen sich einfacher automatisieren und von zentralen Schaltstellen aus überwachen; an der deutschen Küste ist zur Rationalisierung und besseren Überwachung ein solches System im Aufbau, an das die 3 genannten Türme angeschlossen sind

Die Einsparung der hohen Personal-, Betriebs- und Unterhaltungskosten eines Feuerschiffes deckt die Gesamtkosten eines Leuchtturmes für Bau, Unterhaltung und Betrieb in kurzer Zeit

Die Wasserstandsverhältnisse in der Kieler und Flensburger Förde sind einander ähnlich. Das höchste bekannte Hochwasser (HHW) liegt ca. 3 m über dem mittleren Wasserstand und das niedrigste bekannte Niedrigwasser (NNW) rd. 2 m unter Mittelwasser (MW). Das mittlere Hochwasser (MHW) und mittlere Niedrigwasser weichen rd. 1,2 m vom Mittelwasser ab. Die Eisverhältnisse sind nicht einheitlich und wechseln mit dem Standort. Mit unseren derzeitigen Kenntnissen kann die mögliche Angriffskraft nur roh abgeschätzt werden. In der westlichen Ostsee werden im allgemeinen 100 Mp/m Fundamentbreite innerhalb des Bereiches von 1 m über Hochwasser bis 1 m unter Niedrigwasser angesetzt. Mit wachsender Ausdehnung des Bauwerkes kann dieser Ansatz abgemindert werden. Erheblich größere Kräfte können sich dagegen bei Schiffskollisionen ergeben, weshalb im Einzelfall geprüft werden muß, bis zu welchem Umfang es nötig und wirtschaftlich vertretbar ist, das Kollisionsrisiko zu verringern. Gegenüber der Eispressung tritt in der Standsicherheitsbetrachtung der Wellendruck zurück. Für die Festigkeittsberechnungen bei Bauwerk und Abschlüssen wurden Berechnungswellen zugrunde gelegt, die sich bei höchstem Hochwasser vor der Flensburger Förde 4 m, in der Kieler Bucht 5 m und in der inneren Kieler Förde noch 2 m über den Ruhewasserspiegel erheben. Für die Gestaltung der Landeanlagen ist der häufige Seegang wichtig, Extremwerte können dabei ausgeschlossen bleiben.

Der Leuchtturm Kalkgrund steht rd. $1^1/_2$ sm, der Leuchtturm Kiel rd. $^3/_4$ sm abseits der früheren Feuerschiffsposition. Die Standorte beider Türme ermöglichten eine günstige Bezeichnung der Fahrwasser und Untiefen und gestatteten ein vom Verkehr nur wenig gestörtes Bauen. An beiden Stellen steht der tragfähige Mergelgrund etwa 13 m unter Mittelwasser an. Bei „Kiel" liegt die Mergeloberfläche frei und ist nur leicht aufgeweicht, bei „Kalkgrund" liegt sie unter 8 m Sand und Schluff. Bei „Friedrichsort" je-

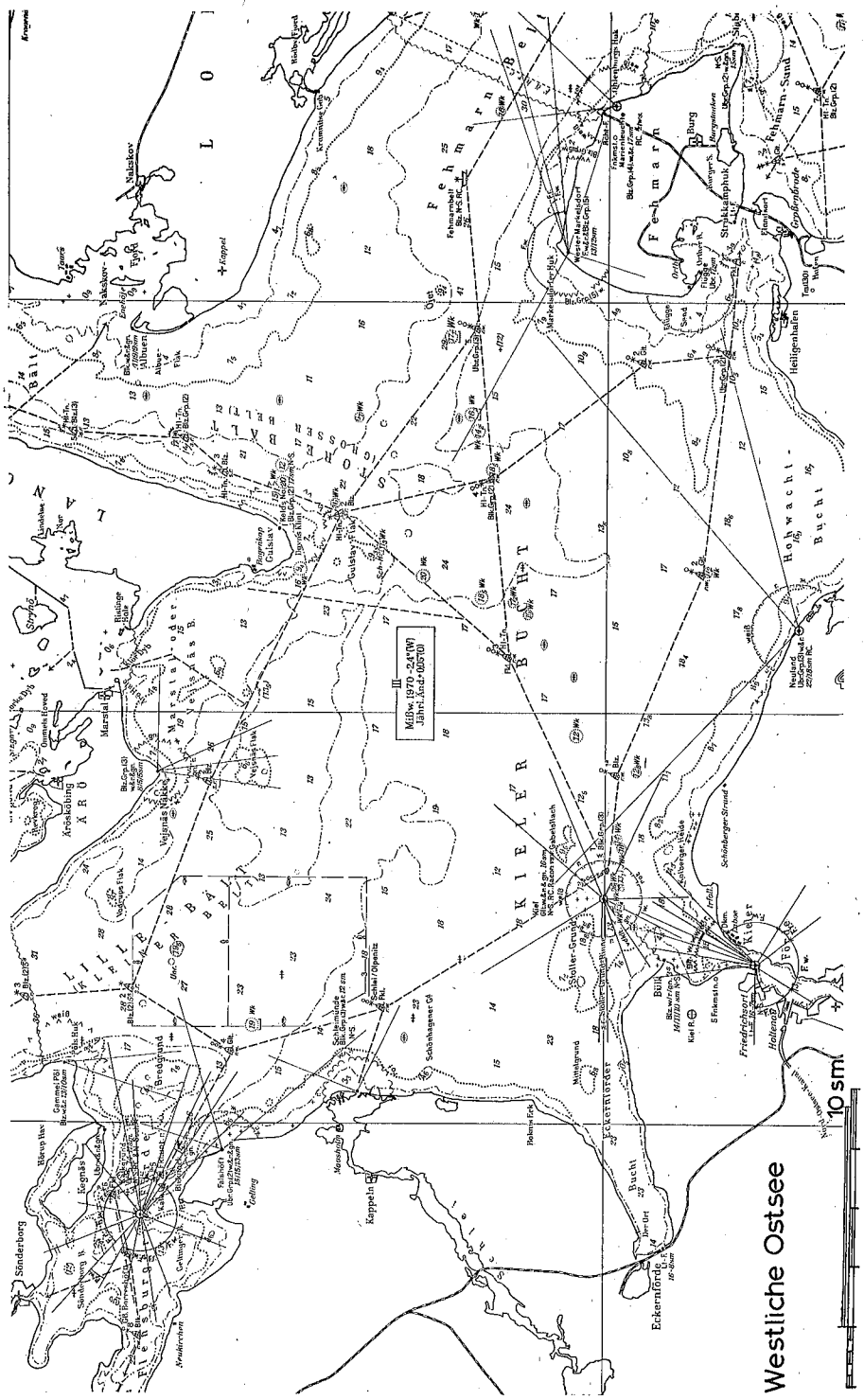


Abb. 5: Kartenausschnitt westl. Ostsee

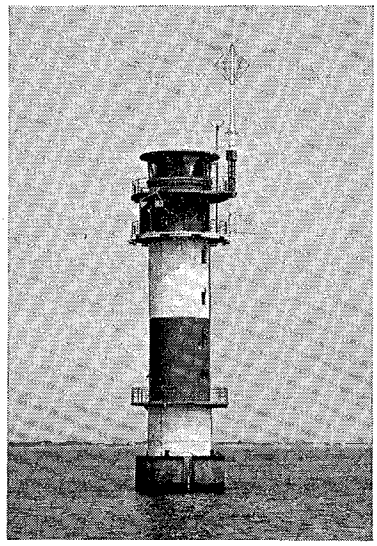


Abb. 6: Leuchtturm „Kalkgrund"

doch wird die Kieler Förde durch eine Sandbank eingeschnürt, die organische Weichschichten überdeckt; erst in 24 m Tiefe steht hier wieder tragfähiger Sand an. Die Entfernung zum Land beträgt bei „Kalkgrund" 1½ sm, bei „Kiel" 4 sm und bei „Friedrichsort" nur 1/10 sm. Das erlaubt in jedem Fall, die Türme von Land her mit elektrischer Energie zu versorgen. Unterzubringen waren folgende technische Anlagen:

- Leuchtfeuer
- Luftnebelschallanlage
- meteorologische Meßstation } nicht auf „Friedrichsort"
- Funkfeuer } nicht auf „Friedrichsort"
- hydrologische Meßstation mit Pegel
- Fernwirkeinrichtung und Richtfunkübertragungsanlage
- Netzersatzanlage
- Umspannstation für Netzstrom

2.2.2 Konstruktion und Baudurchführung

2.2.2.1 Leuchtturm Kalkgrund

Der Leuchtturm Kalkgrund (Abb. 6) wurde von vornherein ausschließlich als fernbedienter und fernüberwachter Leuchtturm geplant. Bis auf einen kleinen Raum für den Meßtrupp konnten daher Personalräume eingespart werden. Für die Unterbringung der Geräte genügten 5 gegenüber dem Treppenhaus abgeschlossene Geschosse im Turmschaft.

Raumbedarf, Feuerhöhe und gute Erkennbarkeit ergaben als wirtschaftliche Lösung ein zylindrisches Bauwerk von 4,5 m Außendurchmesser und rund 24 m Höhe (Abb. 7), das bei Nacht angestrahlt wird. Eine Turmfassade aus Keramik ist dauerhaft, lichtecht und schmutzabweisend. Die geringe Verkehrsdichte und der abgelegene Standort ma-

chen eine Beschädigung durch Schiffe unwahrscheinlich, weshalb kein zusätzlicher Schiffsstoß berücksichtigt wurde.

Die Pfahlgründung mit Sohlensicherung ergab sich aus der Ausschreibung als günstigste Lösung. Maßgebend für Konstruktion und Baudurchführung war, daß für den Bau eine vierbeinige Hubinsel von 30 × 21 m Grundfläche mit Rammgerät zur Verfügung stand. Vor Inangriffnahme der Arbeiten an der Baustelle war in einem Kieler Trockendock eine ringförmige Stahlbetonglocke hergestellt worden. Sie wurde an die Hubinsel gehängt, zur Baustelle geschleppt und auf der Turmposition abgesetzt. Mit 4 schweren, mit der Bewehrung verschweißten Vertikalpfählen wurde zunächst die Lage der Glocke gesichert. Sie war dann Rammlehre für 12 Pfahlböcke.

Während die 31 m langen Vertikalpfähle ganz unter die Ramme genommen werden konnten, mußten die längeren Schrägpfähle einmal gestoßen werden. Beim Verschweißen ergaben sich hier Schwierigkeiten, indem ein ungewöhnlicher Magnetismus am Pfahlstoß kein Verschweißen zuließ. Jeder Pfahlstoß mußte mit einem Elektrokabel umwickelt und das Magnetfeld mit ständig umgepoltem Gleichstrom abnehmender Stärke stufenweise abgebaut werden.

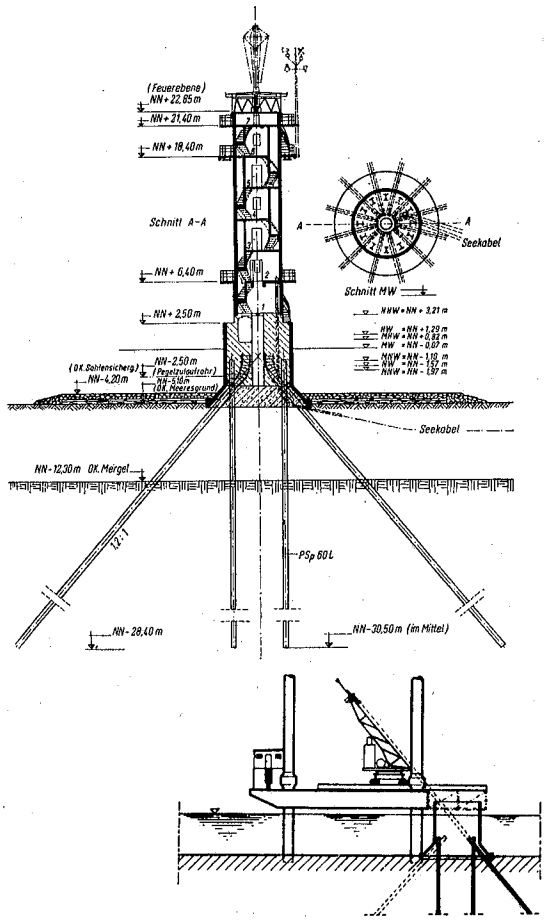


Abb. 7: Querschnitt Leuchtturm „Kalkgrund"

Nach dem Rammen wurde die Glocke durch eine 2 m dicke Colcrete-Betonschicht abgedichtet und leergepumpt, sodann wurden an den Pfahlköpfen Bewehrungseisen angeschweißt, die Behälter für Dieselkraftstoff und Wasser sowie das Pegelschachtrohr eingesetzt und das Fundament betoniert. Die Mischanlage war auf der Hubinsel aufgestellt, die Zuschlagstoffe lagerten auf längsseits liegenden Schuten. Mit 350 kg Sulfat-Hüttenzement je m^3 Beton wurden Festigkeiten bis zu 500 kp/cm^2 erzielt. Für den Turm und die Galerien wurden an Land gefertigte Schalungen verwendet. Die Laterne besteht aus Aluminiumlegierung Al Mg 3. Die elektrische Energie wird mit 6 kV Spannung über ein 10 km langes Erdkabel angeliefert. Das Kabel ist auf der 5 km langen Verlegestrecke im Seegebiet 2 bis 3 m tief eingespült und auf dieser Teilstrecke mit Runddraht bewehrt. Bei Spannungsausfall liefert ein Dieselgenerator den Strom. Die Fernsteuerung erfolgt von Kappeln aus.

Durch den Einsatz der Hubinsel und die Vorfertigung von Bauteilen und Schalungselementen an Land konnte der Turm trotz verhältnismäßig schlechten Wetters 15 Monate nach Beginn der Arbeiten in Betrieb genommen werden. Für den seebaulichen Teil wurden davon 6 Monate benötigt. Im Winter 1962/63 waren die Arbeiten wegen des schweren Eises für 3 Monate unterbrochen.

2.2.2.2 Leuchtturm Kiel

Der Leuchtturm Kiel (Abb. 8) dient nicht allein als Seezeichen, sondern muß als Lotsenversetzstation bei fast jeder Wetterlage für Lotsenversetzboote erreichbar sein. Jahrzehntelange Wetter- und Seegangsbeobachtungen des Feuerschiffes „Kiel" erwiesen, daß sich der stärkste Seegang aus Nordost entwickelt. Größere Wellen als 30 m lang und 2 m hoch sind in diesem Seeraum selten. Modellversuche zeigten, daß ausreichende Wellendämpfung nur erreicht werden kann, wenn beim Turm ein kleiner Hafen errichtet wird. An mindestens einer Seite von zwei rechtwinkelig zueinanderstehenden, je 50 m langen Molen (Abb. 9), deren Winkelspitze nach Nordost weist, können die Lotsenboote bis zu Wetterlagen anlegen, bei denen noch ein Versetzen möglich ist.

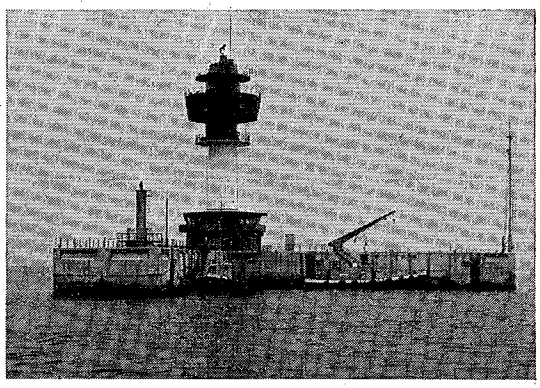


Abb. 8: Leuchtturm „Kiel"

Drei 17,5 m hohe und 12 m breite Schwimmkästen aus Stahlbeton sind auf der Seeposition in dieser Form zusammengestellt. Sie wurden bis zu einer bei 11,5 m Tiefgang ausreichenden Schwimmstabilität von knapp 30 cm metazentrischer Höhe im Kieler Hafen betoniert, dann mit Schleppern über die vorbereitete Kiesbettung auf der Seeposition gezogen, verankert, ausgerichtet, geflutet und mit Sand gefüllt. Die beiden Molenflügel nehmen die Anlegetreppen auf, der mittlere Schwimmkasten bildet die Nordost-Spitze

und das eigentliche Leuchtturmfundament. Sein Deck liegt 5 m über Mittelwasser. Er hat oberhalb der Sandkammern 2 Stockwerke. Im oberen Stockwerk sind Sanitär- und Übernachtungsräume der Lotsen untergebracht, im unteren Räume für schwere Anlagen wie Notstromaggregat und Transformator. Den Lotsen steht ein hochgelegener Beobachtungsstand zur Verfügung (Abb. 9), der allseitig verglast ist, darunter liegen Küche und Aufenthaltsraum der Lotsen. Der Turmschaft nimmt nur die Treppen und den Aufzugschacht auf. Alle Seezeichenanlagen sind im Turmkopf untergebracht und werden von Kiel aus ferngesteuert.

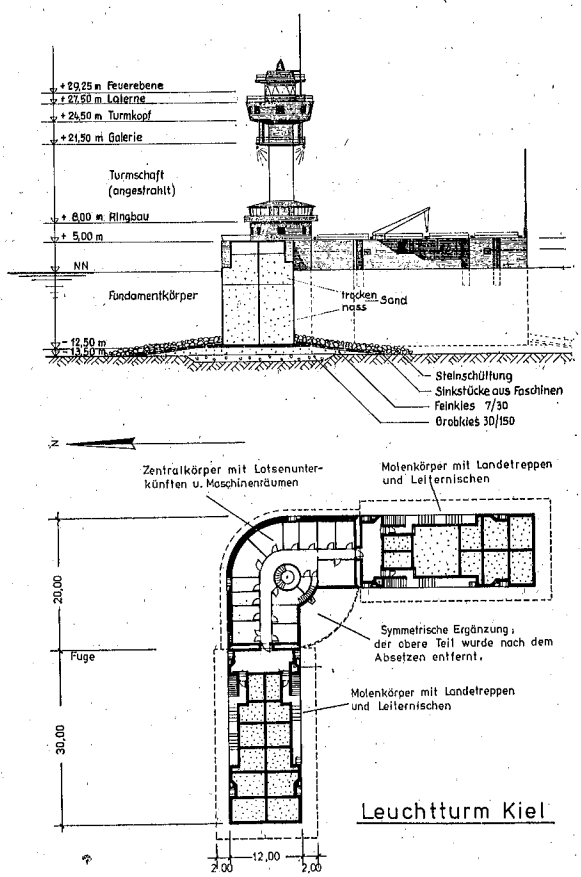


Abb. 9: Ansicht und Schnitt

Für den Bau der Schwimmkästen stand 1964/65 im Kieler Raum kein Dock zur Verfügung. Deshalb wurde im Kieler Hafen eine besondere Absenkanlage aus 2 parallelen Seebrücken errichtet, die über je 9 Lochstangen eine 23 × 30 m große Betonierbühne trugen. Die Stangen konnten mit ölhydraulischen Pressen in Stufen von einem halben Meter gehoben oder gesenkt werden. Zur Gewichtserleichterung wurden die Kästen in Abhängigkeit vom Baufortschritt immer nur so weit in das Wasser abgesenkt, daß der Auftrieb die Hängekonstruktion entlastete, aber noch nicht zum Aufschwimmen führte. Der Beton für die Fundamentkästen wurde mit 350 kg Hochofenzement und 170 kg Baustahl je m³ in Ausfallkörnung hergestellt. Damit das Absenkgerüst möglichst früh wieder frei wurde, wurden die Schwimmkästen ausgeschwommen, sobald die

Wände jeweils hoch genug waren, und neben der Zugangsbrücke abgesetzt oder schwimmend weiterbetoniert.

Schon im Sommer 1964 begann die Arbeit auf der Seebaustelle. Ein Eimerkettenbagger entfernte den durchweichten oberen Mergelboden. Die Baggergrube wurde durch eine Grobkiesschüttung aufgefüllt und darüber Feinkies aufgeschüttet, der die Gründungsfläche der Schwimmkästen allseitig um 4 m überragt. Mit einem Eimerbagger wurde dann das Planum abgebaggert, Taucher planierten die Fläche in Handarbeit nach. Im Sommer 1965 konnten die Molenkörper nacheinander durch 2 Schlepper zur Seebaustelle bugsiert, an Ankern festgelegt, genau eingemessen und geflutet werden. Nur der Zentralkörper ließ sich zwar trotz steifer Brise und unruhiger See sicher schleppen, es war aber unmöglich, ihn neben dem Molenkörper abzusenken. Er mußte mit Abstand abgesetzt werden und konnte erst später bei ruhiger See wieder aufgeschwommen und in Sollposition gebracht werden. Der obere Teil der Längs- und Aussteifungswände sowie die Decke, rd. 650 m³ Beton, mußten auf See verarbeitet werden, um beim Transport den Tiefgang von 11,5 m nicht zu überschreiten. Dabei wurde mehr als einmal eine Schalung vom Sturm zerschlagen. Keine Schwierigkeiten machte das Füllen mit Sand. Ein Hopperbagger brachte in wenigen Fahrten das nötige Material und spülte es ein. Die über NNW liegende Sandschicht wurde dräniert, damit sich kein Eis bilden kann. Der untere Teil blieb naß, um die Füllung so schwer wie möglich zu machen.

Der Turmaufbau mit Laterne besteht aus seewasserbeständigen Aluminiumlegierungen. Das niedrige Gewicht von 55 t ermöglichte, ihn an Land vorzufertigen, zu montieren und mit einem in Kiel stationierten Schwimmdrehkran auf dem Fundament abzusetzen.

Auch dieser Turm wird nachts angestrahlt und über ein 8 km langes Hochspannungsseekabel von Bülk aus mit Strom versorgt. Bei Stromausfall übernehmen 2 automatische Netzersatzanlagen die Energieversorgung.

Der Leuchtturm Kiel steht abseits des Verkehrs. Für den Turm selbst und für sein Fundament bilden die beiden Molenflügel einen hervorragenden Kollisionsschutz. Durch Anstrahlung der Molenköpfe und der Anleger wird visuell vor der Annäherung gewarnt. Eine Ausweitung des Kollisionsschutzes hätte die Baukosten unvertretbar gesteigert.

Die Bauzeit betrug 4 Jahre. Davon waren ein Jahr für die Herstellung der Schwimmkästen erforderlich, ein Sommer für den Rohbau auf See, ein Sommer für den Innenausbau und ein gutes halbes Jahr für die Innenausrüstung. In zwei Wintern während der Bauzeit mußte die Seebaustelle jeweils 5 Monate lang stilliegen.

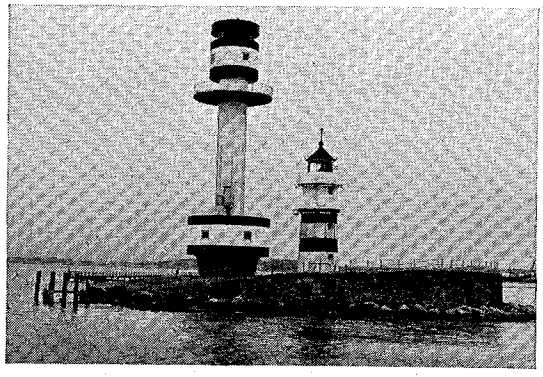


Abb. 10: Leuchtturm „Friedrichsort"

2.2.2.3 Leuchtturm Friedrichsort

Der Leuchtturm Friedrichsort (Abb. 10) steht an der engsten Stelle der Kieler Förde. Sein Standort wird durch das Fundament seines Vorgängers und durch eine schwere sichelförmige Findlingsmauer geschützt, die unmittelbar seewärts des alten Turmes liegt. Am Bauplatz ist das Wasser seicht, aber schon wenige Meter weiter fällt der Grund auf größere Tiefe. Die natürliche Sohlengestalt kann für den Turm die Kollisionsgefahr nicht beseitigen. Die erhebliche Tiefe bis zum tragfähigen Grund und zu erwartende starke Eispressungen führten zu dem Entschluß, eine rd. 1500 m² große Sandinsel aufzuspülen, die auch die Bauarbeiten erleichterte. Im Norden wird sie von der vorhandenen Findlingsmauer gegen die See abgeschirmt, am Restumfang von feuerverzinkten Stahlspundbohlen eingefaßt. Die Oberfläche liegt 1,2 m über MW und wird nur selten überflutet. Nach dem Rammen der Spundwand wurde vom Ufer aus ein Sanddamm bis

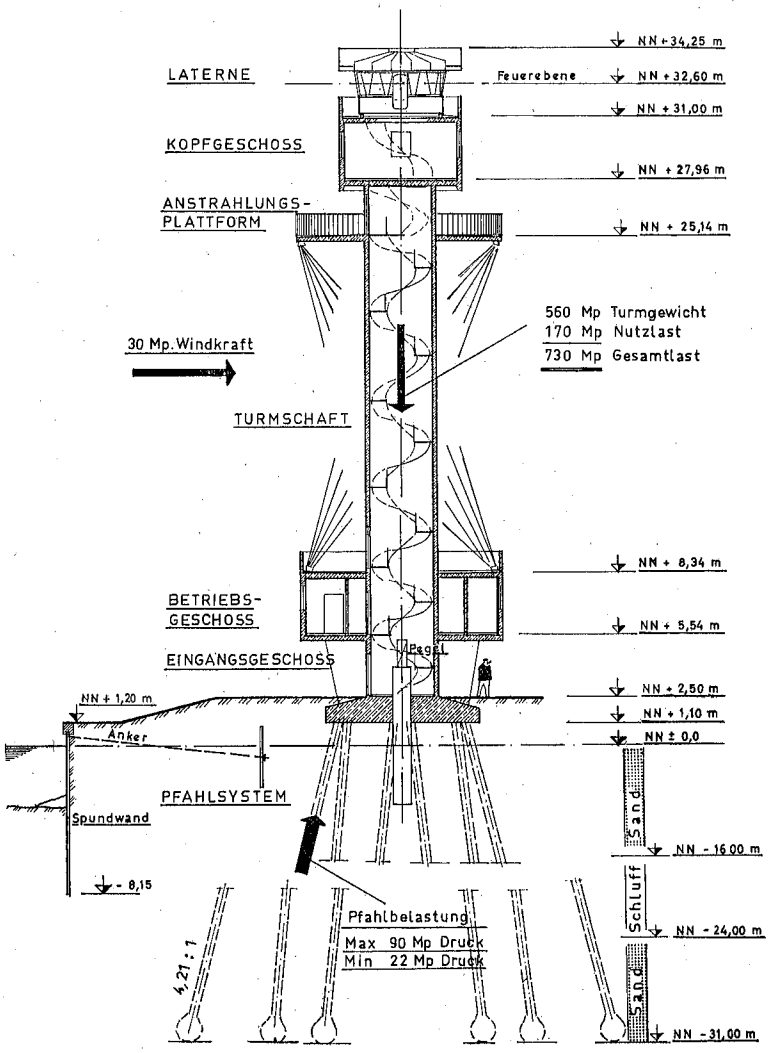


Abb. 11: Querschnitt Leuchtturm „Friedrichsort"

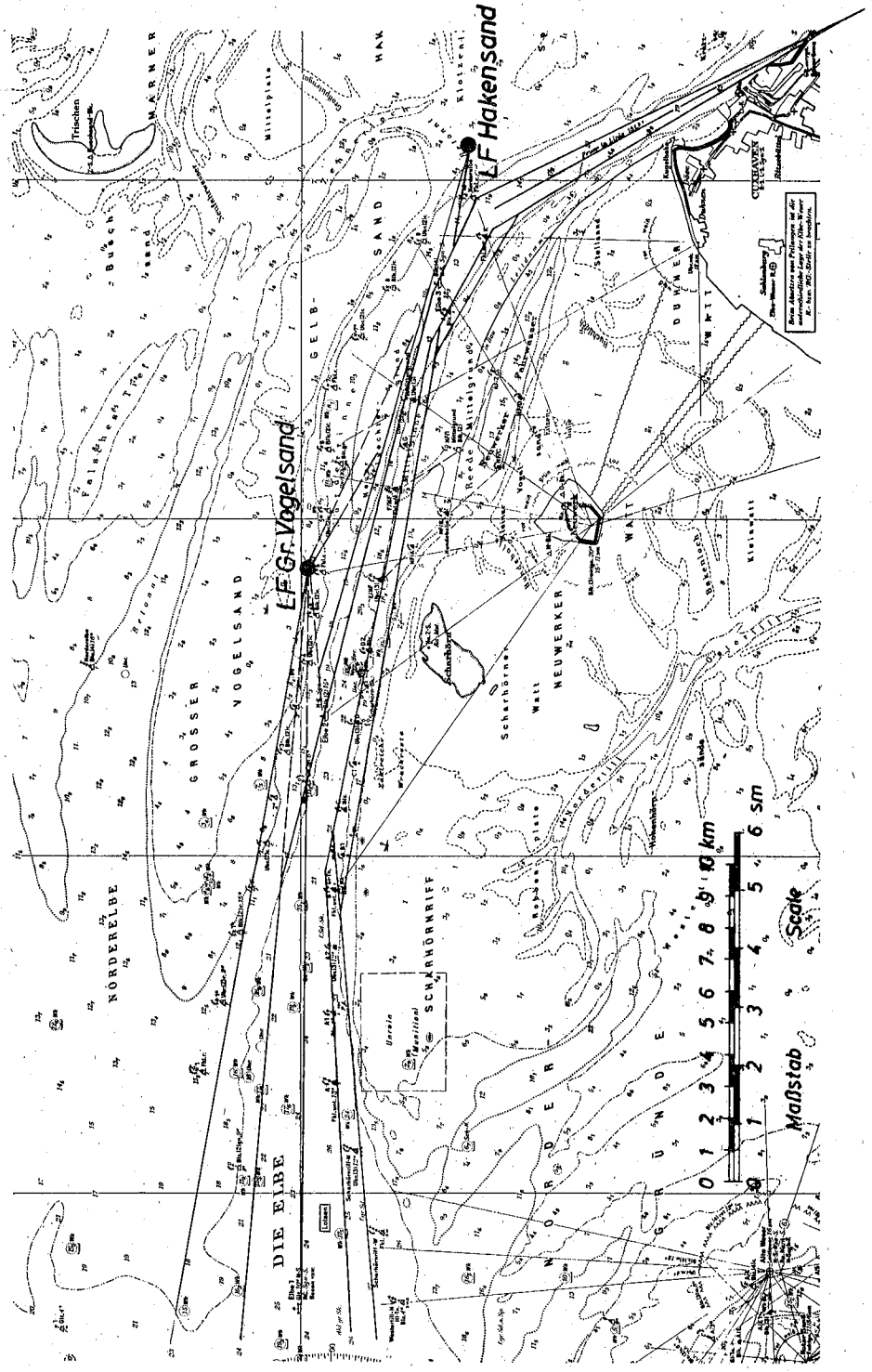


Abb. 12: Seekartenausschnitt Außenelbe

zur Baustelle vorgetrieben, so daß eine Landbaustelle entstand. Der Turm ist inmitten der Sandinsel auf Stahlbeton-Hülsenpfählen gegründet. Je zwei Pfahlköpfe treffen sich in der Fundamentplatte, so daß diese 6 schrägliegende Pfahlböcke verbindet (Abb. 11).

Das sternförmige Eingangsgeschoß darüber, das die Kräfte aus Turm und Betriebsgeschoß direkt in die Pfähle leitet, wird von außergewöhnlichem Hochwasser überflutet, das Betriebsgeschoß darüber liegt jedoch schon so hoch, daß es ungefährdet bleibt. Dort sind das Notstromaggregat mit Kraftstofftank und alle Schaltanlagen für die seezeichentechnischen Einrichtungen untergebracht. Eine gute Anstrahlung des Turmes ist hier unmittelbar neben dem Fahrwasser besonders wichtig. Mit der 400 m entfernten Schaltstelle an Land wird der Turm durch ein Energiekabel und ein vielpaariges Steuerkabel verbunden.

Bis auf die Laterne aus Al Mg 3 und die stählerne Treppe ist der Turm ein Stahlbetonbauwerk. Sternwände und Betriebsgeschoß wurden am Ort geschalt, der Turmschaft mit einer Kletterschalung, die weit ausladende Anstrahlungsplattform mit einer Hängeschalung betoniert. Das Leuchtfeuer wurde im November 1971 in Betrieb genommen.

3. Geplante Leuchttürme in der Elbemündung

3.1 Entwurfsgrundlagen

Auch das rd. 24 sm lange Fahrwasser der Außenelbe vom Feuerschiff „Elbe 1" bis Cuxhaven verläuft zwischen ausgedehnten Sänden und Watten (Abb. 12) und ist ständigem Sandtransport in Quer- und Längsrichtung und damit unterschiedlichen Veränderungen der Strömungs- und Tiefenverhältnisse unterworfen. Ihr periodischer Verlauf ließ eine Bezeichnung durch ortsfeste Leuchtfeuer bisher nicht zu, sie erfolgte daher durch eine große Anzahl Leuchttonnen und 3, zeitweilig auch 4 Feuerschiffe. Erst mit der Fertigstellung eines rd. 9,2 km langen Leitdammes von der Kugelbake aus seewärts, dessen Bau 1939 begann und erst 1968 in einer ersten Ausbaustufe beendet werden konnte, ist im Zusammenwirken mit modernen Großraumbaggern eine teilweise Stabilisierung der Fahrwasserverhältnisse erreicht worden, verbunden mit einer erwünschten Schwächung des Neuwerker Fahrwassers, einer Verbesserung der nördlich davon gelegenen, navigatorisch günstig verlaufenden Mittelrinne und einer allmählichen Verflachung der Norderrinne. Heute wird das Fahrwasser der Außenelbe nur noch im mittleren Bereich durch den Neuen Luechtergrund in die Norderrinne und Mittelrinne geteilt, die beide als Fahrwasser benutzt und durch Tonnen und Feuerschiffe einheitlich bezeichnet werden. Als weiteres wichtiges Hilfsmittel steht der Schiffahrt eine Radarkette zur Beratung bei unsichtigem Wetter, Eisgang und Sturm zur Verfügung.

Mit der erheblichen Zunahme der Schiffstiefgänge in den letzten Jahren reicht diese Bezeichnung für die Verhältnisse der Außenelbe nicht mehr aus. Massengutschiffe und Container sind auf schmale und nur durch Baggereinsatz tiefgehaltene Fahrrinnen angewiesen, die zur sicheren Ortsbestimmung bei jedem Wetter mit festen Seezeichen bezeichnet werden müssen. Damit wird der Aufbau eines zusätzlichen Befeuerungssystems erforderlich, an das folgende Forderungen gestellt werden:

Es muß verkehrstechnisch, nautisch und wirtschaftlich befriedigen sowie für die Schiffsführung einfach und klar überschaubar sein, d. h. es sollen bei der geringsten Anzahl von Feuerträgern die besten Navigationshilfen gegeben werden

Es müssen ausreichend hohe Feuerträger errichtet werden, deren Lichtstärke genügend stark im äußeren Wirkungsbereich ist, aber im Nahbereich keine Blendung hervorruft

Die Feuerträger müssen Sicherheit gegen Eisgang, Sturm und Wellenangriff sowie Besteigbarkeit bei den meisten Wetterlagen bieten

Die Leuchtfeuer müssen ferngesteuert und fernüberwacht werden können

Die Wirtschaftlichkeit des neuen Systems muß durch Fortfall der beiden inneren Feuerschiffe „Elbe 2" und „Elbe 3" erreicht werden.

Folgende Maßnahmen sollen nunmehr Zug um Zug durchgeführt werden (Abb. 12):

Errichtung eines Leuchtfeuers am „Großen Vogelsand" zur Erfassung des Fahrwassers zwischen den Feuerschiffen „Elbe 1" und „Elbe 2" und im oberen Bereich bei Feuerschiff „Elbe 3" mit Leit- und Warnsektoren sowie Funkfeuer, Radarantwortbake und LNS-Anlage

Errichtung eines Leuchtfeuers im Gebiet des „Hakensandes" zur Erfassung des Fahrwassers im Bereich der Mittelrinne zwischen den Feuerschiffen „Elbe 2" und „Elbe 3" wie vor

Errichtung von 4 großen Radar-Reflektorbaken zur besseren Erfassung des Gebietes der Mittelrinne im Schiffsradargerät

Auslegen von Großleuchttonnen im Bereich der größeren Kursänderungen, etwa im heutigen Bereich der Feuerschiffe „Elbe 2" und „Elbe 3"

Verstärkung des Leuchtfeuers Neuwerk als Quermarke zur weiteren Markierung der Mittelrinne

Einziehen der Feuerschiffe „Elbe 2" und „Elbe 3" und Außerdienststellung des zugehörigen Reserve-Feuerschiffes nach Beendigung der vorgenannten Maßnahmen

Die Standorte der beiden Leuchttürme „Großer Vogelsand" und „Hakensand" wurden anhand von Kartenvergleichen über die großräumige Wanderung der Sände so festgelegt, daß eine Gefährdung der Bauwerke in überschaubarer Zeit mit großer Wahrscheinlichkeit nicht zu befürchten ist. Der „Große Vogelsand" soll als erster Turm gebaut werden; der endgültige Standort für „Hakensand" kann erst nach weiterer Beobachtung der Mittelrinne festgelegt werden.

Der Leuchtturm „Großer Vogelsand" soll das Fahrwasser nördlich des gefährlichen Scharhörn-Riffs mit zwei scharf gebündelten Leitsektoren unterschiedlicher Kennung und einer maximalen Tragweite von 13 sm bis zum Feuerschiff „Elbe 1" bezeichnen, um für die ein- und auslaufende Schiffahrt getrennte Wege zu schaffen. Der Turm wird zum Schutz vor Kollisionen angestrahlt und über Funk von der Seezeichenschaltstelle Cuxhaven ferngesteuert. Von einer Stromversorgung über ein teures und wegen der veränderlichen Wattengebiete gefährdetes Seekabel wird vorerst Abstand genommen; die Versorgung soll aus 3 im Turm untergebrachten Dieselaggregaten erfolgen. Außer den seezeichentechnischen hat der Leuchtturm noch hydrologische Aufgaben zu übernehmen. Zur routinemäßigen Wartung und zur Beseitigung über Funk gemeldeter Störungen und Ausfälle muß ein Wartungstrupp per Schiff oder Hubschrauber den Turm aufsuchen können und für länger dauernde Instandsetzungsarbeiten entsprechende Notunterkünfte zur Verfügung haben.

3.2 *Stand der Entwurfsarbeiten*

Diese Bedingungen führten in der Entwurfsbearbeitung zu der in der Abb. 13 dargestellten Turmform und Turmaufteilung. Neben den vorerwähnten Forderungen war dabei noch folgendes zu beachten:

Die Wassertiefe beträgt am vorgesehenen Standort z. Z. etwa 7 m unter Seekarten-Null (SKN); mit Rücksicht auf beobachtete Auskolkungen an anderen Türmen mußte eine rechnerische Sohle von rd. 12 m unter SKN angenommen werden

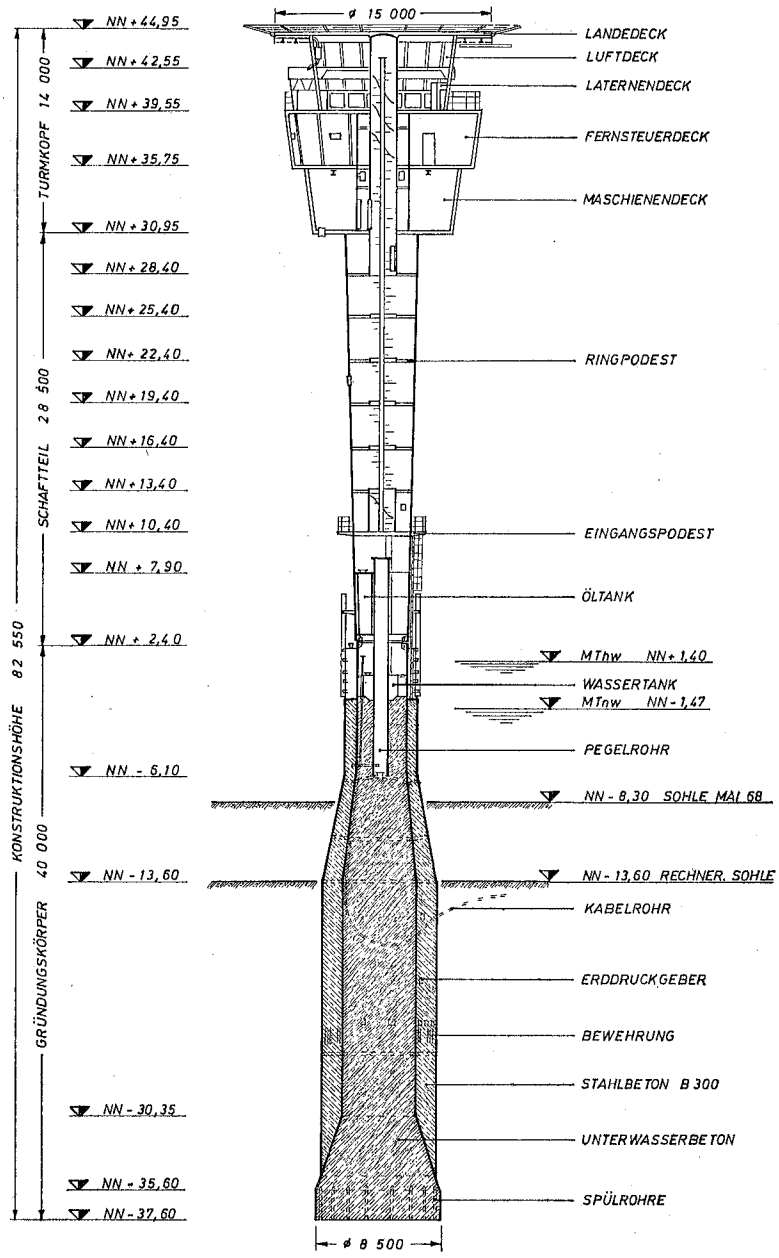


Abb. 13: Querschnitt geplanter Leuchtturm „Großer Vogelsand"

Der Untergrund in dem Gebiet besteht im wesentlichen aus Sanden unterschiedlicher Korngröße, die schichtweise mit bindigen und humosen Kleibeimengungen vermischt sind; bei Brunnengründungen muß daher mit erschwerten Verhältnissen gerechnet werden

Beim Ansatz der Windstärken wird als Staudruck über die ganze Bauhöhe mit einer konstanten Windgeschwindigkeit von 50 m/s gerechnet

Als Eisdruck wird mit einer Linienlast von 50 Mp/m projizierter Gründungskörperbreite bei 1 m über MThw gerechnet

Für die Berechnung des Wellendrucks ist das HHThw bei festgesetzter rechnerischer Sohle von 12 m unter SKN zu berücksichtigen

Für den Strömungsdruck wird über die ganze Wassertiefe mit einer konstanten Strömungsgeschwindigkeit von 2 m/s gerechnet

Die Toleranzen für Durchbiegung und Verdrehung des Turmes in Leuchtfeuerhöhe müssen sich für den rechnerischen Lastfall mit Rücksicht auf die Benutzbarkeit der scharf gebündelten Leuchtfeuer-Projektoren in folgenden Grenzen halten: Durchbiegung ±12', Verdrehung ±3'

Die Turmform wurde hinsichtlich ihrer optimalen Ausbildung mit dem geforderten Hubschrauberlandedeck im Windkanal untersucht. Das auf der Spitze des Turmes angeordnete Landedeck wird nach den deutschen Richtlinien als Klasse 2 mit einem Durchmesser von 15 m konstruiert und für ein Abfluggewicht von 6000 kg bemessen. Auslaufender Treibstoff muß getrennt vom Regenwasser abzuführen sein. Die Landefläche ist verschleißfest, ölfest und rutschsicher auszubilden. Die freie Aufständerung des Landedecks über dem Laternendeck wurde im Windkanal als günstigste Lösung ermittelt.

Der Turmkopf besteht aus 3 Geschossen:

Das Laternendeck, in dem die mit Xenon-Hochdrucklampen ausgerüsteten Leuchtfeuer-Projektoren angeordnet sind

Das Fernsteuerdeck mit Schalt- und Steuerschränken, der Notunterkunft für 4 Personen, der LNS-Anlage, einem Batterieraum u.a.m.

Das Maschinendeck mit den 3 Dieselaggregaten mit Elektrozügen für Montage und Transport schwerer Lasten

Um Personen und kleinere Güter bei unruhiger See vom Schiff auf dem Turm absetzen zu können, ist eine von der Energieversorgung unabhägige, rein mechanische Aufzugsvorrichtung entwickelt worden.

Im Turmschaft selbst sind um den Pegelschaft herum die Öltanks angeordnet. Der Turmschaft nimmt u. a. die Wendeltreppe, das Eingangspodest, mehrere Ringpodeste sowie Rohrleitungs- und Kabelkanäle auf.

Der Leuchtturm „Hakensand" wird etwa dem gleichen Konzept folgen.

4. Technik und Wirtschaftlichkeit

4.1 Allgemeine Betrachtungen

Es ist über ausgeführte wie in Planung befindliche Leuchttürme in der Weser- und Elbemündung sowie in der westlichen Ostsee berichtet worden. Hierbei ist festzustellen, daß keinerlei generelle Übereinstimmung im Hinblick auf die gewählten Bauweisen und Bauverfahren, speziell auch für die Gründung der Bauwerke, besteht. Vielmehr sind die unterschiedlichsten Konstruktionen angewendet und immer wieder andere Wege zu ihrer Realisierung beschritten worden, jeweils in bester Anpassung an die örtlichen Verhältnisse.

Für Leuchtturmbauten in offener See sind besondere Anstrengungen erforderlich. Da ihr Standort meist weit vom Land entfernt ist, sind sie den wechselnden Einflüssen aus Wetter und See voll ausgesetzt. In der Deutschen Bucht z. B. treten selbst in den

Sommermonaten meist nur in einem Drittel der Zeit Wetterlagen mit Windstärken unter 4 ein, und es gibt kaum eine zusammenhängende Periode, in der nicht mit einem Sturm gerechnet werden müßte. Solche Verhältnisse erzwingen Bauverfahren, die

weitgehend von der Vorfertigung an Land Gebrauch machen,

es ermöglichen, daß die einzelnen Arbeitsvorgänge auf See bei Windstärken bis 6 noch fortgeführt und auch bei kurzfristiger Sturmwarnung leicht unterbrochen werden können,

über längere Zeit unabhängig von einer Landstation bleiben und

möglichst in einer Sommersaison mit den Arbeiten auf See abschließen.

Bei der Standortwahl solcher Türme werden in erster Linie seezeichentechnische Gesichtspunkte berücksichtigt, es sollte aber auch Spielraum für die Belange des Seebauers bleiben. Dann lassen sich u. U. erhebliche preisliche und terminliche Vorteile erzielen. Das gleiche gilt für die Positionstoleranzen und die Unverschieblichkeit des Bauwerkes.

Voraussetzung ist zunächst eine genaue Untersuchung des Meeresbodens und seines geologischen Aufbaues. Es muß sichergestellt sein, daß keine Hindernisse wie Wracks, Anker, Ketten, Trossen u. dgl. angetroffen werden. In der Deutschen Bucht wie auch in der westlichen Ostsee sind fast durchweg bewegliche Sohlen vorhanden. Langfristige Veränderungen der Sohle haben auf die Gründung und damit auch auf die gesamte Konzeption des Turmes einen erheblichen Einfluß. Wo ein Leuchtturm in solchen Seebereichen errichtet werden muß, ist es notwendig, genaue langfristige Prognosen über Tiefenveränderungen und deren Grenzwerte aufzustellen. Für Brunnengründungen ist dies besonders wichtig, da spätere Unterschreitungen der rechnerischen Sohle zu einer Verminderung der Einspanntiefe und damit zu einer quadratischen Steigerung der Verformungsgröße bei horizontaler Belastung führen.

Auch der Einfluß des Bauwerkes selbst als Dauereinrichtung ist zu berücksichtigen. Alles, was der Mensch im Meer und an seinen Küsten durch künstliche Maßnahmen bewirkt, hat Rückwirkungen auf die Umgebung. Hier muß auch die Gefahr, daß im Zuge von Baumaßnahmen bei beweglicher Sohle Kolke auftreten, immer im Auge behalten werden. Neben dem Aufbau des oberflächennahen Bodens, der Größe der Strömungsgeschwindigkeit und der Dauer der Einwirkung ist Größe und Form der Einbauten von besonderer Bedeutung. Durch behindernde Einbauten werden die Stromlinien geteilt, die Strömungsgeschwindigkeit u. U. erhöht. Außerdem bilden sich Wirbelzonen, die in erster Linie für das Auflockern und Herauslösen der Bodenkörner aus dem Bodenverband verantwortlich sind.

Ein sinnfälliges Beispiel liefert der Bau des Leuchtturmes „Roter Sand", der in den Jahren 1880—85 vierzig Seemeilen unterhalb Bremerhavens in der Nordsee errichtet wurde (Abb. 14). Es war der erste Leuchtturm der Welt, der in offener See auf einer echten Caissongründung errichtet wurde. Der Caisson hatte Linsenform und wurde 16 m tief abgesenkt. Er wurde damals mit sämtlichen maschinellen Drucklufteinrichtungen sowie der Besatzung an Bord einfach durch Flutung auf dem Meeresboden abgesetzt. Beim ersten Versuch stellte er sich infolge einseitiger Kolkungen zunächst schief, und zwar zunehmend bis zu 21°, so daß die Besatzung ihn überstürzt verlassen mußte. In den folgenden Tagen ging diese Neigung auf 10° zurück. Wegen eines einsetzenden Sturmes mußte man die Baustelle sich selbst überlassen, und als es möglich war, zurückzukehren — das war erst drei volle Wochen danach — hatte der Sturm, der in diesem Falle aus einer sehr günstigen Richtung geweht hatte, durch Kolkungen auf der entgegengesetzten Seite den Caisson wieder vollständig aufgerichtet, wobei dieser um 5 m von

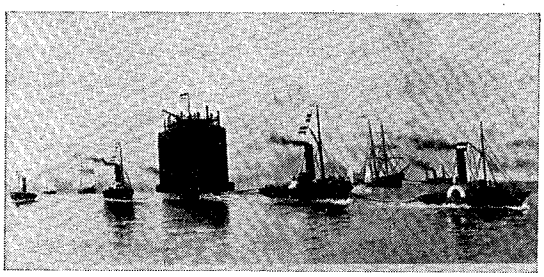


Abb. 14: Ausfahrt des Caissons des „Roter Sand"-Leuchtturmes

selbst eingesunken war. Bekanntlich ging dieser Caisson während der ersten Herbststurmflut dann vollständig verloren. Beim zweiten Versuch trat dieselbe Erscheinung ein, und der Caisson grub sich in vier Tagen durch ständiges Hin- und Herneigen im Takte des Tidewechsels ebenfalls um 4 m in den Meeresgrund.

Art und Schichtung des Untergrundes haben auf die Baukonstruktion und das Bauverfahren erheblichen Einfluß, wobei die Gründungstiefe von besonderer Bedeutung ist. Bei beweglichen Sohlen ist eine Flachgründung nur dann zu vertreten, wenn ausgedehnte Sicherungen auf der Meeressohle ausgelegt werden, was sehr kostspielig ist und keine absolute Sicherheit bietet, vielmehr einer laufenden Kontrolle bedarf. Für die Deutsche Bucht kommen daher nur Tiefgründungen in Frage, in erster Linie Brunnengründungen und Pfahlgründungen mit tiefliegendem oder hochliegendem Rost. Caissongründungen scheiden in Zukunft aus, da sie aus druckluftechnischen und arbeitsphysiologischen Gründen auf Tiefen von 20 bis 25 m unterhalb des höchsten Wasserstandes beschränkt sind. In neuerer Zeit werden auch aufgelöste Gerüstkonstruktionen vorgeschlagen, ähnlich den Offshore-Einrichtungen der Erdölindustrie.

4.2 Brunnengründung

Für eine Brunnengründung liegen die günstigsten Verhältnisse dann vor, wenn der Untergrund einheitlich aus spülfähigem Sandboden besteht. Mit einem kombinierten Spülverfahren aus Wasser und Luft kann dann ein guter Wirkungsgrad erzielt werden, allerdings ist mit dem verbesserten Auflockerungseffekt die Gefahr tieferer Kolkungen gegeben. Wegen der gewöhnlich sehr großen Förderhöhe des Bodens und der Notwendigkeit, diesen unmittelbar an den Schneidkanten abzubauen, scheiden konventionelle Verfahren z. B. mit schweren Greifkörben oder Polypgreifern aus. Ehe man jedoch eine solche Entscheidung fällt, sollte vorher Klarheit darüber herrschen, daß nicht doch bindige Schichten angetroffen werden, da eine Umstellung während der Baudurchführung nur schwer und mit erheblichem finanziellen und zeitlichen Aufwand zu bewerkstelligen ist. Es bleibt dann meistens nur der Tauchereinsatz mit bekanntlich sehr geringen Leistungen bei hohen Kosten.

Will man einen Brunnen in geschichteten Böden mit bindigen Einschlüssen niederbringen, müssen andere Möglichkeiten geprüft werden, z. B. das Absenken mit Hilfe neuerer Bohrverfahren, wie sie zum Niederbringen von Großbohrpfählen angewendet werden, oder der Einsatz eines Druckluftbaggers mit Drehkopf der nach dem Lufthebeverfahren arbeitet: Der Mantel seines Bohrkopfes rotiert um die Längsachse. Außen angebrachte Zähne lockern dabei den Boden auf. Zur Unterstützung, besonders bei bindigem Boden, kann Druckwasser an der Spitze des Bohrkopfes zugegeben werden. Mit Hilfe eines Hydraulikzylinders und eines Gelenkes kann der untere Teil des Gerätes abge-

knickt werden. Ein Kreiskolben in Höhe der Abstützung ermöglicht es dann, durch Drehung des Gerätes um seine Längsachse bei gleichzeitigem Abknicken mit dem Bohrkopf jeden Punkt in der Sohlfläche zu erreichen.

Eine weitere Möglichkeit ist, vor dem Absetzen des Brunnens einen Bodenersatz durchzuführen, z. B. mittels Perforationsgroßbohrungen, vorwiegend im Umfangsbereich des Gründungskörpers, und Wiederauffüllen mit spülfähigem Sandboden.

4.3 Pfahlgründung

Bei einer Pfahlgründung mit tiefem Rost werden die Pfähle so angeordnet, daß sie lediglich durch Normalkraft beansprucht werden. Es treten dann nur relativ geringe Verformungen auf. Die Pfahlköpfe können im Schutze einer Stahlbetonglocke bei offener Wasserhaltung im Trockenen bearbeitet und in das Stahlbetonfundament eingebunden werden (Abb. 7), so daß die wesentlichen Arbeiten sicher, schnell und gut überschaubar ablaufen können. Pfähle lassen sich auch bei wechselnden und bindigen Bodenschichten mit großer Sicherheit einbringen. Ihre Tragfähigkeit kann anhand von Probebelastungen festgestellt werden. Pfahlgründungen sind bei genügender Tiefe unempfindlich gegen Kolkungen. Frei liegende Pfahlabschnitte müssen allerdings gegen Korrosion und Sandschliff geschützt werden.

Für das Niederbringen von Pfählen auf See wird z. Z. allgemein das Rammverfahren bevorzugt, weil sie, zumeist aus Stahl, vorgefertigt in ganzer Länge angeliefert und eingestellt werden können; beim Niederbringen bewirken sie keine nachteiligen Veränderungen, im Gegenteil eine Verdichtung des Bodens. Da das Einrammen am schnellsten geht, lassen sich die Arbeiten auf See kurzfristig abwickeln. Voraussetzung ist, daß feststehende Gerüste für die Aufnahme der Rammen vorhanden sind, meist in Form von Hubinseln. Schwimmende Rammung ist von vornherein auf Bereiche begrenzt, wo genügend lange Ruhigwasserperioden mit nicht zu starken Strömungen und Strömungswechseln zu erwarten und Fluchthäfen in gut erreichbarer Nähe vorhanden sind.

Pfahlgründungen mit hochliegendem Rost in der klassischen Weise sind für die Gründung von Leuchttürmen auf hoher See bisher nicht verwendet worden. In erweitertem Sinn könnte man dazu aber die amerikanische Bauweise, von der auch die Japaner und neuerdings die Holländer Gebrauch machen, zählen. Sie verwenden als Unterbau vorfabrizierte vierfüßige Stahlfachwerk-Konstruktionen, durch deren geneigte Eckrohre Gründungspfähle in große Tiefe gerammt werden.

Aber auch Lösungen, die eine Hubinsel als Dauerbauwerk vorsehen, lassen sich hier einordnen, womit die Vorfertigung an Land ein Höchstmaß erreicht. Ein Schwimmkörper, der beim Transport bereits die Beine (Pfähle) trägt, bildet nach dem Hochjacken am Einbauort die obere Plattform, auf welche der Turmschaft aufgesetzt wird. Diese Plattform steht auf den später auszubetonierenden Stahlrohrstützen großen Durchmessers so weit über dem höchsten Hochwasserspiegel, daß sie frei von Wellenberührung bleibt. Ein Landeplatz für Hubschrauber berücksichtigt neuzeitliche Forderungen. Eine solche Bauweise verkürzt die Bauzeit auf See und verringert das Wetterrisiko. Diese Bauweise bedarf jedoch bei hohen Belastungen aus Eisdruck zusätzlicher Maßnahmen. Die Pfähle sind gegen Korrosion und Sandschliff zu schützen.

5. Erfahrungen und Folgerungen

Die in Deutschland gewonnenen Erfahrungen mit dem Bau von Anlagen für Seezeichen auf offener See und im tiefen Wasser sowie die daraus zu ziehenden Folgerungen können wie folgt zusammengefaßt werden:

5.1 Für die Konstruktion und die Baudurchführung ist die Kenntnis über die größten zu erwartenden Wellenhöhen, die dynamische Beanspruchung aus Seegang und Wind, die Richtung und Stärke von Strömungen sowie den möglichen Eisdruck erforderlich.

Auch Korrision und Sandschliff spielen eine Rolle. Um das Schwingungsverhalten eines Turmes bei periodischer Wellen- und Windbelastung zu ermitteln, ist außer der Kenntnis seiner Eigenfrequenz eine genaue Beschreibung des zeitlichen Verlaufes der Wind- und Wellenkräfte, vor allem auch der Entfaltungsdauer einer Sturmbö, erforderlich. Solche Unterlagen fehlen noch in den meisten Fällen. Die Eigenfrequenz eines Turmes läßt sich probeweise z. B. aus Schiffsstößen feststellen.

5.2 Der Eisdruck spielt in unseren Breitengraden bereits eine erhebliche Rolle. Über ihn herrscht allgemein noch keine endgültige Klarheit. Zu den verschiedenen Eisqualitäten tritt die Abhängigkeit der Eisfestigkeit von der jeweiligen Temperatur und die Aufbereitung des Eises durch ständigen Tidewechsel oder Seegang. Zu berücksichtigen ist ferner der Einfluß von Größe und Form der vom Eis getroffenen Bauwerksfläche sowie der dynamische Beitrag aus Strömung und Wellen. Z. Z. wird an der deutschen Küste mit 50 — 100 Mp/m² projizierter Bauwerksfläche im Hauptangriffsbereich des Eises gerechnet. Unter diesem hohen Eisschub müssen die Angriffsflächen so klein wie möglich gestaltet werden, d. h. es sind schmale Türme vorzusehen. Andererseits werden aufgelöste Konstruktionen wie offene Gerüste oder hochliegende Pfahlroste dann bedenklich, wenn Gefahr besteht, daß sich deren Zwischenräume mit Eis verpacken und damit große widerstehende Flächen entstehen.

5.3 Sind Kolke durch Baukörper selbst oder durch das Bauverfahren zu erwarten, muß man ihr Entstehen in die Betrachtung einbeziehen oder Maßnahmen ergreifen, die sie verhindern. Dazu muß man wissen, welche Ausdehnung solche Kolke nach Tiefe und Weite erreichen können. Hierzu fehlt uns leider heute noch jede konkrete Unterlage. Bei längerer Dauer der Einwirkung wurden im Mündungsbereich der Elbe bereits Kolktiefen bis zu 10 m und mehr erreicht. Aber dies ist zweifellos nicht der höchstmögliche Wert. Bei Pfählen kann man allgemein nur mit einer Kolktiefe gleich dem Pfahldurchmesser rechnen. Bei großflächigen Gründungskörpern spielt ihre Form eine entscheidende Rolle. Runde Formen sind eckigen vorzuziehen. Bei beweglichen Sohlen sind Kolkungen während der Bauausführung selten zu vermeiden. Am fertigen Bauwerk ist aber dafür Sorge zu tragen, daß die Sohle im Bereich des Bauwerkes durch eine Oberflächensicherung gehalten wird; sie besteht in der Regel aus 1 m dicken Sinkstücklagen, die durch Wasserbauschüttsteine beschwert werden.

5.4 Für Baustellen auf hoher See kann auf ein festes Arbeits- und Absenkgerüst meist nicht verzichtet werden, will man von Tide und Seegang unabhängig sein. Notwendig wird es aber, wenn sich der Standort des Turmes vor einer flachen Luvküste, vollkommen offen und ungeschützt gegen die Hauptwind- und -wellenrichtung, befindet. Oft ist ein Gerüst überhaupt die Voraussetzung dafür, Termine zu halten, die gewünschte Genauigkeit der Position und Stellung zu erzielen und ganz allgemein den Erfolg der Baumaßnahmen sicherzustellen.

5.5 Gerüste sind bei Sturmfluten und Eisgang besonders gefährdet und deshalb entsprechend schwer auszubilden und hochliegend anzuordnen. Dann wird aber jeder derartige Gerüstbau seinerseits zu einem besonderen Ingenieurbauwerk. Je nach der Entfernung vom nächsten Versorgungshafen werden die Ingenieure und Arbeiter auf solchen Gerüsten auch wohnen und wirtschaften müssen. Versorgungsschiffe sind zusätzlich in ausreichender Zahl vorzuhalten. Solche Hilfsbauwerke dienen aber nicht nur als Basis für die Belegschaft, sie müssen auch sämtliche Einrichtungen für die Baudurchführung aufnehmen. Hier hat sich der Einsatz von Hubinseln bewährt. Eine Hubinsel kann

in ihrer Höhenlage sehr gut den jeweiligen Arbeits- und Montagevorgängen angepaßt werden und läßt sich unter den Verhältnissen vor der deutschen Küste so hoch aus dem Wellenbereich herausheben, daß sie eine von Strömung und Seegang weitgehend unabhängige Arbeitsplattform bietet. Lediglich Baustoff- und Personentransporte werden dann durch Wind und Seegang beeinträchtigt; sie sind mitunter über mehrere Tage hinweg — auch im Sommer — nicht möglich. Das Hauptrisiko liegt im Antransport der Hubinsel mit fertigen Bauteilen. Der Einsatz einer Hubinsel ist jedoch wegen ihrer umfangreichen Einrichtungen teuer und daher nur für größere Bauobjekte vertretbar.

5.6 Die vollständige Fertigung einer Stahlkonstruktion an Land und ihre Einspülung in einem Stück kann beträchtliche wirtschaftliche Vorteile gegenüber dem Einsatz einer Hubinsel bringen, setzt jedoch wegen der großen, weit über der Wasserlinie abzufangenden Gewichte eine ruhige Wetterlage voraus. Dadurch können erhebliche Wartezeiten mit Bereithalten aller benötigten Geräte entstehen. Außerdem ist es kaum möglich, ein solches Bauwerk in einem Stück genau in Position zu bringen. Eine Aufteilung in mindestens 2 Abschnitte, die nacheinander eingebracht und verschraubt werden, ist daher zu empfehlen, sie ermöglicht auch jederzeit eine Korrektur der senkrechten Lage.

5.7 Für Antransport, Absetzen und Absenken oder Montage großer Fertigteile gibt es im wesentlichen vier Möglichkeiten:

5.7.1 Das Fertigteil wird so konstruiert, daß es selbst schwimmt und mit Schleppern zur Baustelle verholt wird. Das Absetzen und Absenken kann dann vor Anker geschehen, wobei u. U. eine Leithilfe gegeben wird.

5.7.2 Das Fertigteil wird auf einem Ponton entsprechender Abmessungen hergestellt und zur Einbaustelle transportiert, wo es von Absetzgeräten, z. B. einer Hubinsel, übernommen wird.

5.7.3 Das Fertigteil wird an Land gefertigt, von einer Hubinsel übernommen und mit dieser an die Einbaustelle geschleppt. Nach dem Einrichten und Hochjacken der Insel wird es abgesetzt.

5.7.4 Das Fertigteil wird an Land von einem Schwimmkran übernommen und in diesem hängend und evtl. den Eigenauftrieb ausnutzend herangebracht und abgesetzt.

Die beschriebenen Bauten haben alle Verfahren mit Erfolg erprobt. Welches Verfahren das technisch und wirtschaftlich optimale ist, hängt von den örtlichen Verhältnissen, Art und Form des Bauwerkes u. dgl. ab. Die Größe der Absenkstücke selbst richtet sich dabei nach der Tragfähigkeit der zur Verfügung stehenden Hubinseln, Schwimmkrane oder sonstigen Hebezuge.

5.8 Das Einbauverfahren bestimmt schließlich auch, mit welcher Genauigkeit ein Turm errichtet werden kann. Für seine Wahl ist es daher von großer Bedeutung, welcher Grad an Genauigkeit, nicht nur in der Einhaltung der verlangten Position, sondern auch in der endgültigen Stellung nach Höhe, Richtung und Neigung verlangt wird. Hierfür sind zweifellos die seezeichentechnischen Forderungen maßgebend. Daneben können noch richtungsgebundene Anschlüsse für Versorgungseinrichtungen von Land her von Bedeutung sein. Auch früher ausgelegte Sohlensicherungen, die eine Aussparung für das Einsetzen des Turmes enthalten, müssen gelegentlich berücksichtigt werden. Die Einhaltung strenger Forderungen setzt voraus, daß feste Arbeitsplattformen verwendet werden, die ihrerseits sehr genau eingemessen sein müssen. Die Hochseevermessung ist bekanntlich schwierig, geeignete Peilmarken sind oft nicht verfügbar. Die Forderungen an die Genauigkeit einer Turmstellung dürfen daher nicht zu hoch geschraubt werden, abgesehen davon, daß bei einer größeren zugelassenen Toleranz u. U. auch erhebliche Kosten eingespart werden können.

Schrifttumsverzeichnis

RUDELOFF: 50 Jahre Leuchtturm „Roter Sand", Zentralbl. d. Bauverw. 1936, Heft 16.

WIEDEMANN, G., BURGHART, W.: Die Leuchtfeuerneubauten im Küstengebiet der Bundesrepublik Deutschland in den Jahren 1952 bis 1962, Hansa 101 (1964), S. 439—447.

SCHAUBERGER, H., ROLLMANN, A.: Schiffahrtzeichen der Außenweser und Grundlagen für den Ersatz des Leuchtturmes „Roter Sand", Hansa 101 (1964), S. 2402—2412.

SMOLTCZYK, H. U.: Statische und konstruktive Fragen beim Bau des Leuchtturmes „Alte Weser", Bautechnik 41 (1964), S. 1—11.

HAUSCHOPP, G.: Der Bau des Leuchtturmes „Alte Weser", Baumaschine und Bautechnik 11 (1964), S. 1—11.

SCHWITTERS, J.: Leuchtfeuerträger aus stählernen Großrohren, Deutscher Beitrag zur VII. Intern. Techn. Seezeichenkonferenz Rom 1965.

BIESKE, H.: Stromversorgung der Leuchttürme Falshöft und Kalkgrund, Hansa 101 (1964) Nr. 5.

HARTUNG, W.: Bau des Leuchtturmes „Kalkgrund" vor der Flensburger Förde, Bautechnik 42 (1965), S. 73—78. — Der Bau des Leuchtturmes Kiel, Der Monierbauer (1965), Heft 3, (1966), Heft 3.

THOMAS, H.: Neuer Aluminium-Leuchtturm ersetzt Feuerschiff Kiel, Aluminium (1965), S. 778—781.

DAHME, H.: Leuchtturm Kiel, Hansa 103 (1966), S. 1267—1272.

SCHULZE, H., GUTSCHE, H.: Konstruktion und Bauausführung des Leuchtturmes Kiel, Sonderdruck der Beton- und Monierbau AG (1967).

GERLACH, W.: Bau eines Leuchtturmes in See mit Lotsenstation, Deutscher Beitrag zur VIII. Intern. Techn. Seezeichenkonferenz Stockholm 1970.

Versuchsanstalt für Wasserbau u. Schiffbau, Berlin: Modellversuche für Leuchtturm Kiel, 1. und 2. Teil, Bericht Nr. 215/62 und 232/62 (1962).

CICCOLELLA, J. A.: Tonnen? Oder feste Konstruktionen? The Engineer's Digest (1959) Nr. 117, S. 14 ff.

ROBINSON, A. K., WIMAN, K. G.: United States Coast Guard Offshore Light Station, AISM-Bulletin (1962) Nr. 15, S. 7—15.

OLSEN, J. A.: Construction of Ambrose Light Station, The Engineer's Digest (1968) Nr. 159, S. 1—9.

SWANSBOURNE, F. C.: A lighthouse for Milford Haven, Dock and Harbour Authority (1967) Heft 8, S. 112—114.

— Royal Sovereign light tower, Dock and Harbour Authority (1967), Heft 11, S. 207—210.

DANYS, J. V.: Leuchtturm Prince Shoal, Kanadischer Bericht zur VII. Intern. Techn. Seezeichenkonferenz Rom 1965.

JOGO, I.: Konstruktionsverfahren von Leuchtbaken, Japanischer Bericht zur VII. Intern. Techn. Seezeichenkonferenz Rom 1965.

WOISIN, G., GERLACH, W.: Beurteilung der Kräfte aus Schiffsstößen auf Leuchttürme in See, Deutscher Bericht zur VIII. Intern. Techn. Seezeichenkonferenz Stockholm 1970.

Abteilung II — Seeschiffahrt

Thema 2:

Mittel zur Bekämpfung der Sandwanderung längs der Küsten, um den Schutz der Strände, Dünen, Flußmündungen und Hafeneinfahrten sicherzustellen. Herstellung von künstlichen Stränden.

Dipl.-Ing. Eberhard Garrelts, Ltd. Regierungsbaudirektor Wasser- und Schiffahrtsdirektion Aurich; Dipl.-Ing. Hermann Harten, Bundesanstalt für Wasserbau; Dr.-Ing. Günter Hovers, Oberregierungsbaurat Wasser- und Schiffahrtsamt Bremerhaven; Dr. rer. nat. Fritz Lucht, Wasser und Schiffahrtsdirektion Hamburg; Dipl.-Ing. Horst Oebius, Versuchsanstalt für Wasserbau und Schiffbau, Berlin; Dipl.-Ing. Friedrich Ohlmeyer, Bundesanstalt für Wasserbau; Dr.-Ing. Hans Rohde, Ltd. Regierungsbaudirektor Bundesanstalt für Wasserbau; Dipl.-Ing. Joseph Sindern, Regierungsbaudirektor Wasser- und Schiffahrtsdirektion Kiel; Dr.-Ing. Hans-Joachim Vollmers, Regierungsbaudirektor Bundesanstalt für Wasserbau; Dipl.-Ing. Volker Wigand, Regierungsbaudirektor Wasser- und Schiffahrtsamt Wilhelmshaven.

Thema des Berichtes:

Die Ausbauten der Mündungsstrecken der deutschen Tideströme und deren Einfluß auf die Sandbewegung.

Zusammenfassung

Die Tideästuarien an der deutschen Nordseeküste sind die Zufahrten zu den wichtigsten deutschen Seehäfen. Mit Rücksicht auf die wachsenden Schiffsgrößen und die Zunahme der Zahl der verkehrenden großen Schiffe mußten diese Wasserstraßen im Laufe der Zeit ausgebaut werden. In der zweiten Hälfte des vorigen Jahrhunderts wurde zunächst mit dem Ausbau der Tideflüsse oberhalb ihrer Mündung begonnen, in der Elbe zwischen Hamburg und Stadersand, in der Weser zwischen Bremen und Bremerhaven, in der Ems zwischen Emden und der Knock. Die Entwicklung des Schiffsverkehrs machte immer neue Ausbauten mit weiter gesteckten Ausbauzielen notwendig. Dabei erstreckten sich die Ausbaumaßnahmen weiter stromabwärts bis in die Mündungsstrecken, die seewärtigen Bereiche der Ästuarien.

Für die Erhaltung der Ausbauwassertiefen spielt besonders in den seewärtigen Bereichen der Ästuarien die Sandbewegung eine erhebliche Rolle. Der Boden der südlichen Nordsee, in die die deutschen Tideströme münden, besteht vorwiegend aus feinem Sand. Aus dem Sandreservoir der südlichen Nordsee wird aus der küstenparallelen Sandbewegung unter dem Einfluß der Gezeitenströmungen Sand in die Ästuarien eingetrieben. Dieser Sand gelangt zum Teil weit in die Tideströme hinein, kommt zur Ablagerung und muß durch aufwendige Unterhaltungsbaggerungen beseitigt werden. Im Verhältnis zu dem von See eingetriebenen Sand spielt der aus den Niederschlagsgebieten oberhalb der Tidegrenzen der Ströme herantransportierte Sand besonders in den seewärtigen Bereichen der Ästuarien nur eine untergeordnete Rolle. Umfang und Art der Sandbewegung und -ablagerung sind in den einzelnen deutschen Tideästuarien unterschiedlich. Sie sind abhängig von den morphologischen und hydrologischen Bedingungen des jeweiligen Ästuars.

In der vorliegenden Arbeit werden die hydrologischen und morphologischen Verhältnisse der einzelnen deutschen Tideästuarien und deren Entwicklung geschildert. Es wird über die Maßnahmen berichtet, die in den seewärtigen Bereichen der Ästuarien bisher ausgeführt oder geplant sind, um die Sandbewegung zu beeinflussen und damit günstige Fahrwasserverhältnisse mit möglichst wirtschaftlichem Unterhaltungsaufwand zu erhalten. Im Abschnitt 2 (Oebius, Ohlmeyer, Vollmers) werden Ausführungen über allgemeine Erkenntnisse zur Sandbewegung, besonders in Ästuarien, ihre Kontrolle und die Möglichkeiten ihrer Beeinflussung durch künstliche Maßnahmen gemacht. Es werden Kriterien angegeben, die für die verschiedenen Erscheinungsformen der Gewässersohle maßgebend sind. Eine physikalische Deutung ist bisher noch nicht möglich. Bei der Beeinflussung der Sandbewegung zur Verbesserung der Fahrwasserverhältnisse wird zwischen der direkten Methode der Baggerung und der indirekten Methode unterschieden. Bei der indirekten Methode soll durch Baumaßnahmen auf die natürlichen Kräften unterworfene Querschnittsausbildung Einfluß genommen werden. Dabei ist zu unterscheiden zwischen den klassischen Mitteln der Strombauwerke und anderen Mitteln zur Beeinflussung der Sandbewegung, die in besonders gelagerten Fällen angewandt werden können.

Die Baggerung als Methode für Ausbau und Unterhaltung wird sich auch in den seewärtigen Bereichen der Ästuarien wohl nie ganz vermeiden lassen. Es muß aber das Ziel sein, durch Baumaßnahmen die natürliche Entwicklung so zu lenken, daß ein Zustand erreicht wird, der es erlaubt, eine für die Schiffahrt günstige stabile Lage der Fahrrinnen bei ausreichender Wassertiefe mit wirtschaftlich vertretbarem Baggeraufwand zu erhalten. Dabei wird das Maß der Vertretbarkeit des Aufwandes von der Bedeutung der betreffenden Schiffahrtstraße abhängig sein. Es dürfte auch bei dem heutigen Stande der Naßbaggertechnik aussichtslos sein, im äußeren Bereich eines Ästuars eine Fahrrinne völlig gegen die natürlichen Entwicklungstendenzen allein durch Baggerung halten zu wollen.

Zur Stabilisierung der Lage von Fahrrinnen in den Mündungsstrecken der deutschen Tideströme sind seit dem Ende des vorigen Jahrhunderts Strombauwerke — Systeme von Leitdämmen und Buhnen — gebaut worden. Die ersten derartigen Bauwerke wurden an der Außenweser — Abschnitt 3 (Hovers) — errichtet. Von größter Bedeutung für die Entwicklung der Fahrwasserverhältnisse war der Entschluß, von 1922 an den westlichen Arm der Stromspaltung als Fahrwasser auszubauen und das bisher benutzte Fahrwasser im östlichen Arm aufzugeben. Diesem Entschluß waren umfangreiche hydrologische Untersuchungen vorausgegangen, die die Tendenz der natürlichen Entwicklung erkennen ließen. Die damalige Entscheidung hat sich als richtig erwiesen.

Das System der Strombauwerke an der Außenweser ist mit den Forderungen an eine Verbesserung der Fahrwasserverhältnisse immer mehr ausgebaut worden und soll in Zukunft noch erweitert werden. 1909 bis 1937 wurde an der seewärtigen Einfahrt der Jade — Abschnitt 4 (Wigand) — ein System von Strombauwerken auf Minsener Oog errichtet, das die Verschiebung der tiefen Rinne nach Westen aufhalten und einen Teil des west-östlich transportierten Sandes festhalten sollte. Diese Ziele konnten weitgehend erreicht werden. Die Vertiefungen des Jadefahrwassers nach 1950 wurden ausschließlich durch Baggerungen erreicht. Dabei sind die besonderen Verhältnisse, die durch das große „Spülbecken" des Jadebusens gegeben sind, von ausschlaggebender Bedeutung. Die Strombauten an Außenweser und Jade sind bisher vorwiegend auf Grund empirischer Überlegungen nach intensiven hydrologischen Untersuchungen unternommen worden. Für die Planung weiterer Ausbauten ist ein Jade/Außerweser-Modell im Aufbau.

Die Fahrwasserverhältnisse der Außenelbe — Abschnitt 5 (Lucht, Vollmers) — waren bis zum 2. Weltkrieg für die Schiffahrt ausreichend. Erst 1938 wurde mit dem Bau eines Strombauwerkes, dem 9,25 km langen Leitdamm Kugelbake begonnen. Die hauptsächlichen Baumaßnahmen wurden von 1955 bis 1968 ausgeführt. Das Ziel der Stabilisierung des Fahrwassers konnte erreicht werden. Eine Verlängerung des Dammes ist vorgesehen. Im Verlaufe der Bauausführung des Leitdammes an der Elbemündung wurden einzelne Bauabschnitte durch Versuche an einem hydraulischen Modell mit fester Betonsohle überprüft. Die geplante Verlängerung des Leitdammes und die günstigste Linienführung der Mittelrinne wird an einem Modell mit beweglicher Sohle aus gekörntem Kunststoff untersucht.

Die Eider — Abschnitt 6 (Harten, Sindern) — hat für die Schiffahrt nur noch eine geringe Bedeutung. Die Abdämmung der Eider, die 1936 aus landeskulturellen Gründen erfolgte, bewirkte eine außerordentlich starke Versandung ihrer Tidestrecke, die sich allmählich bis in den Mündungsbereich fortsetzte. Ein mündungsnahes Sperrbauwerk, das die Eiderniederung vor Sturmfluten schützen soll, ist zurzeit in Bau. Um Schiffahrt und Vorflut aufrecht zu erhalten, wurde mit Hilfe von Modellversuchen eine Spülmethode entwickelt: Durch Speicherung der gesamten Tidewassermenge und ihren Auslaß bei Ebbe nach einer Rückhaltezeit soll ein Spülstrom erzeugt werden, der unterhalb des Sperr- und Schleusenbauwerkes eine ausreichende Rinne offenhält und oberhalb eine weitere Versandung verhindert. Mit dem Spülbetrieb kann voraussichtlich 1973 begonnen werden.

In der Ems — Abschnitt 7 (Garrelts, Ohlmeyer) — sind 2 voneinander sehr unterschiedliche Abschnitte vorhanden. Auf den unteren Abschnitt wirkt sich die Wassermenge des Dollart so aus, daß hier die notwendigen Fahrwassertiefen mit vertretbarem Baggeraufwand ohne zusätzliche Strombaumaßnahmen gehalten werden können. Große Massen müssen dagegen im oberen Abschnitt zwischen Emden und der Knock (Abb. 1), dem Emder Fahrwasser, ständig gebaggert werden. Um den Baggeraufwand herabzumindern, sind in diesem Abschnitt Strombauwerke ausgeführt worden. Mit Hilfe von Modelluntersuchungen wurden Überlegungen angestellt, die Fahrwasserverhältnisse der Ems zu verbessern und zugleich eine Einschränkung der Baggermassen zu erreichen. Dabei wurden sowohl Leitwerke und Buhnen im unteren Abschnitt als auch ein Spülbetrieb in dem oberen Abschnitt und die Verlagerung der Brackwasserzone durch Umleitung der Ems durch den Dollart untersucht. Die Versuche und Planungen sind noch nicht abgeschlossen.

Die Ausführungen des Berichtes zeigen, daß es allgemein gültige Richtlinien für den Ausbau von Tideströmen nicht gibt. Baggerungen und Bauwerke zur Beeinflussung der Sandbewegung müssen als Ausbaumittel einander sinnvoll ergänzen. Welche Maßnahmen im einzelnen für den Ausbau jeweils angewendet werden, ist in starkem Maße von den morphologischen und hydrologischen Verhältnissen des betreffenden Ästuars abhängig. Wichtige Hilfsmittel für die Ausbauplanungen, auf die nicht verzichtet werden kann, sind wasserbauliche Modellversuche, bei denen die Entwicklung zu Modellen mit beweglicher Sohle geht, sowie in Zukunft in verstärktem Maße mathematisch-numerische Berechnungen. Grundlage aller Ausbauplanungen ist aber die genaue Untersuchung der natürlichen morphologischen und hydrologischen Verhältnisse der betreffenden Ästuarien, um großräumige Entwicklungen zu erkennen und die künstlichen Maßnahmen diesen Tendenzen anpassen zu können. Außerdem ist die Kenntnis der Mechanismen der Feststoffbewegung in den Ästuarien sowie die gegenseitige Beeinflussung aller hydrologischen Faktoren von ausschlaggebender Bedeutung. Diese Kenntnisse sind noch lückenhaft. Es bedarf hier noch erheblicher grundlegender Forschungen durch Untersuchungen in der Natur, im Labor und in der Theorie.

Inhalt

	Seite
1. Vorbemerkungen	200
2. Grundlegende Betrachtungen	202
2.1. Erscheinungsformen der Gewässersohle	202
2.2. Kontrolle der Sandbewegungen	205
2.3. Beeinflussung der Sandbewegungen	206
3. Der Ausbau der Außenweser	208
3.1. Das Stromgebiet der Außenweser	208
3.2. Der Ausbau der Außenweser bis zum Jahre 1922	209
3.3. Die Ausbaumaßnahmen von 1922 bis zur Gegenwart	210
4. Der Ausbau des Jadefahrwassers	212
4.1. Die natürlichen Verhältnisse der Jade	212
4.2. Die Ausbaumaßnahmen bis 1939	213
4.3. Die Entwicklung seit 1945	215
5. Die Maßnahmen in der Außenelbe	216
5.1. Das Stromgebiet der Außenelbe	216
5.2. Der Leitdamm Kugelbake	217
5.3. Modellversuche	219
6. Die Versandung der Eider und die Maßnahmen zu ihrer Beeinflussung	220
6.1. Die Entwicklung der Verhältnisse	220
6.2. Die Maßnahmen zur Beeinflussung der Sandbewegung	222
7. Ausbauten und Ausbauplanungen an der Ems	224
7.1. Die bisher ausgeführten Ausbaumaßnahmen	224
7.2. Untersuchungen für künftige Ausbauten	225
8. Folgerungen	227

1. Vorbemerkungen

Die Mündungsstrecken der deutschen Tideströme (Abb. 1) sind als Zufahrten zu den wichtigsten deutschen Seehäfen seit dem Ende des vorigen Jahrhunderts durch immer weitere Ausbauten den ständig wachsenden Schiffsgrößen angepaßt worden (20). Durch die Ausbauten wurde in starkem Maße in die Sandbewegungsvorgänge eingegriffen, da der Boden der südlichen Nordsee im Mündungsbereich der deutschen Tideströme vorwiegend aus Feinsand besteht (11), der durch die in den Ästuarien wirkenden natürlichen Kräfte — z. B. Gezeitenströmung und Wellen — bewegt wird und Umlagerungen unterworfen ist. Daher ist für die Ausbauten wie auch für die Erhaltung der Ausbautiefen die Kenntnis der Sandbewegung und ihrer Mechanismen von großer Bedeutung.

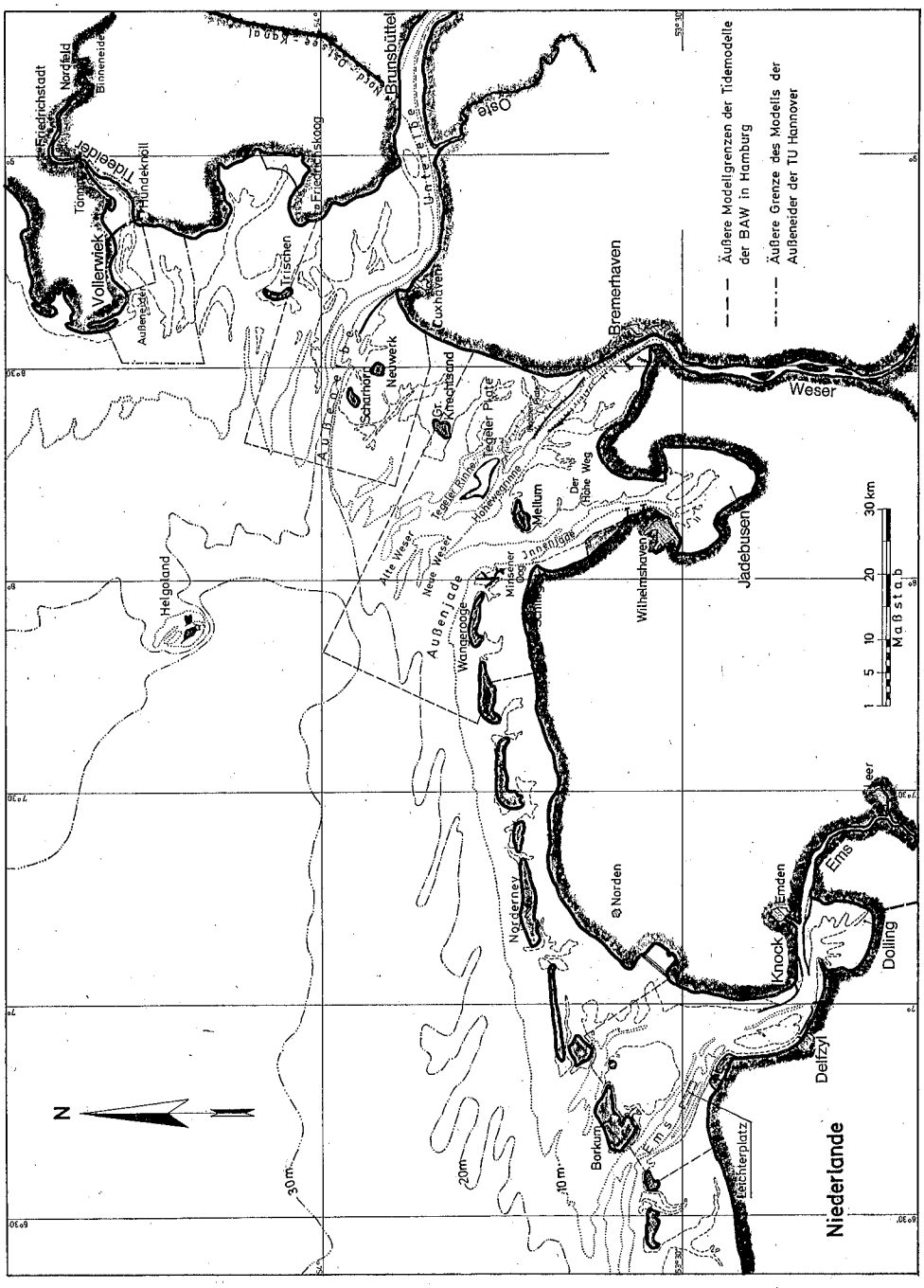


Abb. 1: Übersichtskarte der deutschen Nordseeküste zwischen Ems und Eider

Der vorliegende Bericht behandelt die in den einzelnen Tideästuarien (Abb. 1) ausgeführten und geplanten Ausbaumaßnahmen. Die jeweiligen Ausbaumethoden, die nach vorausgegangenen genauen Naturbeobachtungen, Modellversuchen und theoretischen Berechnungen zur Anwendung kamen, sind stark von den unterschiedlichen hydrologischen und morphologischen Verhältnissen der einzelnen Ästuarien abhängig. Deshalb sind in Tabelle 1 einige hydrologische Daten der deutschen Tideästuarien zusammengestellt.

2. Grundlegende Betrachtungen

2.1. Erscheinungsformen der Gewässersohle

v	Strömungsgeschwindigkeit	[cm/s]
u_*	Schubspannungsgeschwindigkeit	[cm/s]
L	Länge	[cm]
D	charakteristischer Korndurchmesser	[cm]
$\rho s;\rho$	Dichte des Materials, des Wassers	[g/cm³]
ρ'	relative Dichte des Materials $= \frac{\rho s-\rho}{\rho}$	[1]
g	Normfallbeschleunigung	[cm/s²]
ν	kinematische Zähigkeit	[cm²/s]
D_*	sedimentologischer Durchmesser $= \left(\frac{\rho' \cdot g}{\nu^2}\right)^{\frac{1}{3}} \cdot D$	[1]
Re_*	Reynolds-Zahl $= \frac{u_* \cdot D}{\nu}$	[1]
Fr	Froude-Zahl $= \frac{v}{\sqrt{g \cdot L}}$	[1]

Der Feststofftransport in Tideregimen gehört zu den besonders komplexen Vorgängen, da Beschleunigung und Verzögerung der Strömung Erosion und Sedimentation beeinflussen. Formelmäßige Zusammenhänge dafür sind bis heute nicht bekannt. Der Feststofftransport im Gewässer vollzieht sich sowohl als Transport in Suspension als auch als Sohltransport. Es ist zwischen dem Transport bei ebener Sohle und dem Transport in Transportkörpern zu unterscheiden. Die Transportkörper als Erscheinungsformen der Gewässersohle sind dabei von ebenso großer Bedeutung wie der Transportvorgang selbst. Die Abmessungen der Sohlformen können bei der Beurteilung der Solltiefe für die Schifffahrt eine wesentliche Rolle spielen.

Für die Klassifizierung der Sohlformen gibt es in den verschiedenen wissenschaftlichen Disziplinen auch verschiedene Begriffe, die außerdem in den einzelnen Ländern unterschiedlich sind. Unter der Grundvoraussetzung, daß das Auftreten der verschiedenen Sohlformen ein physikalischer Vorgang ist, lassen sich allgemein vier Stadien der Sohle eines offenen Gerinnes unterscheiden:

a) Riffel ..... ($Fr \ll 1$)

b) Ebene Sohle, flaches Bett ..... ($Fr < 1$)

c) Dünen, Großriffel ..... ($Fr < 1$)

d) Antidünen ..... ($Fr \geq 1$)

	Niederschlagsgebiet		Oberwasserzufluß				Entfernung und Fahrwassertiefe				
	Gesamt F_N	Tidegeb. F_{NT}	MQ	NNQ	HHQ	$\frac{NNQ}{HHQ}$	Von See bis ...	Länge	vorhandene Wassertiefe unter SKN	MThb 1956/65	mittlere Flutwassermenge T_f
	km²	km²	m³/s	m³/s	m³/s	m³/s		km	m	cm	$10^6 m^3$
Ems	15 030	5 870	80	5	1 200	$\frac{1}{240}$	Möwensteert	35	11,5	229	780
				Versen			Emden	70	8,5	298	45
							Herbrum	125	3,2	174	0
Jade	1 100	1 100	~0	~0	~0	—	Wilhelmshaven	47	17,9/16,7	369	400
Weser	46 340	8 130	310	50	3 500	$\frac{1}{70}$	Bremerhaven	60	12,0	345	140
				Intschede			Bremen	120	8,0	341	15
							Hemelingen	130	3,5	320	0
Elbe	148 500	13 560	700	130	3 900	$\frac{1}{30}$	Cuxhaven	36	12,0	287	650
				Darchau			Hamburg	135	12,0	252	70
							Geesthacht	173	2,5	95	0
Eider	2 075	343	(14)	~0	(140)	—	Hundeknöll	25	2,5	312	35
				Nordfeld			Tönning	38	2,0	302	12
							Nordfeld	59	2,0	225	0

Tabelle 1: Hydrologische Kennwerte der deutschen Tideästuarien

„Riffel" (Kleinformen) sind unregelmäßige Sohlunebenheiten. „Dünen" (Großformen), vielfach auch Großriffel genannt, haben eine regelmäßige Form, die die Richtung der überwiegenden Strömungskomponente klar erkennen läßt. Daneben kommt auch die Kombination „Dünen, von Riffeln überlagert" vor. „Antidünen" treten bei überkritischer Strömung auf und bewegen sich gegen die Strömungsrichtung.

Eine physikalische Erklärung für das Auftreten der verschiedenen Sohlformen ist bis heute nicht bekannt. Es wurden aber von vielen Autoren Kriterien entwickelt, die eine Abgrenzung der Erscheinungsform in Abhängigkeit von dimensionslosen Parametern gestatten. Auf die zahlreichen Möglichkeiten kann hier nicht eingegangen werden. Eine gute Zusammenstellung der meisten bisher bekannten Methoden wurde in (12) gegeben.

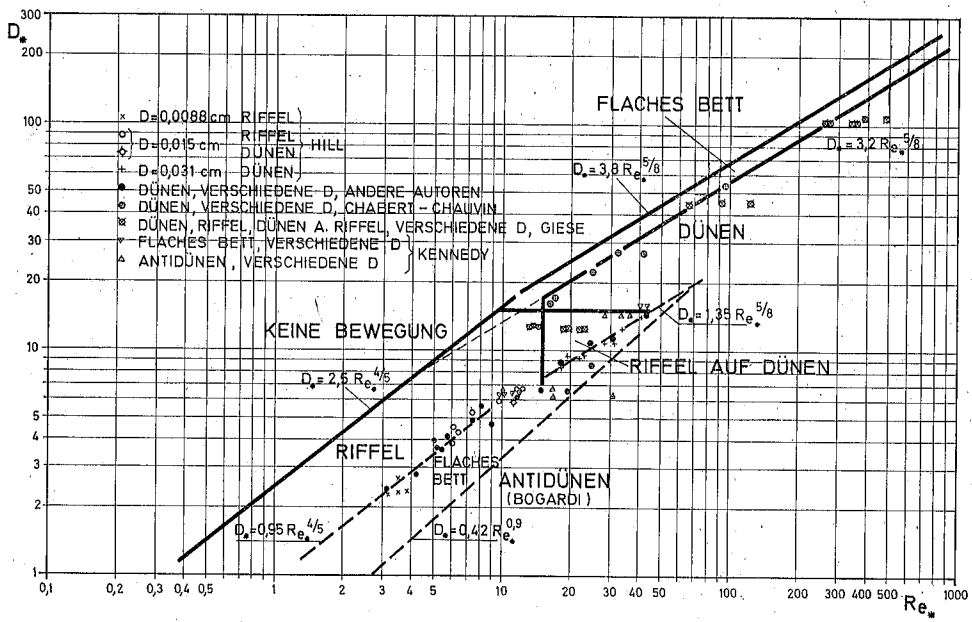


Abb.2: Die Erscheinungsformen der Gewässersohle in Abhängigkeit von dimensionslosen hydraulischen Parametern bei richtungskonstanter Strömung

Eine praktische Möglichkeit zur Definition der Erscheinungsform läßt sich mit den Parametern Re_* und D_* aufzeigen. Die in (1) und (23) genannten Kriterien sind in Abb. 2 enthalten. Man erkennt, daß der Korndurchmesser bei der Abgrenzung der einzelnen Bereiche eine wesentliche Rolle spielt. Unterhalb von $D_* \sim 8$ ($\triangleq D \sim 0{,}03$ cm) treten nur „Riffel" auf, während im Bereich $8 < D_* < 15$ „Riffel" und „Riffel auf Dünen" auftreten können. Dieser Bereich entspricht einer Korndurchmesserskala 0,03 cm $< D <$ 0,06 cm. Mit diesen Kriterien läßt sich für die deutschen Tideströme folgende Übersicht aufstellen:

Strom	D (cm)	Sohlenbeschaffenheit
Ems	0,02	Kleinformen
Jade	0,05	Großformen
Weser	0,05	Großformen
Elbe	0,05	Großformen
Eider	0,01	Kleinformen

Es muß aber gesagt werden, daß die vorstehenden Bemerkungen nur allgemeine Hinweise geben können, da die bisherigen Untersuchungen lediglich für richtungskonstanten Abfluß gelten. Außer den genannten Sohlformen sind als Transportkörper besonderer Art in den Ästuarien noch die Barren, Platen oder Sände zu erwähnen, die für die Morphologie der Ästuarien eine große Bedeutung haben, und deren Verlagerungen sich in relativ großen Zeitspannen vollziehen.

2.2. Kontrolle der Sandbewegungen

Die Kontrolle des Feststofftransports ist eine wichtige Voraussetzung für die Planung und Durchführung von Baumaßnahmen zum Schutz und Erhalt der Schiffahrtswege. Es ist bisher nicht gelungen, Methoden und Geräte zu entwickeln, die die modernen Anforderungen bezüglich Genauigkeitsgrad und Aussagewert in jeder Weise erfüllen. Es bleibt daher vorerst nur eine Kombination mehrerer Methoden übrig. Ganz allgemein gibt es zwei Möglichkeiten, die Sandbewegung zu kontrollieren:

1. Naturmessungen mit geeigneten Verfahren
2. Modellversuche

Zur Kontrolle des Sedimenttransportes in der Natur gibt es drei Methoden:

a) Direkte Messung mit geeigneten Geräten
b) Messung mit Leitstoffen
c) Vergleichende Gebietsaufnahme.

Die erste Methode wird in Binnenregimen praktiziert, im Tidegebiet läßt sich die Sohlbewegung kaum ungestört feststellen.

Die bekannteste Methode der Sedimentbewegungskontrolle im deutschen Küstenbereich ist zur Zeit die der Messung mit radioaktiven und lumineszierenden Tracern (16). Bei radioaktiven Leitstoffen wird bisher meistens die Oberflächenmarkierung eines Natursandes angewandt. Im allgemeinen hat dieses Verfahren den Nachteil, daß kein definierter Zusammenhang zwischen der Aktivität des Korns und seiner Masse besteht, um die Transportgeschwindigkeit des Korns exakt festzulegen. Volumenproportionale Markierung, z. B. durch Thermodiffusion, ist bisher für die benötigten Sandmengen und die Gleichzeitbedingung der Aktivierung nicht möglich. Ein anderes, bereits getestetes Verfahren nach der Zählratenbilanz von SAUZAY (in [16]) hat den Nachteil eines sehr großen technischen Aufwandes, der in keinem Verhältnis zum Ergebnis steht. Dennoch ist diese Methode zur Zeit die einzige, die auch quantitative Aussagen über die Sandbewegung gestatten würde, da mit ihrer Hilfe auch die Dicke der bewegten Schicht ermittelt werden kann. An einer Verbesserung dieses Verfahrens wird gearbeitet. Luminoforen als Leitstoffe haben den Vorteil, daß mit ihnen das Sediment zeitunabhängig und verschiedenartig markiert werden kann. Da die Verfolgung des markierten Materials allerdings nur mit Hilfe von Bodenproben möglich ist, ist dieses Verfahren ziemlich zeitaufwendig. Bei Entnahme von ungestörten Bodenproben jedoch gestattet diese Methode einen Einblick in die Form des Sedimenttransportes, wenn verschiedenfarbige Luminoforen in definierten Zeitabständen nacheinander eingebracht werden. Zusätzliche Informationen lassen sich durch sedimentpetrografische und granulometrische Untersuchungen gewinnen.

Vergleichende Gebietsaufnahmen können zur Kontrolle der Sedimentbewegung herangezogen werden. Die Höhenaufnahme erfolgt dabei durch Lotung (Echolot) oder bei trockenfallenden Flächen mit Hilfe nivellitischer Aufmessung oder Luftbildkartierung nach dem Wasserlinienverfahren. Aus der Verschiebung der Höhenlinien oder aus Tiefenänderungsplänen (14) kann in Verbindung mit einer planimetrischen Auswertung auf

den langfristigen Sedimenttransport geschlossen werden. Zeit-Weg-Linien geben für ein bestimmtes Profil die Veränderung der Höhenlinien als Funktion von Zeit und Entfernung von einem Nullpunkt (Weg) (7).

Modellversuche sind ein Hilfsmittel zur Kontrolle des Feststofftransports. Während Vorgänge mit richtungskonstantem Abfluß schon länger durch Modelle simuliert werden, ist diese Technik für großflächige Untersuchungen von Tideströmen nicht so geläufig, da die Übertragbarkeit auf Naturverhältnisse gerade bei Modellen mit fester Sohle schwierig ist. Inzwischen haben jedoch neuere Erkenntnisse in der Ähnlichkeitsmechanik (4) und verbesserte Meßmethoden den Weg gezeigt, auch Modelluntersuchungen mit beweglicher Sohle als Mittel zur Abschätzung des Feststofftransportes einzusetzen (5).

Bei Modellen mit fester Sohle zur Kontrolle und Voraussage von Sandbewegung spielt die Meßtechnik die entscheidende Rolle, da in diesem Fall der Umweg über die örtliche Strömungsgeschwindigkeit gewählt werden muß. Durch schrittweise Anpassung der festen Sohle an die aus den Strömungsparametern vermuteten Änderungen der Morphologie, läßt sich ein Endzustand annähernd vorausbestimmen. Modelle mit beweglicher Sohle haben demgegenüber den großen Vorteil, daß die Veränderungen in der Morphologie unmittelbar verfolgt werden können. Sie haben den Nachteil, daß es gewöhnlich langjähriger Erfahrungen bedarf, um derartige Modelle ohne großen Zeitaufwand naturähnlich einspielen zu können. Ist dies jedoch einmal geschehen, können innerhalb weniger Tage Zeiträume simuliert werden, die in der Natur Jahre und Jahrzehnte bedeuten. Neben der Verfolgung unmittelbarer Vorgänge werden dadurch auch Voraussagen langfristiger Umlagerungen und Zustände möglich. Damit rechtfertigt das Ergebnis auch den kostspieligen Modellaufbau und die lange Versuchsdauer, zumal für besonders wichtige Regionen des Küstenraumes Normmodelle gebaut werden können, die für wiederholte Untersuchungen unter verschiedenen Bedingungen zur Verfügung stehen.

Zusammenfassend läßt sich sagen, daß die Feststoffbewegung bisher nicht befriedigend direkt bestimmt werden kann. Für den jeweiligen speziellen Fall läßt sich nur durch eine sinnvolle Kombination der beschriebenen Verfahren unter Beachtung der bekannten physikalischen oder empirischen Grundlagen eine optimale Beurteilung aufstellen. Das bedeutet ein gewissenhaftes Studium des Untersuchungsgebietes anhand von historischen Karten, Peilplänen, Kartierungen und Zeit-Weg-Linien zum Verständnis der Langzeitveränderungen, direkte Messungen, um die Nullzeitbewegung des Sediments festzuhalten und darauf aufbauend Modellversuche.

2.3. *Beeinflussung der Sandbewegungen*

Die Mittel und Methoden einer Verbesserung der Fahrwasserverhältnisse im Tidebereich sind vielfältig. Grundsätzlich lassen sie sich in zwei Hauptgruppen einteilen: direkte und indirekte. Die direkte Methode, die Erweiterung (meist Vertiefung) einer Rinne durch Baggern führt zwar unmittelbar zum Ziel, ist aber vielfach teuer, da ständige Sandeintreibungen und Sohlumlagerungen einen laufenden Baggerbetrieb erfordern. Entscheidend für die Wirtschaftlichkeit ist, wo und wie gebaggert wird. Durch die indirikte Methode soll mit Hilfe von Baumaßnahmen auf die natürlichen Kräften unterworfene Querschnittsausbildung Einfluß genommen werden. Beide Methoden werden sich im allgemeinen zweckmäßigerweise ergänzen müssen.

Im Hinblick auf die eingangs genannten Erscheinungsformen der Sandbewegung gibt es bei der indirekten Methode eine Reihe von Regelungsprinzipien zur Querschnittsgestaltung und damit günstigen Beeinflussung der Strömungsverhältnisse zur Verringerung des Baggeraufwandes. Meistens ist dabei eine seewärts gerichtete Sandverfrachtung das Ziel oder die Einschränkung des Sandtransports schlechthin. Dabei soll, soweit wirt-

schaftlich vertretbar, die Gesamtsedimentation so gering wie möglich gehalten werden. Mittel dazu sind:

1. *Buhnen.* Einschränkung der Abflußbreite bei Tnw, Stabilisierung der Ufer.

2. *Längswerke, Leitwerke.* Stabilisierung der Ufer, Einschränkung der Abflußbreite. Sie legen Sandplaten fest, verhindern das Ausweichen der Rinnen und die Bildung von Stromspaltungen mit Ebbe- und Flutrinnen, hemmen Quereintreibungen von Sand in die Fahrrinne.

3. *Abdämmung von Nebenrinnen* dienen ebenfalls der Zusammenfassung des Abflusses in einer Rinne.

4. *Begradigungen* bewirken eine Verringerung der Reibungswiderstände.

Derartige „klassische" Regelungsmaßnahmen wurden zunächst in den Tideflüssen oberhalb der Mündungsstrecken ausgeführt, in der Weser, der Elbe und Ems (20) in der 2. Hälfte des vorigen Jahrhunderts und zwar allein auf Grund von theoretischen Überlegungen und praktischen Erfahrungen und ohne vorherige Modellversuche. Im seewärtigen Teil der Tidegewässer ist es dagegen erheblich schwerer — nur auf Grund von theoretischen Überlegungen und der Erfahrungen im flußartigen Teil — die Wirkung solcher künstlichen Eingriffe auf die Strömungsverhältnisse und die Rinnengestaltung vorauszusagen. Das ist vor allem darauf zurückzuführen, daß die einen Tidestrom begrenzenden Wattgebiete mit diesem eine hydrologische Einheit bilden. Trotzdem sind solche Regelungsmaßnahmen seit Anfang dieses Jahrhunderts in der Außenweser und der Außenjade und später auch in der Außenelbe ausgeführt worden (20).

Neben den oben unter 1. bis 4. genannten klassischen Methoden bestehen weitere, zum Teil neuartige und erst in jüngster Zeit realisierbare Möglichkeiten zur Beeinflussung der Sandbewegung und damit zur Verbesserung der Schiffahrtswege im Tidebereich:

5. *Vergrößerung des Flutraumes,* z. B. durch Anlage neuer tideoffener Hafenbecken oberhalb der Regulierungsstrecke. Dadurch wird eine Zunahme der Tidewassermenge erreicht, die zu einer Ausräumung der Querschnitte führt. Diese Methode läßt sich bei dem Ausbau des Hamburger Hafens zwischen 1880 und 1915 erkennen (20) (z. B. auch Abb. 10 f).

6. *Freispülen* mit Hilfe eines Sperrwerkes, wobei der Ebbestrom einige Zeit zurückgehalten wird und dann mit erhöhtem Gefälle einen intensiven Spülstrom erzeugt (Abb. 10 c).

7. Verlagerung der *Brackwasserzone,* die eine zusätzliche Sedimentation und eine Intensivierung des Flutstroms an der Sohle bewirkt, durch Umleitung des Süßwasserzuflusses (z. B. Abb. 10 e).

8. *Neuanschluß* eines Hafens oder einer Flußstrecke an das tiefe Fahrwasser unter Umgehung sedimentationsgefährdeter Flußstrecken.

   a) T i d e o f f e n e r S e e k a n a l (geringe Eintreibung, da nur durch relativ geringen Füllstrom bei Flut verursacht) oder

   b) K a n a l m i t S e e s c h l e u s e (keine Eintreibungen).

Während die Möglichkeit 8 eine Umgehung des Sedimentationsbereichs vorsieht, kann durch die übrigen 7 Methoden die Querschnittsgestaltung aktiv beeinflußt werden.

Welcher dieser Methoden, ggf. im Zusammenwirken mit Baggerungen, der Vorzug zu geben ist, wird durch die örtlichen Verhältnisse bestimmt. In den folgenden Abschnitten

wird jeweils erläutert, welche der genannten Regelungsprinzipien zur Beeinflussung der Sandbewegung in den einzelnen deutschen Tideästuarien zur Anwendung gekommen sind oder in Zukunft ausgeführt werden sollen.

3. Der Ausbau der Außenweser

3.1. Das Stromgebiet der Außenweser

Die Außenweser ist die seewärtige Zufahrt des Hafens Bremerhaven und zur Unterweser mit den Häfen Nordenham, Brake und Bremen. Der erste Ausbau der Unterweser nach Plänen von FRANZIUS, die Unterweserkorrektion, begann schon 1883. Stromspaltungen wurden auf der Strecke zwischen Bremen und Bremerhaven durch Abdämmen von Nebenarmen beseitigt, Krümmungen abgeflacht und die Strömung im Hauptarm durch Buhnen und Leitwerke zusammengefaßt (2). Erst im letzten Jahrzehnt des vorigen Jahrhunderts wurden auch Ausbauten in der Außenweser notwendig. Über diese bis in die Gegenwart andauernden Maßnahmen und ihre Wirkung soll in diesem Abschnitt berichtet werden.

Die Weser hat eine trichterförmige Mündung, die sich von Bremerhaven rd. 50 km seewärts erstreckt. Sie nimmt als Stromrinne ihren Verlauf zwischen ausgedehnten Wattgebieten. 10 km unterhalb von Bremerhaven spaltet sich die Rinne in einen westlichen Arm — in dem seit 1922 das Fahrwasser liegt — und einen östlichen, der bis 1922 als Fahrwasser genutzt wurde. Eine Sandbank — die Robbenplate — trennt beide Arme auf eine Länge von 10 km. Unterhalb der Robbenplate vereinigen sich beide Arme, um erneut durch eine Sandbank — die Tegelerplate — auf eine Länge von mehr als 10 km getrennt zu werden. Dies wiederholt sich noch ein drittes Mal, bevor die Mündungsarme der Weser, die Neue- und Alte Weser in die offene Nordsee münden (Abb. 1).

Durch die periodisch ablaufenden Gezeitenströmungen, die bei einem mittleren Tidehub zwischen 2,80 m an der Mündung und 3,50 m bei Bremerhaven örtlich Strömungsgeschwindigkeiten von mehr als 2,0 m/s erzeugen, außerdem durch Sekundärströmungen und Seegang, die durch meteorologische Ereignisse bedingt sind, wird das vorwiegend feinsandige Sohlmaterial mit einsetzender Flut je nach Stärke und Dauer der Strömungseinwirkung in Bewegung gesetzt und unterschiedlich weit transportiert. Bei nachlassendem Strom erfolgt die Ablagerung des bewegten Materials. Nach Kenterung des Flutstroms erfolgt in Ebbe-Richtung ein entsprechender Erosions-, Transport- und Sedimentationsvorgang. Das Material des Gewässerbettes befindet sich also in einem dauernden Umlagerungsprozeß. Das Resultat, welches alle transportwirksamen Strömungskräfte letzlich hervorrufen, ist ein morphologischer Zustand, wie er ungefähr in einer Tiefenkarte zum Ausdruck kommt. Abb. 3 zeigt die Veränderungen der obersten Stromspaltungsstrecke der Außenweser im vereinfachten Kartenvergleich für einen fast 80jährigen Zeitraum (10).

Die Stromrinnen im inneren Mündungstrichter neigen zur seitlichen Verlagerung. Da infolge der auf die Tideströmungen rechtsablenkenden Kraft aus der Erdrotation Uferabbrüche beidseitig erfolgen, kommt es in ihnen zu neuen Mittelgrundbildungen. In der Teilrinne einer Stromspaltung gewinnt häufig eine Stromrichtung das Übergewicht. Es bilden sich typische Flut- und Ebberinnen aus. Diese Sekundärspaltungen gefährden stets den Bestand eines Fahrwassers.

Das Strombaugeschehen in der Außenweser ist zeitlich in zwei Hauptabschnitte zu unterteilen:

a) in die Zeit vor 1922, als das Fahrwasser östlich der Robbenplate durch den Wurster Arm verlief

und

b) in die Zeit nach 1922. 1922 erfolgte nach sorgfältiger Vorbereitung die Umlegung des Fahrwassers in die von der Natur begünstigte westliche Teilrinne, den Fedderwarder Arm. In dieser Rinne liegt es auch heute.

3.2. Der Ausbau der Außenweser bis zum Jahre 1922

Mit der Indienststellung großer Passagierdampfer mit Tiefgängen von 7,80 m in den achtziger Jahren des vorigen Jahrhunderts wurde auch der künstliche Ausbau von Fahrrinnen in den Stromrinnen der Außenweser notwendig. Als Ausbaumittel wendete FRANZIUS zunächst unmittelbar unterhalb Bremerhavens Leitdämme an (2). Sie sollten dazu dienen, störende Nebenarme von der Hauptrinne zu trennen und die Tideströmungen und damit die Durchflußmengen in ihnen zugunsten der Hauptrinne zu schwächen. Durch einen 5,6 km langen Leitdamm (1891) und einen weiteren 1,6 km langen (1893) gelang es, im Verlauf von 2 Jahrzehnten zwei Nebenarme gänzlich zum Verlanden zu bringen. Die verbliebene Hauptrinne war anfangs jedoch zwischen den Wattkanten noch viel zu breit. Die Stromverstärkung reichte daher in ihr nicht aus, um allein durch die Erhöhung der Selbsträumkraft die Sohle in der Fahrwassertrasse zu vertiefen.

Durch Baggerungen mußte ab 1896 ergänzend eingegriffen werden. Während im Bereich der beidseitig angelegten Leitdämme in den folgenden Jahren ein Ausbauerfolg erkennbar wurde, verschlechterten sich die Fahrwasserverhältnisse in der unterhalb gelegenen Stromspaltung zusehends. Den Grund dafür glaubte man in der Vergrößerung der aus dem Fahrwasser im Bereich des Dwars-Gats nach Norden abzweigenden Teilrinnen zu sehen. Es wurde versucht, diese Rinnen in der damals gebräuchlichen Buschbauweise zu durchdämmen. Dies gelang nicht. Die Dämme wurden noch während des Baues von der Strömung unterspült und weggerissen (18). Die östliche Wattkante wurde querab der Robbenplate vom Ebbestrom hart angegriffen und abgebrochen. Es gelang, sie zeitweilig durch Buhnen lagestabil zu machen. Diese Bauwerke waren in ihrem Charakter passiv. Sie waren nicht in der Lage, die großräumigen morphologischen Veränderungen, die in den beiden Stromrinnen um die Robbenplate erfolgten, zu beeinflussen.

Für die Entwicklung einer Stromspaltung ist die langjährige Veränderung der Durchflußmengen in den Teilrinnen entscheidend. Wie langjährige Beobachtungen ergeben haben, verhalten sich die Durchflußmengen in den Teilrinnen bei Ebbestrom wie ihre Querschnitte unterhalb von MTnw (Fo). Da die Querschnitte der westlichen Teilrinne nach 1900 trotz der beabsichtigten Schwächung durch das Verklappen von Baggerboden größer wurden, ist anzunehmen, daß in dieser Zeit eine ständige Zunahme der anteiligen Durchflußmengen erfolgte. Auch der Bau des Leitdammes Robbensüdsteert (1910) (Abb. 3) konnte diese Entwicklung nicht aufhalten. Als Beispiel zeigt Abb. 4 die Veränderung des Profils km 83 (in Abb. 3).

Die Folge der natürlichen Vergrößerung der westlichen Nebenrinne war die Einleitung einer Stromrinnenverwilderung im oberen Teil der östlichen Hauptrinne. Die Folgen für die Schiffahrt waren katastrophal. Es gelang bis 1914 trotz der Beseitigung von jährlich mehr als 4 Mio m³ Boden aus dem 200 m breiten Fahrwasser und dem Bau von weiteren Strombauwerken an der Robbenplate nicht, die östliche Hauptstromrinne wieder zu stabilisieren und in ihr die anteiligen Durchflußmengen wieder zu vergrößern. Diese Bemühungen sind letztlich gescheitert, weil die großräumige morphologische Entwicklung trotz aller Ausbaumaßnahmen (Anwendung von Buhnen und Baggerungen) einem parallel zum Fahrwasser verlaufenden Spaltungsarm das Übergewicht gab.

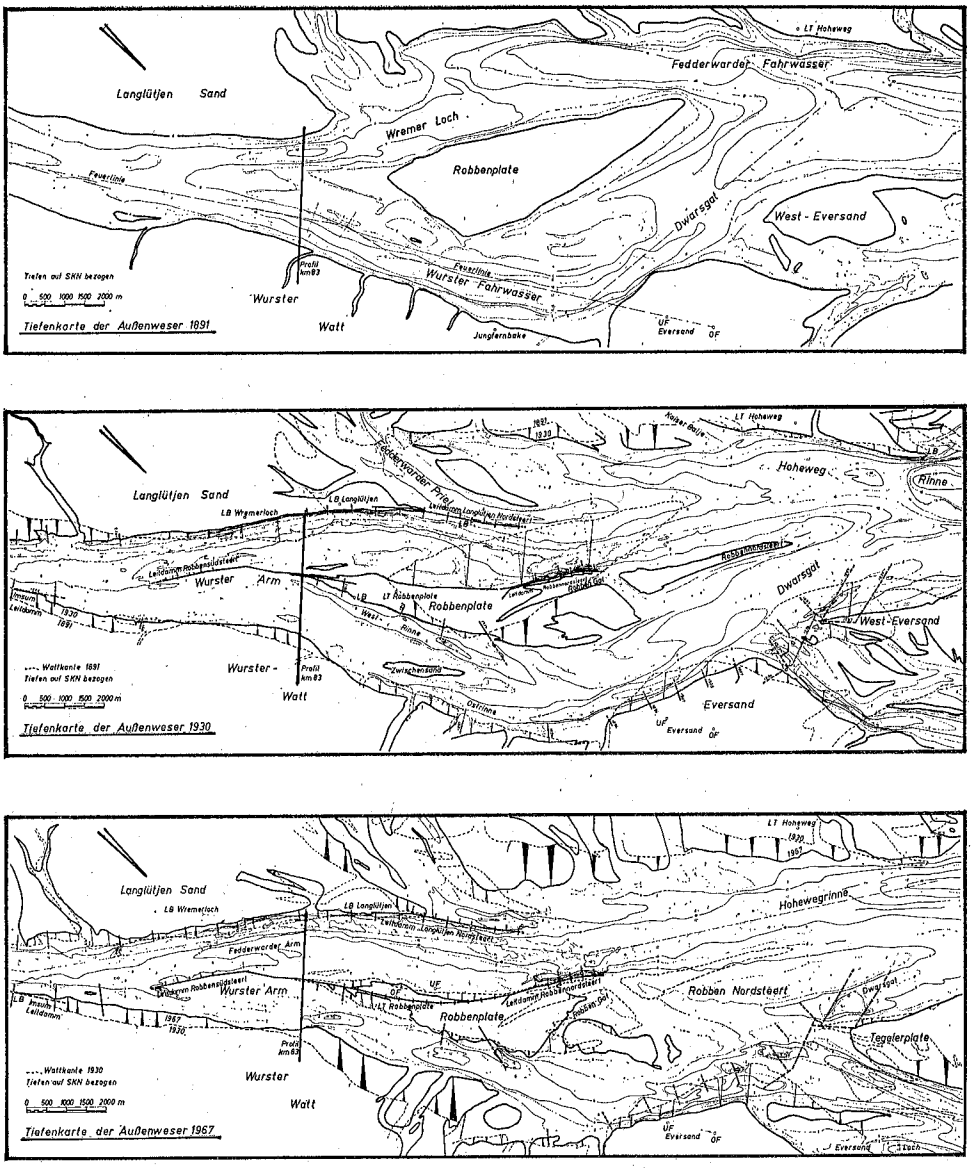


Abb. 3: Morphologische Entwicklung in der Außenweser

Dies ist ein Beispiel dafür, daß es zwingend notwendig ist, die Tendenzen der großräumigen morphologischen Umlagerungen festzustellen, bevor eine Regelungsmaßnahme begonnen wird. Es bedarf dann der weiteren Überwachung aller wesentlichen Veränderungen im Ästuar, um rechtzeitig neue, das Fahrwasser gefährdende Entwicklungen erkennen und ihnen mit geeigneten Mitteln begegnen können (10).

3.3. Die Ausbaumaßnahmen von 1922 bis zur Gegenwart

In der Zeit des 1. Weltkrieges entwickelte sich die Stromspaltung, wie Abb. 4 zeigt, weiter zuungunsten des Fahrwassers, so daß der Entschluß gefaßt wurde, das Fahrwas-

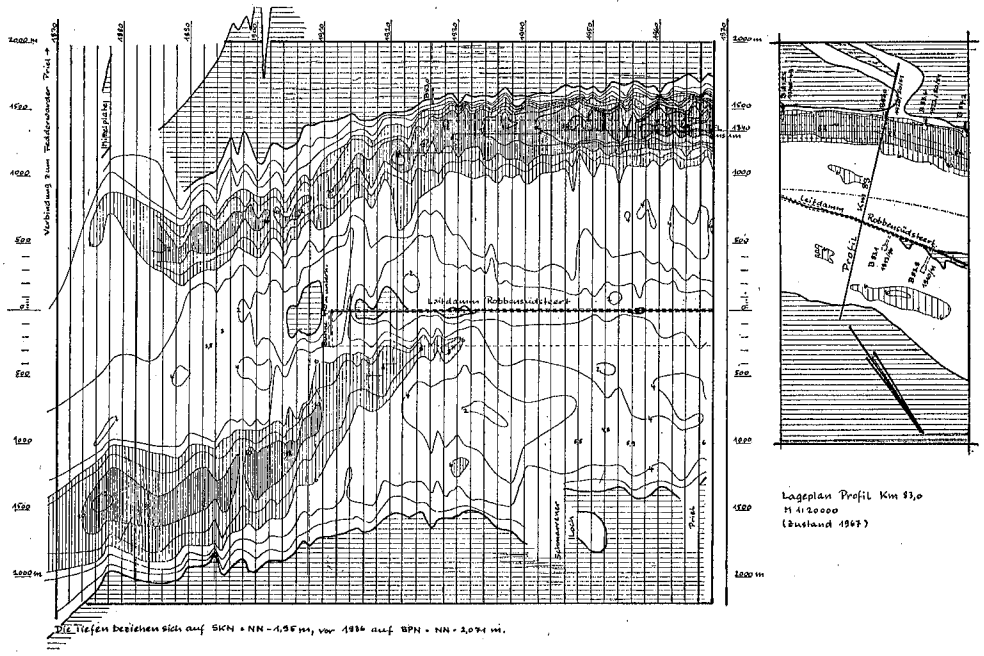


Abb. 4: Zeitliche Änderung der Tiefenlinien im Profil km 83 der Außenweser

ser in die westliche Stromrinne zu verlegen. Diesem Entschluß gingen umfangreiche hydrologische Messungen in der Zeit von 1913 bis 1922 voraus (17). An Modellversuche für die Regelung eines Ästuars war damals allerdings noch nicht zu denken. Aus den Messungen erkannte PLATE die gesetzmäßige großräumige Entwicklung und entwarf einen umfassenden Plan, der durch ein System beidseitig angelegter Strombauwerke in Verbindung mit Baggerungen die natürlichen vorteilhaften Entwicklungsvorgänge in der westlichen Stromrinne verstärken und so einen schnellen und dauerhaften Ausbauerfolg bringen sollte (18). PLATE korrigierte die westliche Stromrinne so, daß die Tidewelle in sie leicht einlaufen konnte. Das Abdrängen des Ebbestromes oberhalb der Stromspaltung zum neuen Fahrwasser in der westlichen Rinne wurde durch die großflächige Aufhöhung der Sohle mit Baggerboden und dem Bau stromabweisender Buhnen mit flachen Kopfneigungen (1:12) erreicht. Die Erhöhung der Ebbedurchflußmengen in der neuen Hauptrinne erzwang ein Damm vor dem Einlauf in die Ostrinne. Die Scheitelbereiche in Krümmungen wurden durch einzelne Buhnengruppen stabilisiert. Eine Fahrwassertiefe von 10 m unter MSpTnw (= SKN) konnte so erreicht werden.

In den folgenden Jahrzehnten hat sich der Durchflußmengenanteil in dem neuen Fahrwasser ständig erhöht, der Fo-Querschnitt damit ständig vergrößert (Abb. 4). Der Ausbauerfolg zeigte sich in einem gleichmäßigen Rückgang der jährlichen Baggermengen.

Nach 1950 ist verstärkt versucht worden, Einfluß auf die Durchflußmengenentwicklung in der Stromspaltung zu nehmen, um eine weitere Vertiefung des Fahrwassers vorzubereiten. Das System der Strombauwerke wurde bis heute auf insgesamt 33 km ausgebaut und der gegenseitige Abstand der Buhnen verdichtet (Abb. 8). Dadurch gelang die Vergrößerung der Durchflußmengen in der Hauptrinne. Allerdings ist es nur teilweise gelungen, die Tideströmungen innerhalb des eigentlichen Fahrwassers auf der Westseite der Hauptrinne zu verbessern. Es ist eine neue Ebberinne entlang des Leitdammes Robbensüdsteert entstanden, die das Fahrwasser unterhalb ungünstig beeinflußt (Abb. 3).

Nach 50jähriger Beobachtung ist die Richtigkeit der Ausbauentscheidung von 1922 voll bestätigt worden (24) (10). Die Vertiefung des Fahrwassers von derzeit 10 m unter SKN auf heute 12 m bei 200 m Sohlenbreite, wodurch Schiffen von 13 m Tiefgang unter Ausnutzung der Tidewelle die Fahrt nach Bremerhaven ermöglicht wird, konnte nur erreicht werden, weil eine bereits durch Strombauwerke weitgehend stabilisierte Stromrinne zur Verfügung stand. Wenn das Fahrwasser in der Außenweser in dem Abschnitt oberhalb der Tegeler Plate heute als relativ lagestabil und unterhaltungsfreundlich bezeichnet werden kann, so nur deshalb, weil es in den letzten 50 Jahren gelungen ist, die großräumig ablaufenden morphologischen Veränderungen im Ästuar der Außenweser hinreichend genau zu erfassen und ihren Einfluß auf die Veränderungen der Schifffahrtsrinnen vorherzusagen. Die morphologischen Umlagerungen finden in den Stromrinnen der Außenweser indes weiterhin statt. Neue Untersuchungen haben ergeben, daß sie, die bislang die Rinnenentwicklung des westlichen Fedderwarder Armes begünstigt haben, unterhalb der Robbenplate in der zweiten Stromspaltung seit mehr als 20 Jahren einen für den Bestand des heutigen Fahrwassers in der Hohewegrinne ungünstigen Verlauf nehmen (10).

Es ist vorgesehen, die hydrologischen Untersuchungen auf den Abschnitt der zweiten Stromspaltung und auf den Riffgürtel im Bereich der äußeren Mündungsrinnen auszudehnen und zu intensivieren. In einem Großmodell von der Jade-und Wesermündung im Maßstab 1 : 800/ 1 : 100 (Abb. 1) soll versucht werden, die Eignung weiterer Strombaumaßnahmen unterhalb der Robbenplate zu untersuchen. Es wird in Zukunft notwendig sein, das einmal begonnene Strombaukonzept, welches sich in 50 Jahren bewährt hat, seewärts zu erweitern. Es gilt, auch diese bisher noch nicht direkt beeinflußten Abschnitte des Ästuars im Interesse der dauerhaften Erhaltung eines weiter ausbaufähigen Fahrwassers zu stabilisieren. Das Ziel im Bereich der Außenweser ist, aktiv unter Einbeziehung der natürlichen morphologischen Entwicklungen Einfluß auf die Tideströmungen zu nehmen, um die Räumwirkung der Strömung für den Erhalt des Fahrwassers zu nutzen. Der Einsatz von Baggergeräten zur Beseitigung von Eintreibungen aus der Fahrwassertrasse wird aber auch weiterhin erforderlich bleiben. Strombauwerke und Baggerungen ergänzen einander.

4. Der Ausbau des Jadefahrwassers

4.1. Die natürlichen Verhältnisse der Jade

Das Jadefahrwasser ist die Zufahrt nach Wilhelmshaven. Es weist von der natürlichen Morphologie her günstigste Voraussetzungen auf. Während es sich bei Ems, Weser, Elbe und Eider um durch Tideeinwirkung des Meeres ausgeweitete Strommündungen handelt mit wechselnden Oberwasserzuflüssen und der Bildung von Brackwasserzonen, ist die Jade eine Meeresbucht ohne landseitigen Zufluß von Bedeutung (Tabelle 1, Abb. 1). Durch die hydraulisch besonders günstige Form dieser Meeresbucht mit dem großen Spülbecken des durch Sturmflutwirkung zwischen dem 12. und 16. Jahrhundert entstandenen Jadebusens (21) und der Verengung vor Wilhelmshaven besitzt das Jadefahrwasser infolge der Räumkraft des sehr kräftigen Tidestromes schon von Natur große und beständige Wassertiefen und einen gestreckten Verlauf ohne wesentliche Stromspaltungen und -krümmungen. Infolgedessen ist die Fahrwasserstrecke „Innenjade" (von der Linie Schillig-Mellum bis Wilhelmshaven) relativ problemlos, auch für die künstliche weitere Vertiefung.

Im Gegensatz zur Innenjade sind in der Außenjade mit ihren verzweigten und von Natur unstabilen Stromrinnen infolge der dort ständigen Umlagerungen im Bereich der vor den ostfriesischen Inseln verlaufenden west-östlichen Sandbewegung Schwierigkei-

ten für den sich seit dem Ende des 19. Jahrhunderts entwickelnden Verkehr mit tiefgehenden Schiffen aufgetreten, die eine künstliche Beeinflussung der Sandbewegungen erforderten.

4.2. Die Ausbaumaßnahmen bis 1939

Die erste Baumaßnahme, mit der vor etwa 100 Jahren begonnen wurde, war die Sicherung der stark gefährdeten Insel Wangerooge, deren Bestand als westliche Einfassung der Außenjade noch heute von großer Bedeutung ist (13) und ständig Erhaltungsaufwand erfordert.

Zuverlässige Peilungen, die seit 1859 von der Außenjade und vom Gebiet um Wangerooge vorliegen, zeigen, daß der Sand am Nordstrand von Wangerooge nach Osten durch die Blaue Balje bis nach Minsener Oog wandert (Abb. 5). Bevor dort die Strombauwerke geschaffen wurden, durchquerte der Sand in Form von Platen von hier aus in nordöstlicher Richtung die Außenjade. Das bedeutete, daß in diesem Bereich stets zwei bis drei Rinnen vorhanden waren (Wangerooger Fahrwasser, Minsener Rinne, Alte Jade) (Abb. 5), von denen die jeweils tiefste als Hauptfahrwasser diente. Dabei gab es Zeiträume, in denen keine der Rinnen die erforderliche Tiefe und Breite aufwies, um als Fahrwasser dienen zu können. Als sich um die Jahrhundertwende auf Grund genauerer Vermessungen abzeichnete, daß sich die Außenweser in die damals als Hauptfahrwasser dienende „Alte Jade" verlegen und der Hauptstrom der Außenjade in eine der westlich gelegenen Rinnen gedrängt würde, versuchte man zunächst durch Baggerungen diese Tendenz aufzuhalten, jedoch ohne Erfolg.

Mit Zunahme der Göße und des Tiefganges der auf der Jade verkehrenden Schiffe wurde es notwendig, ein lagebeständiges Fahrwasser zu schaffen. Das konnte nur dadurch geschehen, daß die Bewegung das Sandes durch die Außenjade in Form von Platen verhindert wurde. Zu diesem Zweck wurde 1909 begonnen, Strombauwerke auf der Wattinsel Minsener Oog zu errichten. Diese war nachweisbar seit langer Zeit dauernd nach Südwesten zurückgewichen. Die Außenjade wurde daher zunehmend breiter, verlor an Stromkraft und Tiefe, insbesondere in ihren östlichen Teilen. Die bestehende Tendenz einer Verschiebung der tiefen Rinne nach Westen sollte durch ein Regelungswerk auf Minsener Oog aufgefangen werden, das die fest liegende Flanke bilden sollte, an der sich eine beständige tiefe Rinne entwickeln und halten konnte. Das sich vertiefende Wangerooger Fahrwasser sollte über eine tiefe Eckrinne, die durch den Bau der großen Buhne A sich bilden und nach zusätzlicher Ausbaggerung erhalten sollte, mit der Old-Oog-Rinne verbunden werden, womit auch die erforderliche Richtungsumlenkung des Hauptstromes zu erreichen war. Außerdem sollte ein Teil des westöstlich wandernden Sandes in den Raum zwischen dem „Hauptdamm" und der Buhne A aufgefangen und dadurch vom Hauptfahrwasser, der Old-Oog-Rinnen ferngehalten werden (13).

Der Bau dieser Regelungswerke wurde 1931 im wesentlichen abgeschlossen (Abb. 5). Damit war in Verbindung mit zeitweiliger Baggerung in der Eckrinne ein stabiles Fahrwasser in der Außenjade geschaffen worden, das allen damals gestellten Anforderungen in bezug auf ausreichende Tiefe und leichte Befahrbarkeit entsprach. Die Strombauwerke auf Minsener Oog bewirkten, daß die Sandmassen nicht mehr als zusammenhängende Platen, sondern in gleichmäßigem Fluß die Jade durchwandern (3).

Nach jahrzehntelangen weiteren Erfahrungen und fortlaufenden Untersuchungen steht jetzt fest, daß das Strombauwerk auf Minsener Oog seine Aufgaben voll erfüllt hat und auch heute noch den bedeutenden Eckpfeiler für die Umlenkung des Fahrwassers aus einer NW-SO-Richtung in die N-S-Richtung darstellt. Diese Wirkung ist auch für die durch Baggerungen vorgenommene weitere künstliche Vertiefung des Jade-Fahrwassers von großer Bedeutung. Die Selbsträumungskraft des Stromes in der tiefen Rinne

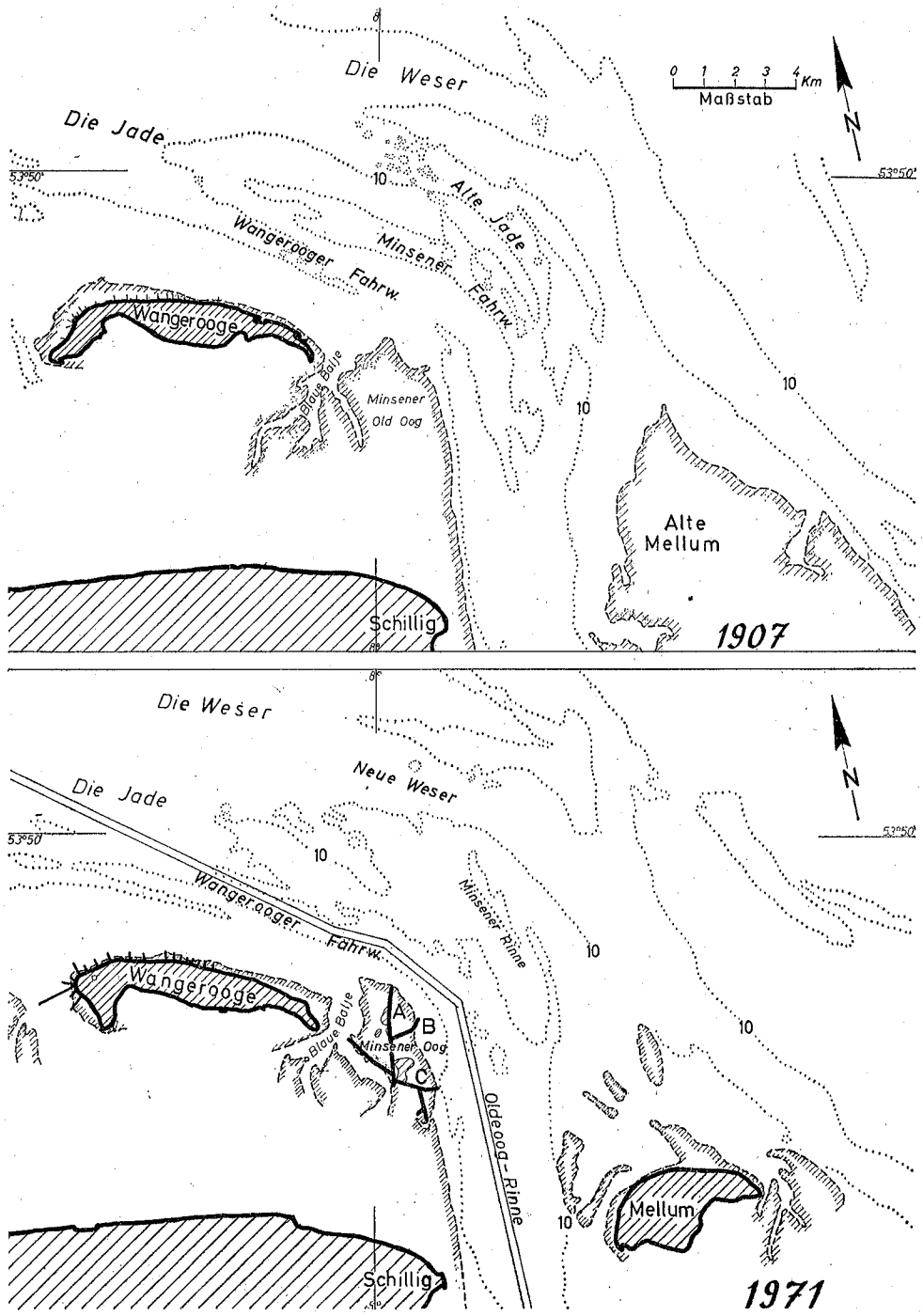


Abb. 5: Morphologische Entwicklung der Außenjade

im Bereich der Buhnen A, B und C ist durch deren Einfluß so erheblich, daß in diesem Fahrwasserabschnitt die Wiedereintreibungen von Sand relativ gering und damit die erforderlichen Baggermengen unerheblich bleiben. Die fortlaufende Instandhaltung des umfangreichen Buhnensystems auf Minsener Oog ist daher gerechtfertigt und erforderlich.

Die Planung dieser Strombauwerke ist seinerzeit nur auf Grund empirischer Überlegungen vorgenommen worden. Über Einzelheiten der Ausführung und Wirkung sind in beschränktem Umfange Modellversuche ausgeführt worden. Ob es zweckmäßig sein wird, die vorhandenen Strombauwerke noch durch weitere zu ergänzen, steht heute noch nicht fest. Diese Fragestellung soll in einem Modell der Jade und Außenweser untersucht werden (Abb. 1).

4.3. Die Entwicklung seit 1945

Obwohl von 1942 bis 1956 in der Jade nicht mehr gebaggert worden war, wies das Fahrwasser der Innenjade größtenteils noch Tiefen von 12 m und mehr unter MSpTnw (SKN) auf, während in der Außenjade, im Wangerooger Fahrwasser, sich Untiefen mit etwa 9 m unter SKN gebildet hatten. Als dann ab 1959 mit der Großtankschiffahrt nach Wilhelmshaven zu rechnen war, wo eine Tankerlöschanlage mit Tanklager und Pipeline-Verbindung zu den Raffinerien des Rhein-Ruhr-Gebiets errichtet wurde, mußte das Jade-Fahrwasser ab 1957 für größere Schiffstiefgänge ausgebaut werden. Diese Vertiefungsarbeiten, zunächst auf 12 m unter SKN, sind ausschließlich durch Baggerungen ausgeführt worden, wobei der Schwerpunkt in der Außenjade liegen mußte. Die Lage der Fahrwassertrasse, die eine 300 m breite vertiefte Rinne darstellt, richtete sich nach dem von früher her stabilisierten Hauptfahrwasser (Abb. 5).

In Anpassung an die sehr schnelle Entwicklung der Tankergrößen wurde ab 1964 das Ausbauziel der Fahrwasservertiefung auf 13 m, dann auf 15 und 17 m und schließlich auf 18,5 m unter SKN (Tiefe vor Wilhelmshaven) erweitert. Es können seit Ende 1971 Schiffe mit 18,5 m (61') Tiefgang und ab Ende 1973 mit 20,0 m (65'5") — etwa 250.000 tdw — unter Ausnutzung der Tide nach Wilhelmshaven fahren. Die großen Baggermassen aus diesen erheblichen Fahrwasservertiefungen konnten bisher an geeigneten Stellen östlich und nördlich des Fahrwassers verklappt werden. Bei diesen Ausbauarbeiten traten die mit der großräumigen Sandbewegung verbundenen Probleme an den Stellen hervor, wo regelmäßig ein Wiedereintreiben von Sand in die vertiefte Rinne auftritt. Das ist vornehmlich im äußeren Teil des Wangerooger Fahrwassers, also im Bereich der natürlichen W-O-Sandbewegung vor den Inseln der Fall, aber auch im Bereich der einzigen Stromspaltung in der Innenjade, am Eingang und Ausgang des Heppenser Nebenfahrwassers. Falls sich im hydraulischen Modell hierfür keine wirksamen und auch wirtschaftlich vertretbaren Strombaumaßnahmen ermitteln lassen, wird man sich in diesen Fahrwasserbereichen mit ständigen Unterhaltungsbaggerungen helfen müssen (25).

Gewisse Schwierigkeiten bei der Vertiefung und der Erhaltung der Fahrwasserrinne bereitet der Streckenabschnitt zwischen Minsener Oog und der Linie Schillig-Mellum, in dem die in Abschnitt 2.1 erläuterten Dünen (Großriffeln) auftreten, die sich stetig neu bilden. Diese Großformen werden durch die Stromwirkung aus Grobsand und Schill quer zur Stromrichtung aufgebaut. Sie steigen in regelmäßigen Abständen sehr steil aus Tiefen von 18 und 19 m bis auf Tiefen von 13 und 14 m unter SKN empor. Aus ihrer Form — von Süden flach ansteigend und nach Norden steil abfallend — läßt sich die Resultierende aus Flut- und Ebbestromrichtung erkennen. Sie weist nach Norden, und das ist ein Indiz dafür, daß nur wenig von dem in der Außenjade von Westen nach Osten transportierten Sand in die Innenjade eindringen kann. Für den Ausbau brauchten zwar meist nur die Kuppen dieser Fünen abgebaggert zu werden. Es ist jedoch nicht möglich, mit Hopperbaggern auf den 30 bis 50 m breiten Kuppen der Dünen

quer zur Stromrichtung zu baggern. Der Schleppsaugkopf fährt zur Erzielung einer wirtschaftlichen Baggerleistung das Bodenprofil voll aus. So wird beim Abbaggern einer Kuppe das gesamte Bodenprofil einschließlich der Täler tiefergelegt. Das hat trotz der Mehrbaggerungen den Vorteil, daß die einmal erreichte Baggersohlenlage sich längere Zeit hält. Werden dagegen nur die Kuppen der Großriffel abgebaggert, so bauen sich diese in sehr kurzer Zeit bis zu ihrer ursprünglichen Höhe wieder auf (25).

Für die Planung, Durchführung und Überwachung der nunmehr seit 15 Jahren laufenden Vertiefung des Jade-Fahrwassers und für die Abschätzung des späteren Erhaltungsaufwandes sind sehr eingehende gewässerkundliche Untersuchungen ausgeführt worden. Ihr Ziel war und ist in erster Linie, die Gesetzmäßigkeiten der Sandbewegung im Bereich der Jade zu erforschen. Neben umfangreichen Strömungsmessungen sind dazu auch Naturmessungen zur Kontrolle der Sandbewegungen im Bereich der Außenjade ausgeführt worden. Dabei handelte es sich neben Lotungen auch um Messungen mit Hilfe radioaktiver Leitstoffe. Diese Messungen haben zu brauchbaren qualitativen Aussagen geführt, die jedoch noch durch Untersuchungen in dem hydraulischen Modell ergänzt werden müssen.

5. Die Maßnahmen in der Außenelbe

5.1. Das Stromgebiet der Außenelbe

Als Außenelbe wird das Gebiet seewärts der Linie Cuxhaven-Friedrichskoog (Abb. 1) bezeichnet. Die anschließende Strecke des Tideflusses Elbe bis zum Hamburger Hafen ist die Unterelbe. Außenelbe und Unterelbe bilden die seewärtige Zufahrt nach Hamburg, den Unterelbehäfen und dem Nord-Ostsee-Kanal. Die Strecke von See bis Brunsbüttel ist die verkehrsreichste deutsche Seeschiffahrtstraße — sowohl hinsichtlich der Anzahl der verkehrenden Schiffe als auch der beförderten Gütermengen — und auch eine der verkehrsreichsten Wasserstraßen der Erde (20). Hydrografisch ist die Außenelbe der seewärtige Teil des Mündungstrichters der Elbe, der stromaufwärts etwa bis Brunsbüttel reicht.

Die Elbe hat von allen deutschen Tideflüssen den größten Oberwasserzufluß und die größte Flutwassermenge in geomorphologisch vergleichbaren Querschnitten in Mündungsnähe (Tabelle 1). Verglichen mit den anderen Tideflüssen hat die Elbe bis nach Hamburg die günstigsten Fahrwasserverhältnisse, die den seit der Mitte des vorigen Jahrhunderts ständig wachsenden Schiffsgrößen zunächst allein durch Baggerungen im oberen Abschnitt der Unterelbe angepaßt werden konnten. Erste Stromregelungsbauwerke wurden um die Jahrhundertwende unterhalb von Hamburg notwendig, weiter unterhalb erst zwischen 1921 und 1936 in 2 eng begrenzten Teilabschnitten (20). Im übrigen waren Baggerungen, die seit der Jahrhundertwende auch unterhalb von Brunsbüttel in größerem Umfange ausgeführt wurden, das hauptsächliche Ausbaumittel (20).

Die Außenelbe läßt sich nach der Morphologie in 2 Abschnitte gliedern. Den äußeren Abschnitt bildet eine tiefe, breite und sehr lagestabile einheitliche Rinne, die von der inneren Deutschen Bucht bis Scharhörn reicht (Abb. 1). Irgendwelche Regelungsmaßnahmen sind in diesem Abschnitt bisher nicht notwendig gewesen. Der daran anschließende Abschnitt wird auf beiden Seiten durch hohe Watten flankiert. Er ist gekennzeichnet durch ein ständigen Umlagerungen unterworfenes instabiles System von Rinnen und dazwischenliegenden Sänden (7). Durch die Verlagerungen der Sände und Rinnen ist dieser Abschnitt von jeher für die Schiffahrt schwierig gewesen. Mehrfach konnte ein Zyklus beobachtet werden, daß sich an der Nordseite des Wattes eine Plate als Ablagerungsfläche von Sand bildete und sich nach Süden quer durch den Strom bewegte bis sie das südliche Watt bei Neuwerk erreichte (9)(15). Die Plate hat eine langgestreckte Form, ihre Längsachse liegt in Richtung der Gezeitenströmung. Relativ günstige Fahr-

wasserverhältnisse lagen immer vor, wenn ein Zweirinnen-System vorhanden war, eine südliche Flut- und eine nördliche Ebberinne. Stromzustände, bei denen 3 Rinnen vorhanden waren, ergaben ungünstige Fahrwasserverhältnisse. Der günstigste morphologische Zustand für die Schiffahrt wäre das Vorhandensein nur einer Rinne. Ein solcher Zustand ist aber nur einmal für eine kurze Zeit (um 1880) vorhanden gewesen.

Im Gegensatz zu der Sandbewegung in sich quer zur Stromachse der Außenelbe bewegenden Platen und Sänden, die für die Entwicklung der Fahrwasserverhältnisse eine sehr große Bedeutung hat, ist die Bedeutung der Sandbewegung in der Längsrichtung der Außenelbe für deren Fahrwasserverhältnisse geringer. Sie ist nur insoweit wichtig, als sie zum Aufbau der Platen und Sände beiträgt oder in Großriffeln vonstatten geht. Solche Großriffel — sowohl Flut- als auch Ebbestromformen — sind an mehreren Stellen in der Außenelbe vorhanden (7) (15). Es besteht ein enger Zusammenhang zwischen den jeweils herrschenden Windverhältnissen in Stärke und Richtung und der Menge des in die Elbe ein- und auswandernden Sandes (14). Durch Massenberechnungen, die auf Tiefenänderungsplänen beruhen, konnte nachgewiesen werden, daß — bei Betrachtung längerer Zeiträume von mehreren Jahrzehnten — in der Außenelbe ein dynamisches Gleichgewicht des Materialtransportes besteht (14). Durch Baggerungen wird dieses Gleichgewicht nicht gestört, wenn das Material lediglich aus der Fahrrinne entfernt und an anderer Stelle des Stromgebietes wieder abgelagert wird. Das Gleichgewicht der Sandbewegung kann jedoch durch Strombauwerke erheblich beeinflußt werden.

5.2. Der Leitdamm Kugelbake

Bis 1938 war die Außenelbe der freien Entfaltung der natürlichen Kräfte überlassen gewesen. Nur stellenweise waren geringe Eingriffe durch Baggerungen erfolgt. Erst mit dem 1938/39 begonnenen Bau des Leitdammes Kugelbake wurden die Strömungs- und Sandbewegungsverhältnisse erheblich beeinflußt. Die Arbeiten waren während des Krieges unterbrochen, sie wurden erst 1950 wieder aufgenommen und 1970 vorläufig beendet. Die hauptsächlichen Bauarbeiten konzentrierten sich auf die Zeit von 1955 bis 1968. Ziel des Leitdammbaus war es

a) die schädlichen Einflüsse der natürlichen periodischen Umbildungen der Topographie auf das Fahrwasser weitestgehend auszuschalten und es dadurch zu stabilisieren, und

b) die selbständige Erhaltung eines Fahrwassers zu bewirken, das ohne zu umfangreiche Unterhaltungsbaggerungen den Ansprüchen der Schiffahrt an Tiefe und Breite genügt.

Der Damm, der in seinem derzeitigen Ausbau eine Länge von 9,25 km in Schüttsteinbauweise hat, schließt unterhalb von Cuxhaven bei der „Kugelbake" an das Festland an (Abb. 1) und verläuft auf dem „Mittelgrund". Vom Landanschluß bis auf 3 km Länge liegt die Dammkrone 1,80 m über SKN, fällt dann auf 2,5 km Länge bis auf SKN + 0,6 m und behält diese Höhe auf seiner restlichen Länge (6). Die Kronenbreite beträgt 3,5 bis 5,0 m. Die Böschungsneigungen sind beiderseits je nach Strömungsangriff 1:2 bis 1:3. Die günstigste Höhenlage der Dammkrone wurde im Elbemodell mit fester Sohle (Abb. 1) der Bundesanstalt für Wasserbau in Hamburg ermittelt. Erst als 1968 der 1961 erfolgte Durchbruch des Kugelbakenfahrwassers durch das Watt zwischen dem landseitigen Ende des Leitdammes und dem Festland geschlossen war, konnte der Damm hydraulisch voll wirksam werden. Bis zur Schließung der Lücke am landwärtigen Ende des Leitdammes war das südlich des Leitdammes gelegene Neuwerker Fahrwasser die hauptsächliche Flutrinne gewesen. Danach sandet sie rasch auf.

Die unmittelbare Wirkung des Leitdammes bestand zunächst darin, daß er die Sedimentation vor seinem Endpunkt und an seinen Flanken begünstigte. Sie nahm mit dem

Baufortschritt seit 1950 ständig zu. Der frühere Luechtergrund vereinigte sich mit dem Mittelgrund, auf dem der Leitdamm liegt. Abb. 6 zeigt die Ganglinien der Sandanhäufung von 1908 bis 1970. Es ist das Volumen des Mittelgrundes über 2 charakteristischen Tiefenlinien dargestellt. Deutlich ist zu erkennen, wie ab 1950 mit dem Dammbau eine erhebliche Volumenzunahme einsetzt, die in jüngster Zeit abzuklingen scheint. Diese Sandansammlung in der Umgebung des Leitdammes, die auf den Längstransport des Materials zurückgeht, war nicht der ursprüngliche Zweck des Bauwerks, sondern eine Nebenwirkung. Sie hat sich aber bisher nicht schädlich ausgewirkt.

Insgesamt ist nach dem Bau des Leitdammes in der Außenelbe ein Einfuhrüberschuß von Sand festgestellt worden. Es ist nicht ermittelt, in welchem Umfange die bedeu-

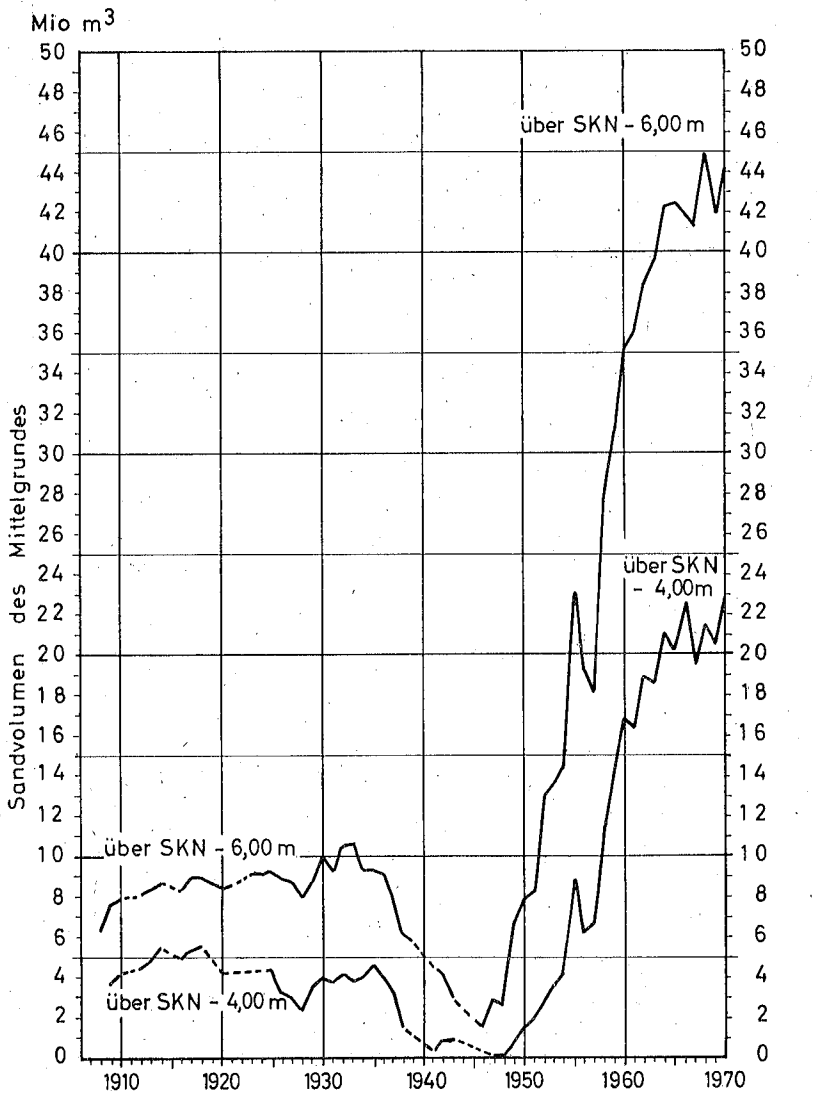


Abb. 6: Veränderung des Sandvolumens des Mittelgrundes in der Außenelbe

tende Sandansammlung am Leitdamm auf die Einfuhr aus der Nordsee unmittelbar zurückzuführen ist und wieweit interne Umlagerungen daran beteiligt sind. Es ist zu erwarten, daß die Akkumulation am Leitdamm noch eine Reihe von Jahren anhalten wird, daß sich dann aber ein neuer Gleichgewichtszustand in der gesamten Außenelbe einstellt. Das Neuwerker Fahrwasser verliert seine Funktion als Flutrinne des Elbefahrwassers und wird vermutlich in einigen Jahrzehnten nur noch ein Großpriel des Neuwerker Watts sein (7). Durch die Neubildung des „Neuen Luechtergrundes" ist nordwestlich des Leitdammes ein System aus 2 Rinnen, der „Norderrinne" und der „Mittelrinne" entstanden (Abb. 7). Dabei bildet sich die Mittelrinne zur Flutrinne aus. Zur Zeit benutzt die einkommende Schiffahrt die Mittelrinne und die ausgehende Schiffahrt die Norderrinne. Ein solches Zweirinnen-System ist grundsätzlich der stabilste Zustand des Außenelbegebietes zwischen Scharhörn und Cuxhaven. Die Norderrinne neigt jedoch zu natürlicher Verwilderung, die der ausgehenden Großschiffahrt zunehmende Schwierigkeiten bereiten wird. Es ist daher das Ziel der weiteren Strombauarbeiten in der Außenelbe, die Mittelrinne so auszubauen, daß sie als Hauptfahrwasser für die ein- und ausgehende Großschiffahrt dienen kann. Dazu sind verstärkte Baggerungen notwendig, die so angesetzt sein müssen, daß die Mittelrinne die hydraulisch beste Form erhält. Günstig ist, daß der Leitdamm den südlichen Rand der Mittelrinne stabilisiert und den Flutstrom in diese Rinne leitet. Es ist geplant, den Leitdamm möglichst bald um 3,2 km zu verlängern, um diese Wirkung zu erhöhen.

5.3. Modellversuche

Die Komplexität der Verhältnisse in einem Gebiet wie dem Elbeästuar macht es außerordentlich schwierig, die Wirkung von Bauwerken auf die Strömungs- und Sandbewegungsvorgänge und damit auf die Veränderung von Rinnen und Sänden vorauszusagen. Neben intensiven Naturbeobachtungen sind hydrauliche Modelle bis heute die einzig brauchbaren Hilfsmittel dafür. Bei der Bundesanstalt für Wasserbau in Hamburg befindet sich ein Modell der Elbe mit fester Betonsohle von seewärts Scharhörn bis zur Tidegrenze bei Geesthacht mit den Maßstäben 1:500 für die Längen und 1:100 für die Tiefen. In diesem Modell sollen insbesondere Ausbaumaßnahmen der Unterelbe untersucht werden. In ihm wurden auch Versuche für die Höhenlage des Leitdammes Kugelbake ausgeführt. Modelle mit fester Sohle haben den Nachteil, daß aus den hydraulischen Kennwerten einer starren Morphologie Rückschlüsse auf die Entwicklung der Gewässersohle gezogen werden müssen. Dieser Nachteil ist besonders bei Untersuchungen für das Mündungsgebiet eines Tidestromes, in dem die Umlagerungen der Rinnen und Sände die wesentliche Rolle spielen, von entscheidender Bedeutung. In jüngster Zeit wird deshalb versucht, auch großflächige Tidemodelle mit beweglicher Sohle für die Lösung örtlich begrenzter Probleme einzusetzen.

Ein derartiges Modell des Außerelbebereichs wurde in den Maßstäben 1:800/1:100 mit einem mobilen Kunststoffbett aus Hostyren-Körnern gebaut, um geeignete Maßnahmen zur Stabilisierung der Fahrrinnen untersuchen zu können. Seine Grenzen entsprechen etwa denen des Modells mit fester Sohle (Abb. 1). Da Tidemodelle mit beweglicher Sohle bisher nicht zum Standard des wasserbaulichen Versuchswesens gehören, waren langwierige Vorversuche bis zur Funktionsfähigkeit des Modells notwendig (5). Im folgenden sollen die ersten praktischen Ergebnisse mitgeteilt werden, die aus den Untersuchungen für den Leitdamm Kugelbake im Zusammenhang mit dem Ausbau der Mittelrinne für die ein- und ausgehende Schiffahrt stammen (Abb. 7). Die Versuche wurden in 2 Abschnitten ausgeführt:

a) Linienführung der Leitdammverlängerung (I, II, III)

b) Lage der Mittelrinne (IV, V, VI).

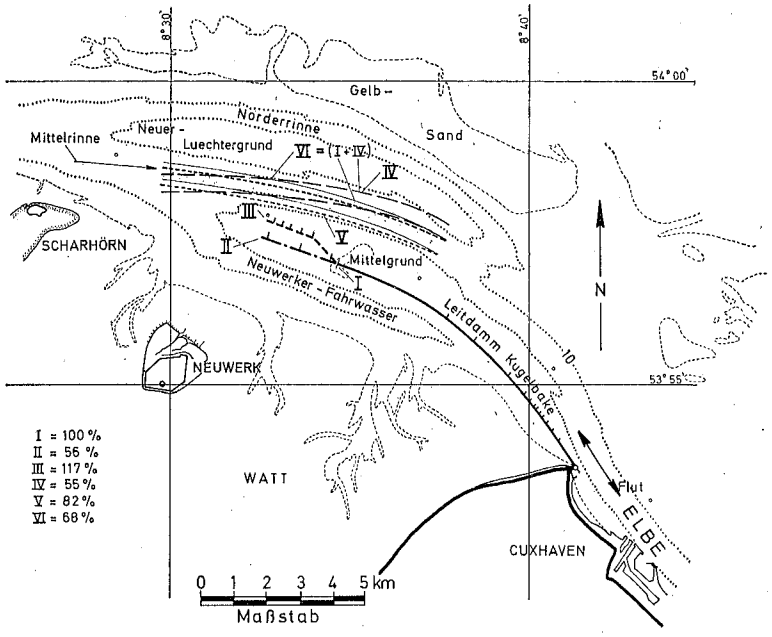


Abb. 7: Modellversuche für die Gestaltung der Mittelrinne und die Verlängerung des Leitdammes Kugelbake in der Außenelbe

Bei beiden Versuchsreihen war die Mittelrinne auf 500 m Sohlbreite und SKN -12 m Tiefe ausgebaut. Jeder Versuch dauerte 3 Wochen, das entspricht einer natürlichen Extrapolationszeit von 15 Jahren. Das danach gemessene Verlandungsvolumen wurde auf ein Jahr reduziert und in (%) angegeben (Versuch I = 100 %). Die untersuchten Zustände und die Ergebnisse sind in Abb. 7 eingetragen. Versuch I ist der in der Natur vorhandene Zustand des Leitdammes mit ausgebauter Mittelrinne. Die tangentiale Verlängerung des Leitdammes (II) ist mit 56 % eindeutig günstiger als der abgeknickte Zustand (III) mit 117 %. Für die Versuche mit veränderter Achse der Mittelrinne wurde deshalb die Leitdammverlängerung II zugrunde gelegt. Die Ergebnisse der Varianten IV (55 %), V (82 %) und VI (68 %) zeigen jedoch, daß die jetzt in der Natur vorhandene Lage der Mittelrinne offenbar optimal ist. Als geeignete Ausbaumaßnahme bietet sich deshalb die tangentiale Verlängerung des Leitdammes mit verbreiterer Mittelrinne an.

Die empfindliche Reaktion des Modells auf relativ kleine Veränderungen und Reproduzierbarkeit der Ergebnisse haben gezeigt, daß es möglich ist, für derartige Fragestellungen auch große Tidemodelle mit beweglicher Sohle einzusetzen.

6. Die Versandung der Eider und die Maßnahmen zu ihrer Beeinflussung

6.1. Die Entwicklung der Verhältnisse in der Eider

Die Eider hat in früheren Jahrhunderten eine erhebliche Bedeutung für die Schiffahrt gehabt, insbesondere als Teil eines Verkehrsweges zwischen Nord- und Ostsee. Seit dem Bau des Nord-Ostsee-Kanals ist die Verkehrsbedeutung der Eider stark zurückgegangen, ein Großschiffahrtsweg ist sie heute nicht mehr (20). Wenn in dem vorliegenden Bericht der Eider ein besonderer Abschnitt gewidmet wird, so deshalb, weil die Eider ein Beispiel dafür ist, wie durch künstliche Eingriffe die Sandbewegung ungünstig be-

einflußt werden kann und weil mit der in Ausführung befindlichen mündungsnahen Abdämmung erstmals das Prinzip des Freispülens (Abschnitt 2.3) als Mittel zur Beeinflussung der Sandbewegung im Großen erprobt werden soll.

Die hydrologischen Verhältnisse der unteren Eider sind gekennzeichnet durch einen verhältnismäßig engen und langen Flußschlauch, der sich an eine Trichtermündung anschließt und nur ein kleines Niederschlagsgebiet entwässert (Tabelle 1). Durch Eindeichungen und Abdämmungen von Nebenflüssen konnte die Tide seit dem frühen Mittelalter immer weiter stromaufwärts gelangen und um 1700 das 100 km oberhalb von Tönning liegende Rendsburg erreichen. Die Verkleinerung des Niederschlagsgebietes der Eider durch den Bau des Eiderkanals (1784) und des Nord-Ostsee-Kanals (1895) in Verbindung mit Deicherhöhungen führte zu einer Verstärkung der Tidebewegung und zu Verlandungserscheinungen im oberen Tidegebiet unterhalb von Rendsburg (19). Die Mündungsstrecke war durch diese Maßnahmen bis dahin noch nicht beeinträchtigt worden.

Zum Schutze der Eiderniederung oberhalb von Friedrichstadt gegen Sturmfluten wurde 1936 die Abdämmung bei Nordfeld gebaut (Abb. 1). Diese Abdämmung setzte der Tidebewegung eine feste Grenze. Die Vorflut wird durch ein Siel mit 5 Öffnungen, die Schiffahrt durch eine Schleuse aufrechterhalten. Die Abdämmung Nordfeld liegt im Gegensatz zu den Abdämmungen von Ems, Weser und Elbe in verhältnismäßig geringer Entfernung von der Mündung (Tabelle 1) und ist damit ein starker Eingriff in die Tidebewegung. Durch die Reflexion der Tidewelle an der Abdämmungsstelle wurde die Tidewelle umgeformt, das Thw wurde etwas aufgehöht, das Tnw stärker abgesenkt (Abb. 8). Infolge des tiefer eintretenden Tnw in Verbindung mit einer Verschiebung des Ebbestrom-Kenterpunktes zum Tnw läuft die Tidewelle bei eintretender Flut in einen kleinen Querschnitt ein; die Reibung ist dabei größer und der Vorderhang der Welle steilt sich auf. Dadurch treten relativ große Flutgeschwindigkeiten ein. Abb. 8 zeigt an einem Beispiel, wie Ebbe- und Flutstromgeschwindigkeit vor dem Bau der Abdämmung (1935) zueinander standen und wie sie sich nach der Abdämmung (1936) geändert haben.

Der stärkere Flutstrom brachte Feinsand aus dem Gebiet der Außeneider in die Tideeider und der schwächer gewordene Ebbestrom war nicht mehr in der Lage, diesen

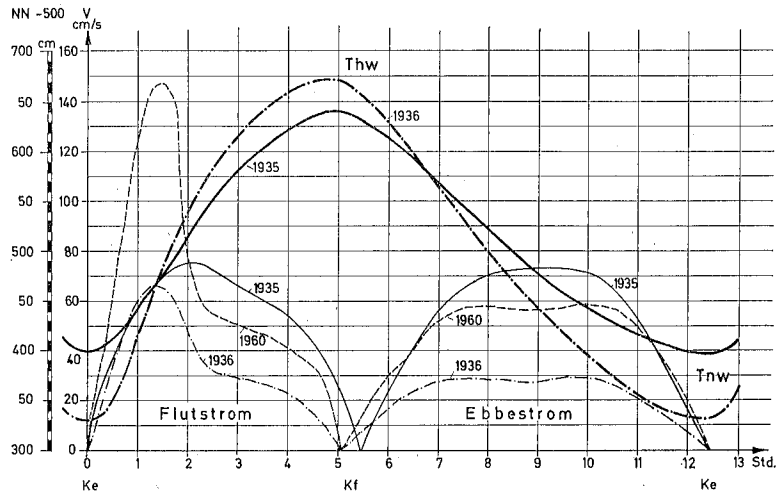


Abb. 8: Strömungsgeschwindigkeiten in der Tideeider 3,5 km unterhalb von Friedrichstadt. Tidekurven am Pegel Friedrichstadt

Sand zurück zur See zu transportieren. So kam es zur Ablagerung von Sand, wodurch die Tidewelle weiter verformt und die Strömungsverhältnisse in zunehmendem Maße verschlechtert wurden, wie es die Darstellung der Stömungsgeschwindigkeiten für 1960 in Abb. 8 zeigt. Die Ablagerung von Sand begann zunächst im Flußabschnitt zwischen Nordfeld und Friedrichstadt und setzte sich allmählich weiter stromabwärts fort bis in die Außeneider hinein. Insgesamt haben sich in der Eider von 1936 bis heute zwischen der Seegrenze und der Abdämmung Nordfeld rd. 50 Mio m^3 Sand abgelagert (22).

6.2. Maßnahmen zur Beeinflussung der Sandbewegung

Um Vorflut und Schiffbarkeit aufrechtzuerhalten, wurden nach dem 2. Weltkrieg im Bereich Friedrichstadt/Nordfeld zunächst Buhnen gebaut. Sie erwiesen sich, ebenso wie Baggerungen, als erfolglos, um die Versandung zu verringern. Nur durch einen systematischen Spülbetrieb mit dem Sielbauwerk Nordfeld ließ sich ein Erfolg erreichen. Durch Einlaß von Flutwasser in den abgedämmten Teil der Eider, die Binneneider, und Auslaß zur Verstärkung des Ebbestromes konnte eine Ausräumung der Flußquerschnitte im Bereich bis etwa Tönning erreicht und der Fortschritt der Versandung vermindert werden. Wegen der geringen für die Spülung zur Verfügung stehenden Wassermengen war der Erfolg allerdings nur begrenzt.

1959 wurde mit intensiven Vorarbeiten zur Lösung der durch die Versandung geschaffenen Probleme begonnen. Es wurden zahlreiche Lösungsmöglichkeiten untersucht. Zur Beurteilung dienten vor allem die drei Gesichtspunkte

a) Sicherung des Eidergebietes gegen Sturmfluten

b) Schaffung einer optimalen Vorflut und

c) Aufrechterhaltung des Wasserverkehrs in dem nach 1936 möglich gewesenen Umfange.

Wichtigstes Hilfsmittel zur Erarbeitung und Beurteilung der Lösungsvorschläge war der wasserbauliche Modellversuch. Es stand dafür ein Modell der Eider von Rendsburg bis zur See bei der Bundesanstalt für Wasserbau in Hamburg (Maßstab 1:250/1:50) und ein Modell der Außeneider (Maßstab 1 : 600 / 1 : 100) beim Franzius-Institut der TU Hannover zur Verfügung (Abb. 1) (8) (22). Die Vorarbeiten ergaben eindeutig, daß sich mit den „klassischen Methoden" (Abschnitt 2.3) der Errichtung von Strombauwerken das Problem der weiteren Versandung der Eider nicht lösen läßt. Die Herstellung des früheren Zustandes durch Beseitigung der Abdämmung Nordfeld verbunden mit sehr umfangreichen Baggerungen und dem Bau eines Sturmflutsperrwerkes erwies sich als wirtschaftlich untragbare Lösung. Als Lösungsmöglichkeiten, durch die alle 3 oben angeführten Forderungen erfüllt werden, ergaben sich die beiden Gruppen:

1. Abdämmung in der Tideeider oder in der Außeneider mit Ableitung der Eider in ein anderes Stromgebiet (z. B. Hever oder Süderpiep) durch einen Seekanal mit Schleuse. Diese Lösung entspricht dem in Abschnitt 2.3 unter 8 b genannten Regelungsprinzip.

2. Abdämmung unterhalb von Tönning mit Freispülen eines Außentiefs durch intensiven Spülbetrieb mit dem neuen Sielbauwerk (Abschnitt 2.3 Prinzip 6).

Aus wirtschaftlichen Gründen fiel die Entscheidung zugunsten der Lösung 2, wobei sich als zweckmäßigste Lage der Abdämmung die Linie Hundeknöll—Vollerwiek ergab (Abb. 1). Die Abmessungen der zum Spülen notwendigen Sielöffnungen und die zweckmäßigste Systematik des künstlichen Spülbetriebes wurden durch Modellversuche ermittelt (8). Das Siel erhält 5 Öffnungen von je 40 m l. W. Diese Öffnungen sind bei Flutstrom geöffnet, so daß die Tide normalerweise in den Flußabschnitt zwischen der neuen Abdämmung und Nordfeld (Tideeider) ungehindert einlaufen kann. Beim Kentern des

Flutstroms werden die Öffnungen gschlossen und die eingelaufene Flutwassermenge bis zu 2 Stunden zurückgehalten. In dieser Zeit ist der Wasserstand vor dem Siel etwas abgesunken. Durch den anschließenden Auslaß der zurückgehaltenen Flutwassermenge wird der Ebbestrom erheblich verstärkt. Wie die Modellversuche ergeben haben, ist bei Rückhaltezeiten von 2 Stunden eine ausreichende Spülwirkung bis etwa 5,5 km unterhalb und 9,5 km oberhalb des Sperrwerkes zu erwarten.

Abb. 9 zeigt die im Modellversuch für eine mittlere Tide ermittelten Tide- und Geschwindigkeitskurven für eine Meßstelle 1,5 km oberhalb des Sielbauwerkes. Zusätzlich ist es möglich, durch entsprechenden Betrieb des Sieles die Flutstromgeschwindigkeiten noch zu drosseln. Auf Grund der günstigen Erfahrungen des Spülbetriebes mit dem Siel Nordfeld wird erwartet, daß durch intensiven Spülbetrieb mit den großen bei der neuen Abdämmung zur Verfügung stehenden Flutwassermengen eine für Vorflut und Schiffahrt ausreichende Rinne in der Tide- und der Außeneider freigespült werden kann und mindestens der weiteren Versandung Einhalt geboten wird. Es wird außerdem erwartet, daß der Spülbetrieb zu einer Stabilisierung der Rinnen in der Außeneider beitragen wird. Früher waren die Schiffahrtrinnen dort sehr starken Änderungen in ihrer Lage unterworfen (22). Das Siel wird bei Sturmfluten rechtzeitig geschlossen und schützt so die Eiderniederungen vor Sturmfluten. Für die Schiffahrt ist eine Schleuse vorhanden.

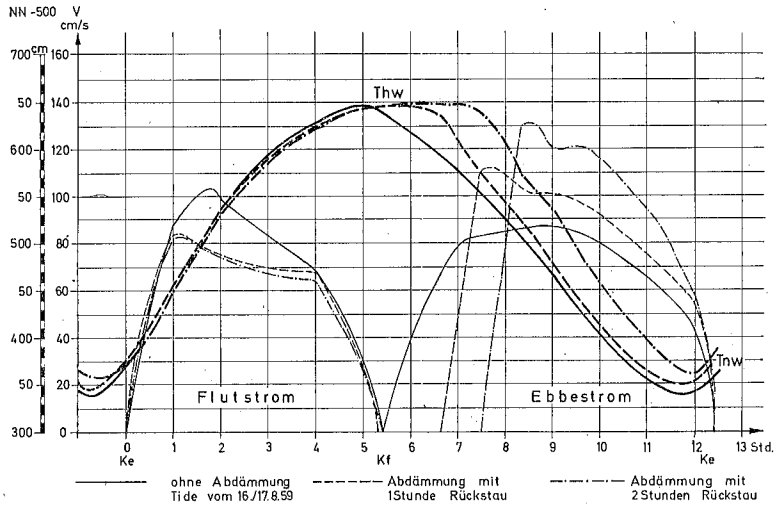


Abb. 9: Strömungsgeschwindigkeiten im Modellversuch 1,5 km oberhalb des neuen Eiderdammes. Modelltidekurven am Pegel Hundeknöll

Mit dem Bau der neuen Eiderabdämmung ist 1967 begonnen worden. Der 5 km lange Damm auf dem nördlichen Watt, das Sielbauwerk und die Schleuse sind fertiggestellt. 1972 soll die Abdämmung des bisherigen Eiderlaufes südlich des Sielbauwerkes erfolgen, so daß 1973 mit dem Spülen begonnen werden kann, dessen zweckmäßigste Steuerung sich erst im praktischen Betrieb ergeben wird. In der ersten Zeit sind starke Veränderungen in der Morphologie der Außeneider zu erwarten. Es ist dringend erforderlich, die hydrologischen und morphologischen Untersuchungen ohne Unterbrechung auch nach Fertigstellung der Adämmung intensiv weiterzuführen, um eine optimale Wirksamkeit des Spülbetriebes unter Berücksichtigung aller Belange zu erreichen.

7. Die Ausbauten und Ausbauplanungen an der Ems

7.1. Die bisher ausgeführten Ausbaumaßnahmen

Die Emsmündung hat ihre Verkehrsbedeutung als Fahrwasser von See zu den Häfen Emden und Delfzijl sowie zu den weiter stromauf gelegenen Häfen Leer und Papenburg. Diese Strecke ist durch 2 sehr unterschiedliche Abschnitte gekennzeichnet, das Emder Fahrwasser vom Emder Hafen bis zu der Landecke „Knock" und den Abschnitt von der Knock bis zur See.

Im Abschnitt unterhalb der Knock wirkt sich auf die Strömungsgeschwindigkeit und damit auf die Sandbewegung der durch Sturmflutwirkung zwischen dem 14. und 16. Jahrhundert entstandene Dollart (21) günstig aus. Er stellt für die obere Strecke dieses Abschnittes, den Gatjebogen und das Ostfriesische Gatje, ein Spülbecken dar (Abb. 1). Von der gesamten Flutwassermenge von rd. 160 Mio m^3, die den Querschnitt in Höhe der Knock durchströmt, gehören etwa $^2/_3$ zum Flutraum des Dollart und $^1/_3$ zum Tidefluß Ems. Unterhalb der Dollarteinmündung treten mehrere Stromspaltungen auf. Die natürlichen Verhältnisse waren aber immer so, daß jeweils eine Rinne einer Stromspaltung ausreichende Fahrwassertiefen für die Schiffahrt aufwies. Außer einer Befestigung der Südwestecke der Insel Borkum durch Buhnen, um einen nordöstlichen Festpunkt für das Emsfahrwasser zu schaffen, waren bisher keine Strombauwerke zur Stabilisierung der Rinnen und Erhaltung der Fahrwassertiefen erforderlich. Nur in begrenztem Umfange muß an einigen Stellen gebaggert werden.

Die eigentlichen Schwierigkeiten für die Zufahrt nach Emden treten in dem oberhalb der Knock gelegenen Emder Fahrwasser auf. Dieser Abschnitt wird durch die Spülwirkung des Dollart kaum noch beeinflußt, so daß nur eine verhältnismäßig geringe Tidewassermenge zur Wirkung kommt. Außerdem liegt hier die Brackwasserzone. Starke Schlickablagerungen und eine durch Fluträumung verstärkte Sandeintreibung aus dem unterhalb anschließenden Abschnitt sind die Folge. Zudem liegt die Mündung des Emder Fahrwassers an der Anlandungen begünstigenden Innenseite des Gatjebogens. Die umfangreichen Maßnahmen zur Schaffung eines ausreichenden Fahrwassers zum Emder Hafen konzentrierten sich daher seit der Jahrhundertwende auf den Ausbau des Emder Fahrwassers und der Knock. Das älteste und wohl wichtigste Bauwerk ist dort das Geise-Leitwerk oder Leitdamm Geise (Abb. 10). Es soll möglichst weitgehend die Wassermassen des Dollart von denen des Emder Fahrwassers trennen, um Querströmungen zu verhindern, durch die sowohl Sand- und Schlickmengen vom Dollart in das Emder Fahrwasser gelangten, und die auch zumindest zeitweise die Räumkraft im Emder Fahrwasser schwächten. Es sind drei Bauabschnitte zu unterscheiden: Das alte Geise-Leitwerk aus dem Jahre 1890, das neue Geise-Leitwerk 1933 und der Leitdamm Geise 1965 (21). Die Tatsache, daß das Bauwerk des nächsten Bauabschnitts jeweils um etwa 450 m näher an das Emder Fahrwasser gelegt worden ist, gibt einen Hinweis auf die zunehmende Wirkung der Räumkraft, die mit dieser Einengung des Emder Fahrwassers angestrebt wurde.

Als Ergänzung dieser Regelungsmaßnahmen ist nördlich des Emder Fahrwassers 1922 der Seedeich Emden-Knock fertiggestellt worden, der das Strombett begradigte und es ebenfalls zur Erhöhung der Räumkraft einengte. Außerdem sind durch diese Eindeichung des Larrelt-Wybelsumer Watts Ablagerungsflächen für die im Emder Hafengebiet und im Emder Fahrwasser gebaggerten Schlick- und Sandmassen geschaffen worden. Die Nachteile der früheren Methode, bei der das Baggergut im Dollart verklappt wurde und von dort wieder in das Fahrwasser gelangen konnte, waren damit beseitigt.

Zur Verbesserung der Fahrwasserverhältnisse im Bereich der Knock ist 1934/35 der Leitdamm Knock fertiggestellt worden. Durch diesen Damm, dessen Kronenhöhe auf MThw lag, wurde die Knockster Nebenrinne, die von dem über das Wattgebiet des Rysumer Nackens laufenden Flutstrom geschaffen war, abgedämmt (21) (Abb. 10). Weiterhin war dadurch die zwischen Hauptfahrwasser und Nebenrinne liegende „Mittelplate" festgelegt, die ständig in südwestlicher Richtung in das Hauptfahrwasser vorgetragen wurde. Die schließlich noch erwartete Wirkung, wonach sich in dem so geschaffenen Becken zwischen Damm und Landesschutzdeich der vom Flutstrom mitgeführte Sand ablagern würde, trat schneller ein als erwartet. Schon einige Jahre nach Fertigstellung des Leitdamms war das Becken weitgehend aufgesandet. Es wird seitdem eingedeicht und als Ablagerungsfläche für den im Emder Fahrwasser und an der Knock angefallenen Baggerboden benutzt. Durch diesen an der Innenseite des Bogens an der Knock gebauten Leitdamm konnten die Quereintreibungen von Sand durch den Flutstrom zwar größtenteils unterbunden werden, die Mittelplate bildet sich — wenn auch im kleineren Umfange — jedoch nach wie vor, da die im Bogen verlaufende Fahrrinne zur Außenseite hin ausweichen konnte.

Durch die vorgenannten Regulierungsmaßnahmen konnten die Baggerungen zur Aufrechterhaltung der angestrebten Fahrwassertiefe bedeutend eingeschränkt werden. Für die Erhaltung der Fahrwassertiefe von SKN—7,0 m, die für den Schiffsverkehr bis 1958 ausreichte, waren aber immer noch 2,0 bis 2,5 Mio m^3 Sand und Schlick jährlich im Emder Fahrwasser und an der Knock zu baggern. Die Baggermenge stieg ab 1964 auf 6,5 bis 7,0 Mio m^3 jährlich an, als das Fahrwasser auf SKN —8,50 m vertieft war und die durch Baggerungen zu unterhaltende Fahrwasserstrecke sich dabei von rd. 8 km auf rd. 20 km bis ins Ostfriesische Gatje und ins Dukegat ausgedehnt hatte. Für die Baggerungen zur Erhaltung der Fahrwassertiefen haben sich auch auf der Ems Hopperbagger gegenüber Eimerkettenbaggern als wirkungsvoller erwiesen. Der im Emder Fahrwasser und im Gatjebogen anfallende Baggerboden wird auf Spülflächen im Wybelsumer Polder und auf dem Rysumer Nacken untergebracht. Die im Ostfriesischen Gatje und weiter seewärts gebaggerten Massen werden in Höhe von Borkum verklappt, was bisher zu keinen eindeutig feststellbaren Nachteilen für die angrenzenden Fahrwasserbereiche geführt hat. Damit auch die inzwischen immer größer gewordenen Massengutschiffe den Emder Hafen erreichen können, ist in der Alten Ems/Dukegat ein Leichterplatz eingerichtet worden, dessen Zufahrt zur Zeit auf eine Tiefe von SKN —12,50 m ausgebaut wird.

7.2. Untersuchungen für künftige Ausbauten

In dem Bestreben, den erheblichen Umfang der jährlichen Unterhaltsbaggermengen zu verringern und darüber hinaus einen weiteren Ausbau des Emsfahrwassers zu verwirklichen, sind entsprechende Ausbaumöglichkeiten untersucht worden. Dabei wurde nicht nur an die klassischen Methoden (1) bis 4) Abschnitt 2.3) gedacht, sondern auch neuartige Wege in Betracht gezogen, um die besonderen Schwierigkeiten der Seeschiffahrtstraße Ems zu überwinden (Methoden 5) bis 7) aus Abschnitt 2.3). Die Wirksamkeit der verschiedenen Regelungsmaßnahmen konnte in einem Tidemodell mit fester Sohle weitgehend bestimmt werden. Das Modell umfaßt die gesamte Tideems und hat die Maßstäbe 1:500 für Längen und Breiten und 1:100 für die Tiefen (Abb. 1). Die erfolgversprechenden Regelungsmaßnahmen sind in Abb. 10 wiedergegeben und sollen nachstehend beschrieben werden. Die Buchstaben der einzelnen Beschreibungen weisen auf die entsprechend bezeichneten Darstellungen in Abb. 10 hin:

a) Ein System von Buhnen und Leitwerken konzentriert die Strömung im Gatjebogen auf den nördlichen Querschnittsteil zur Freihaltung des Schiffahrtsweges. Eine Öffnung im Längswerk ermöglicht die Zufahrt nach Delfzijl. Die lokale Wirkung der

Maßnahme ist gut, die Tideschwingung wird jedoch gedämpft, wodurch der Tidehub bei Emden um 7 cm abnimmt.

b) In diesem Bereich sollen die auseinanderlaufenden Flut- und Ebbeströme durch Leitwerke und Buhnen auf eine Rinne konzentriert werden. Auch hier zeigt sich eine sehr gute Wirkung (Zunahme der Strömungsgeschwindigkeit bis zu 80 %), die aber nur auf den Raum der Regulierungsbauwerke beschränkt bleibt. Die Abnahme des Tidehubes bei Emden infolge der Dämpfung der Tidewelle beträgt 11 cm und südlich vom Paapsand 13 cm.

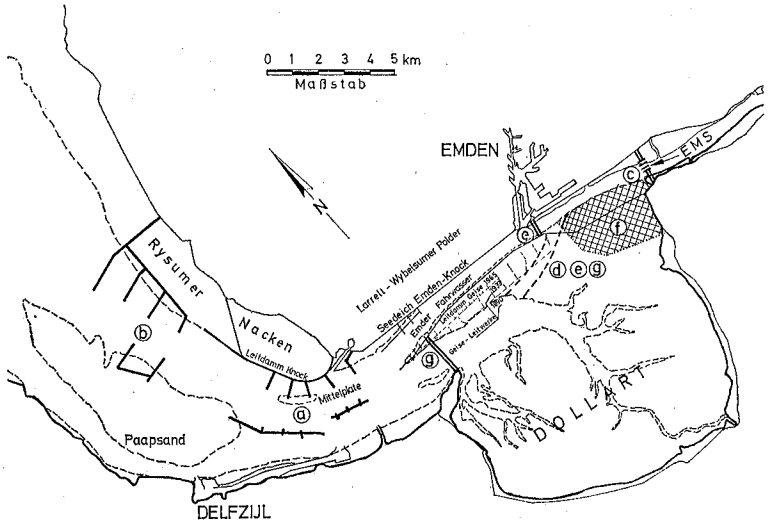


Abb. 10: Im Modell untersuchte Ausbauplanungen für die Ems

Diese „klassischen" Regelungsmaßnahmen bringen nur relativ geringe örtliche Vorteile, die nicht den hohen Bauaufwand rechtfertigen. Durch leistungsfähige Baggergeräte und moderne Baggermethoden lassen sich derartige Fahrwasserstrecken auch bei weiterer Fahrwasservertiefung wirtschaftlicher unterhalten. Für die Regelung der Strecke oberhalb des Gatjebogens wurden die in Abschn. 2.3 genannten Regelungsprinzipien 5, 6 und 7 untersucht:

c) Ein Sperrwerk, das bei Thw geschlossen wird, erzeugt nach zweistündiger Rückhaltung infolge des größeren Gefälles einen kräftigen, kurzzeitigen Spülstrom mit etwa 60 bis 70 % Geschwindigkeitszunahme bei Ebbestrom im Emder Fahrwasser, aber auch oberhalb des Sperrwerks (Prinzip 6), der für die Schiffahrt nicht unbedenklich ist. Das Tnw wird oberhalb des Sperrwerkes während einer „Spültide" um etwa 20 bis 30 cm höher liegen, wodurch die Landesentwässerung erschwert wird. Durch intermittierenden Spülbetrieb läßt sich dieser Nachteil jedoch einschränken. Ohne Spülung schwingt die Tide frei durch das geöffnete Sperrwerk, das bei Sturmflut zum Schutz der oberhalb gelegenen Flußdeiche geschlossen werden kann. Der hier vorgeschlagene Spülbetrieb entspricht dem künftig bei der Eider geplanten (Abschnitt 6.2).

d) Eine Verbindungsrinne zwischen Ems und Dollart bewirkt einen zusätzlichen Flutstrom vom Dollart zur Ems, während der Ebbestrom in dieser Rinne nur gering ist. Das führt zu einer Vergrößerung des Verhältnisses ve/vf die aber relativ gering ist.

e) Die gleiche Rinne in Verbindung mit einer Abdämmung der Ems oberhalb von Emden verwirklicht das Prinzip 7. Bei dieser als besonders günstig anzusehenden Lösung wird nicht nur die Brackwasserzone in den Dollart verlegt, sondern die Geschwindigkeiten im Emder Fahrwasser, das zu einem offenen Seekanal geworden ist, sind so gering, daß — außer an der Einfahrt — mit keiner nennenswerten Feststoffbewegung und Sedimentation gerechnet werden kann. Außerdem ergeben sich günstigere Strömungsverhältnisse im Gatjebogen.

f) Durch Abbaggerung von Wattflächen oberhalb von Emden bis auf eine Tiefe von 1 m unter SKN wird ein zusätzlicher Flutraum geschaffen (Regelungsprinzip 5), der mit einem hochwasserfreien Damm zum Dollart abgeschlossen wird. Dabei können auch Teile des Dollarts dem Flutraum der Ems zugeschlagen werden. Die Geschwindigkeit des Tidestroms vergrößert sich um 10 bis 30 cm/s infolge des zusätzlichen Flutraumes von rd. 18 Mio m^3.

g) Der oft gemachte Vorschlag, durch eine Abdämmung des Dollart und eine Verbindung zwischen Dollart und Ems die Strömungsgeschwindigkeiten im Emder Fahrwasser erheblich zu vergrößern, hat sich im Modell als unbrauchbar erwiesen. Zwar haben sich der Flutstrom auf 1,50 m/s und der Ebbestrom auf 2,20 m/s erhöht, das Tideniedrigwasser steigt jedoch um 1,30 m und das Tidehochwasser fällt um 0,40 m. Wegen der Abnahme des Tidehubes verringern sich die Strömungsgeschwindigkeiten im gesamten übrigen Ästuar wesentlich.

Neben den hier geschilderten sind noch weitere Varianten und Kombinationen verschiedener Regelungsmaßnahmen im Modell untersucht worden, die sich aber als weniger günstig oder unbrauchbar erwiesen haben. Welche der untersuchten Ausbaumaßnahmen zur Ausführung kommen wird, ist noch nicht entschieden. Weitere Modellversuche mit beweglichem Sohlenmaterial sollen für die am günstigsten angesehenen Regelungsmaßnahmen ausgeführt werden, um unmittelbare Aussagen über Sohlveränderungen zu erhalten. Erst wenn dann die Relation zwischen Wirksamkeit und Aufwand (Bau- und Unterhaltungskosten) ganz zu übersehen ist, kann über die Ausführung entschieden werden.

8. Folgerungen

Aus den Teilberichten über die einzelnen deutschen Tideästuarien ergeben sich als Folgerungen:

1. Allgemeingültige Regeln für den Ausbau der Mündungsstrecken von Tideströmen gibt es nicht. Die zu ergreifenden Maßnahmen sind immer abhängig von den jeweiligen hydrologischen und morphologischen Verhältnissen des Ästuars.

2. Allen Ausbauplanungen müssen sorgfältige hydrologische Untersuchungen vorausgehen, um die natürlichen Verhältnisse des Ästuars zu erforschen sowie großräumige Tendenzen zu erkennen, auf die der Ausbau Rücksicht nehmen muß.

3. Durch großflächige hydraulische Tidemodelle sind die günstigsten Regelungsmaßnahmen im einzelnen zu ermitteln. Die Technik der Tidemodelle mit beweglicher Sohle ist für diesen Zweck weiterzuentwickeln.

4. Neben den „klassischen" Regelungsmitteln — Buhnen, Leitdämme —, durch die auf Strömung und Feststoffbewegung in den Mündungsstrecken der Tideströme eingewirkt werden kann, sind weitere Methoden entwickelt worden, die sich in besonders gelagerten Fällen anwenden lassen. Daneben wird man für Ausbau und Unterhaltung meistens nicht auf Baggerungen verzichten können. Baumaßnahmen und Baggerungen ergänzen und stützen einander.

5. Weitere grundlegende Untersuchungen in der Natur und den Laboratorien sowie theoretische Untersuchungen sind notwendig, um die Zusammenhänge zwischen Feststoffbewegung und den hydrologischen Faktoren unter den instationären Bedingungen der Tide zu erforschen.

Schrifttumsverzeichnis

[1] BONNEFILLE, R.: Etude d'un critère de début d'apparition des rides et des dunes fluviales. Bull. du CREC Nr. 11, Chatou 1965.

[2] FRANZIUS, L.: Die Korrektion der Unterweser und Projekt zur Korrektion der Außenweser. Leipzig 1895.

[3] FREDE, G.: Die Arbeiten zur Verbesserung des Fahrwassers der Jade. Jahrbuch der Hafenbautechnischen Gesellschaft 1937.

[4] GEHRIG, W.: Über die Frage der naturähnlichen Nachbildung der Feststoffbewegung in Modellen. Mitt. Franzius-Institut TU Hannover, Nr. 29, 1965.

[5] GIESE, E., TEICHERT, J., VOLLMERS, H.: Das Tideregime der Elbe; hydraulisches Modell mit beweglicher Sohle. Mitteilungsblatt der Bundesanstalt für Wasserbau, Nr. 31, 1972.

[6] GIESE, E.: Fahrwasserumbildungen in der Unter- und Außenelbe. Die Wasserwirtschaft 1971, H. 3.

[7] GÖHREN, H.: Studien zur morphologischen Entwicklung des Elbemündungsgebietes. Hamburger Küstenforschung, H. 14, 1970.

[8] HARTEN, H.: Abdämmung der Eider; Modellversuche im Tidemodell. Mitteilungsblatt der Bundesanstalt für Wasserbau, Nr. 30, 1970.

[9] HENSEN, W.: Die Entwicklung der Fahrwasserverhältnisse der Außenelbe. Jahrbuch der Hafenbautechnischen Gesellschaft 1939/40.

[10] HOVERS, G.: Der Einfluß von Strombauwerken auf die morphologischen Veränderungen in Stromrinnen im Mündungsbereich eines Tideflusses, erläutert am Beispiel der Außenweser. Diss. TU Braunschweig 1972.

[11] JARKE, J.: Der Boden der südlichen Nordsee. Deutsche Hydrografische Zeitschrift, 1956, H. 1.

[12] JENSEN, P.: Synthèse des principales recherches sur les dunes et les rides fluviales. Bull. de la Direction des Etudes et Recherches, Nr. 2 Série A, Chatou 1970.

[13] KRÜGER, W.: Die Jade, das Fahrwasser Wilhelmshavens, ihre Entstehung und ihr Zustand. Jahrbuch der Hafenbautechnischen Gesellschaft, 1937.

[14] LUCHT, F.: Die Sandwanderung im unteren Tidegebiet der Elbe. Deutsche Hydrografische Zeitschrift, 1953, H. 6.

[15] LUCHT, F.: Hydrographie des Elbeästuars. Archiv Hydrobiologie Suppl. Bd. XXIX, 1964.

[16] PAHLKE, H., GRIMM-STRELE, J.: Messung von Sandbewegung mit Leitstoffen, Versuchsanstalt für Wasserbau u. Schiffbau. Bericht Nr. 530/70, Berlin 1970.

[17] PLATE, L.: Die Entwicklung des Wurster- und Fedderwarder Armes. Bremen 1921 (unveröffentlicht).

[18] PLATE, L.: Die Vertiefung der Außenweser durch den Ausbau des Fedderwarder Armes. Jahrbuch der Hafenbautechnischen Gesellschaft, 1926.

[19] ROHDE, H.: Die Änderung der hydrografischen Verhältnisse des Eidergebietes durch künstliche Eingriffe. Deutsche Gewässerkundliche Mitteilungen 1965, Sonderheft.

[20] ROHDE, H.: Die Entwicklung der Wasserstraßen im Bereich der deutschen Nordseeküste. Die Küste, H. 20, 1970.

[21] SCHUBERT, K.: Ems und Jade. Die Küste, H. 19, 1970.

[22] SINDERN, J.: Die Eider und ihre Probleme. Wasser-Jahrbuch 1969.

[23] VOLLMERS, H., GIESE, E.: Discussion to „Instability of Flat Bed in Alluvial Channels" Hill etc. Journal Hydraulics Division ASCE, Vol. 96, HY 6, 1970.

[24] WALTHER, F.: Die morphologische und hydrologische Entwicklung der Außenweser im Hinblick auf neue Fahrwasserausbauten, Bremen 1967 (unveröffentlicht).

[25] WIGAND, V.: Jade-Fahrwasser und Hafen Wilhelmshaven; Stand und weiterer Ausbau. Hansa 1972, Nr. 2.

Abteilung II — Seeschiffahrt

Thema 4

Wirkung von Eis auf die Bauwerke und die Schiffahrt. Mittel zur Verhütung der Bildung von Eis und Berherrschung seiner Verlagerung.

von

Dipl.-Ing. Rüdiger Bock, Regierungsbaudirektor, Wasser- und Schiffahrtsdirektion Kiel; Dipl.-Ing. Friedrich Cordes, Regierungsbaudirektor, Neubauamt Eiderabdämmung, Heide; Dipl.-Ing. Hans Dieter Dudziak, Oberregierungsbaurat, Wasserbauamt Brunsbüttel; Dr.-Ing. Ludwig Franzius, Oberregierungsbaurat, Wasser- und Schifffahrtsamt Hannover; Dipl.-Ing. Hermann Grothues-Spork, Wissenschaftlicher Angestellter, Versuchsanstalt für Wasserbau und Schiffbau, Berlin; Dipl.-Phys. Friedhelm Günneberg, Wissenschaftlicher Angestellter, Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz; Dr.-Ing. Heinz Wismer, Regierungsbaurat, Wasser- und Schiffahrtsdirektion Hamburg.

Zusammfassung

Das Eis führt zu Schäden an den Bauwerken der Schiffahrtswege und behindert die Schiffahrt und den Betrieb der Verkehrsanlagen an der Schiffahrtsstraße. In dem nachstehenden Bericht werden Versuche, Beobachtungen und Erfahrungen über die Eiswirkung zusammengestellt.

Über den Eisdruck auf Bauwerke liegen kaum Angaben vor. Messungen beim Bau des Eidersperrwerks ergaben Eisdruckkräfte von maximal 20 kp/cm². Die Stoßkraft treibender Eisblöcke war nicht direkt erfaßbar, sondern ließ sich nur angenähert aus der Verformung einzelner Bauteile ableiten. Die Kraft ist mit einem Schiffsstoß vergleichbar. Bauwerke in und an eisgefährdeten Gewässern sollten durch Lage und Formgebung dem Eisangriff soweit wie möglich ausweichen.

Auch beim Eisangriff auf Schiffe sind die Kräfte nicht genau bekannt. Eisbrecher und eisbrechende Massengutfrachter wurden im Modell untersucht. Solche Versuche sind sehr schwierig, weil die Modellgeschwindigkeiten für das Brechen, den Transport und die Gleitreibung der Eisschollen nach unterschiedlichen Gesetzen ermittelt werden müssen. In einem Versuch wurden eine Eisscholle durch eine feste, verschieden stark zu bremsende Rolle ersetzt. Beim Auflaufen eines Modelleisbrechers mit geneigtem Steven auf die Rolle zeigte das Schiff Längsbiegeschwingungen.

Die Behinderung der Schiffahrt durch das Eis auf den Wasserstraßen beeinträchtigt unmittelbar auch den Landverkehr, wenn dieser die Schiffahrtsstraße auf Fähren überquert. Das Bestreben, den Fährbetrieb möglichst lange aufrechtzuerhalten, führte am Nord-Ostsee-Kanal zum Einsatz von Fähren mit Voith-Schneider-Propellern, die unter Gondeln am Schiffskörper angesetzt sind, um eine große Eintauchtiefe zu erhalten, Hierdurch ließ sich der Betrieb bei Eis verbessern. Da jedoch die Fähren nur soweit auf die Fahrt bei Eis auszulegen sind, wie es den Betrieb im eisfreien Wasser nicht wesentlich beeinträchtigt, sind bei starker Eisführung weiterhin Maßnahmen zur Eisverringerung am Anleger und in der Fahrrinne erforderlich.

In Tideflüssen, in denen sich infolge der Schiffahrt und der großen Breiten keine feste Eisdecke bildet, ballt sich das Treibeis häufig an einzelnen Orten unter der Wirkung der wechselnden Tidebewegung, des Windes und der örtlichen Beschaffenheit des Flusses zusammen und behindert besonders dort die Kleinschiffahrt. Das ist der Fall bei der Elbe. Durch Eisablagerungen auf Stränden und Sänden, festliegende Treibeisfelder und Absperrungen der Nebenrinnen durch Eis und der dadurch entstehenden Änderungen der Flußrinne können zudem Wasserstandsänderungen eintreten, die die Fahrt tiefgehender, den Tidehub ausnutzender Schiffe erschweren. Auch eine Verringerung des Zuflusses aus dem tidefreien oberen Bereich des Flusses infolge einer dort gebildeten Eisdecke trägt zu den Wasserstandsänderungen bei. Auf der Elbe wurden in strengen Wintern Absenkungen der Thw-Wasserstände in der Größenordnung von 0,30 m ermittelt.

Die Verhinderung starker Eisansammlungen kann durch Eisbrecher und bauliche Maßnahmen erreicht werden. Auf den Binnenwasserstraßen ist der Einsatz von Eisbrechern nicht immer wirksam, da das gebrochene Eis nicht im ausreichenden Maße abgeführt werden kann. Hier muß versucht werden, durch Zugaben von warmem Kühlwasser aus Kraftwerken die Eisbildung zu verhindern oder Eisfelder abzutauen. Über den Wärmeaustausch bei der Eisbildung wurden Untersuchungen angestellt, die unter anderem ergaben, daß Treibeis einer Abkühlung des Wassers mit der Windgeschwindigkeit zunehmend entgegenwirken kann, bei geringer Windgeschwindigkeit aber die Abkühlung an seinen Rändern durch die Erzeugung vertikaler Luftbewegungen fördert. Das Ausmaß der Wärmeabgabe des Wassers ist deshalb gerade bei Treibeis schwer zu bestimmen.

Eine theoretische Betrachtung über die Wirkung der Kühlwassereinleitung aus dem geplanten Kernkraftwerk Geesthacht-Krümmel an der Elbe ergab, daß das Kraftwerkskühlwasser unter üblichen Temperatur- und Windverhältnissen nach längerer Durchsetzdauer eine Flußstrecke von 20 km bis 25 km eisfrei halten kann.

Die gleichen Überlegungen, angestellt für eine Einleitung von 20 m^3/s Kühlwasser von $+5°$ für Kanäle von etwa 50 m Spiegelbreite und 170 m^2 Querschnittsfläche — das trifft etwa für den Main-Donau-Kanal, den Elbe-Seitenkanal und den Mittellandkanal zu — ergaben eine eisfreie Strecke von 20 km Länge.

Beobachtungen und Messungen an einer Warmwassereinleitung in den Mittellandkanal bei Hannover, bei der rd. 0,5 m^3/s Wasser von 12° — 16° C gleichbeibend abgegeben werden, zeigten eine deutliche Minderung der Eisdicken in einem Einflußbereich zwischen 6 bis 20 km.

Die Warmwassereinleitungen können auch gezielt dem Gewässer zugegeben werden, um Schleusenanlagen und andere Betriebseinrichtungen freizuhalten. Ein solches Vorhaben wird am Nord-Ostsee-Kanal unter Verwendung des Kühlwassers eines im Bau befindlichen Kernkraftwerkes bei Brunsbüttel in Erwägung gezogen.

Inhalt

		Seite
1.	Wirkung von Eis auf Bauwerke	231
2.	Wirkung von Eis auf die Schiffahrt	238
2.1	Allgemeines	238
2.2	Modellversuche für eisbrechende Massengutfrachter	238
2.3	Verhalten von Fähren im Eis	242
2.4	Über Eisführung und Schiffahrtsbehinderungen durch Eis im Tidebereich der Elbe	247
3.	Mittel zur Eisbekämpfung	250
3.1	Allgemeines	250
3.2	Eisbekämpfung durch Wärmeeinleitung	251

1. Wirkung von Eis auf Bauwerke

1.1. Einleitung

Die Belastung und Beanspruchung eines Bauwerkes durch Eisangriff ist rechnerisch nicht exakt zu erfassen, da Kraftgröße und Kraftangriff von vielen gleichzeitig auftretenden, jedoch in der Praxis nicht gleichzeitig bestimmbaren Faktoren abhängen. Die oftmals bei Seebauten maßgebende Belastung aus Eisdruck muß deshalb aus Naturbeobachtungen und -messungen auf statistischem Wege ermittelt und analytisch ausgewertet werden. Die erste Voraussetzung für derartige Naturmessungen ist die Anwendung einer zweckmäßigen Meßtechnik sowohl in der gerätemäßigen Ausstattung als auch in der Abwicklung der Untersuchungen und einer schnellen Auswertemöglichkeit der Meßergebnisse. Außerdem muß beachtet werden, daß gleichzeitig mit den Kraftmessungen die Eis-, Wasser- und atmosphärischen Verhältnisse erfaßt werden, damit die Meßergebnisse von vielen Stationen miteinander in Beziehung gesetzt und keine verwirrenden Rückschlüsse oder Folgerungen aus ihnen gezogen werden können.

1.2. Allgemeines über Eisbelastung

Um die Beanspruchung von Bauwerken durch Eisangriff beurteilen zu können, sind Eisarten, mechanische Eigenschaften des Eises, Arten der Eisbildung, Eiskräfte und Bauwerksformen, auf die das Eis einwirkt, als mitwirkende Faktoren zu beachten.

Als Eisarten werden unterschieden:

Süßwassereis,

$$\text{Salzwassereis} < \begin{matrix}\text{Meereis}\\ \text{Brackwassereis}\end{matrix} \leqq \begin{matrix}24{,}7\ ‰\ \text{Salzgehalt}\\ \text{(nach Pounder)}\end{matrix}$$

Die Eishärte ist nicht groß. Sie liegt bei 1,5 der Härteskala. Auch die Elastizität ist gering. Der E-Modul schwankt zwischen 950 kp/mm² parallel und 1120 kp/mm² senkrecht zur Gefrierfläche. Diese Eigenschaften werden durch Eistemperatur, Salzgehalt, Druck und Gasgehalt (Porosität) beeinflußt. Im allgemeinen ist die Elastizität des Meereises infolge seiner inhomogenen Struktur geringer und seine Plastizität größer als die des Süßwassereises. Die mittlere Druckfestigkeit liegt bei Süßwassereis nach [3] bei

6 B = 40 kp/cm²; sie fällt bei größerem Blasenanteil ab. Bei Meereis liegt sie wegen des Salzgehalts niedriger.

Nach Schwarz [2] erreicht die Druckfestigkeit ihren größten Wert bei einer Verformungsgeschwindigkeit je cm von $\sim 0{,}003 \frac{cm}{s}$

Im Gegensatz zu anderen festen Körpern verhält sich das Eis schon bei geringer Belastung nicht nur elastisch sondern auch plastisch, sofern die Belastung lange und langsam auf das Eis einwirkt.

Bei der Beanspuchung von Bauwerken sind zu unterscheiden:

Treibeis = durch Strömung und Wind verdriftete Eisschollen

Packeis = eng zusammen- und übereinandergeschobenes Treibeis

Eisfeld = geschlossene großflächige Eisdecke

Die auf Bauwerke einwirkenden Eiskräfte werden statisch, dynamisch oder abwechselnd statisch/dynamisch wirksam und treten als Druck-, Stoß- oder Schubkräfte auf, die häufig durch Strömung mit zusätzlichen Windeinwirkungen ausgelöst werden:

Statisch als Eisdruck = Horizontalkraft, die ein geschlossenes, seitlich eingespanntes Eisfeld bei Temperaturanstieg infolge Ausdehnung ausübt. Dynamisch als Eisstoß = Stoßkraft eines treibenden Eisfeldes oder Eisblocks beim Auftreffen auf ein Hindernis. Unregelmäßig abwechselnde statische und dynamische Beanspruchung durch Eisdruck und Eisstoß = stark schwankender Kraftfluß beim örtlichen Zermalmen eines schmalen Streifens einer treibenden Eisscholle durch ein Hindernis. Hierbei treten Zwängungskräfte auf, die durch den 2achsigen Spannungszustand eine höhere Belastung ergeben, als sie sich aus der Eisdruckfestigkeit ableiten läßt.

Bisher war die Druckfestigkeit des Eises häufig Ausgangspunkt für die Festlegung des Eisdruckes. Die im Küstenbereich der Nord- und Ostsee angesetzten Belastungswerte schwankten zwischen 5 und 150 Mp/m. Beim Eidersperrwerk wurden für die Segmentschütze 15 Mp/m als statischer und 75 Mp/m als dynamisch bewirkter Eisdruck angesetzt. Auch die beim Angriff wirksame Eisdicke „h" wird unterschiedlich behandelt. Sie beträgt in Schweden h = 0,3 bis 0,7 m, in Holland h = 0,4 bis 0,5 m, in Deutschland h = 0,5 bis 1 m.

Die in Würfeldruckversuchen ermittelten Druckfestigkeiten können jedoch nicht einfach mit Annahme einer Druckfläche zur anzusetzenden Eisbelastung umgerechnet werden, da dieses zu einer erheblichen Überdimensionierung führen würde, sondern es muß eine Beziehung zwischen tatsächlichem Eisdruck und ermittelter Eisdruckfestigkeit aufgestellt werden.

In der Eidermündung an der Westküste Schleswig-Holsteins (Nordsee) wurden während des Baues des Eiderdammes Hundeknöll-Vollerwiek [1] mehrjährige Eisbeobachtungen und Eisdruckmessungen in der Natur vorgenommen. Sie dienten der Erprobung der angewandten Meßtechnik und sollten darüber hinaus Aufschlüsse über auftretende Eisbeanspruchung von Bauwerken geben.

1.3. Eisverhältnisse in der Eidermündung

Im Wattengebiet der Außeneider, das bis zu 15 m tiefe Stromrinnen und großflächige, i. M. auf NN bis NN +0,5 m liegende Platen aufweist, bestimmen Lufttemperatur, Wind und Wasserstand die Eisentwicklung. Bei einsetzendem Frostwetter herrschen meistens Ostwindlagen vor, die niedrige Wasserstände mit sich bringen und die Eisbildung günstig beeinflussen. Geringe Wassertiefen auf den großen weiten Wattflächen, die schon

bei halber Tide trockenfallen, bewirken ein rasches Absinken der Wasser- und Bodentemperatur und ein schnelles Wachsen der Eisfelder. Sobald sich die Wasserstände nur geringfügig erhöhen, schwimmen die Eisfelder auf und verstärken den Treibeisgang in den Stromrinnen. Wie die Eisbeobachtungen in den Wintern 1967/68 bis 1971/72 gezeigt haben, beginnt die Eisbildung regelmäßig bei Lufttemperaturen unter −3° C, und zwar örtlich auf den flach überfluteten Platen und an den Watträndern. Ein verstärktes Eiswachstum tritt bei Temperaturen unter −10° C ein, wobei die Wassertemperatur mit einer zeitlichen Verzögerung von 1 bis 2 Tagen folgt, wie es die Eisentwicklung im Winter 1969/70 deutlich erkennen läßt (Bild 1). Das Eis treibt dann in großen Eisfeldern mit dem Tidestrom hin und her und schiebt sich an den Rändern der Stromrinnen zu Packeisgürteln auf (Bild 2).

Beobachtete Maximalwerte:

Größe der Eisscholle	5 000 m²
Dicke der Eisscholle	30 — 40 cm
Treibeisgeschwindigkeit	1 m/s

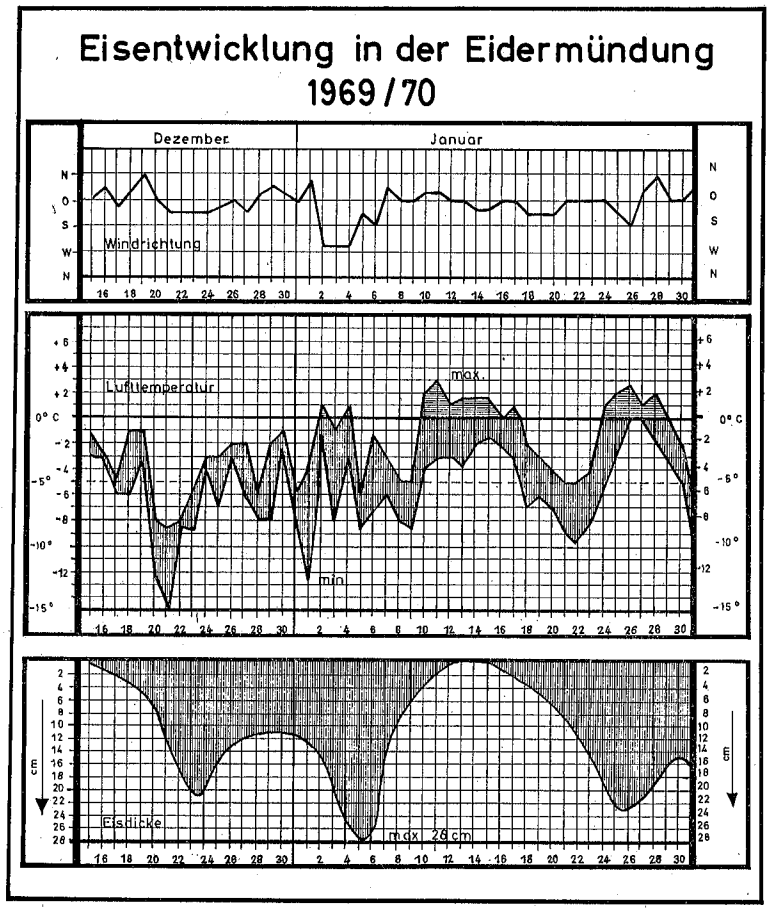


Abb. 1: Eisentwicklung in der Eidermündung

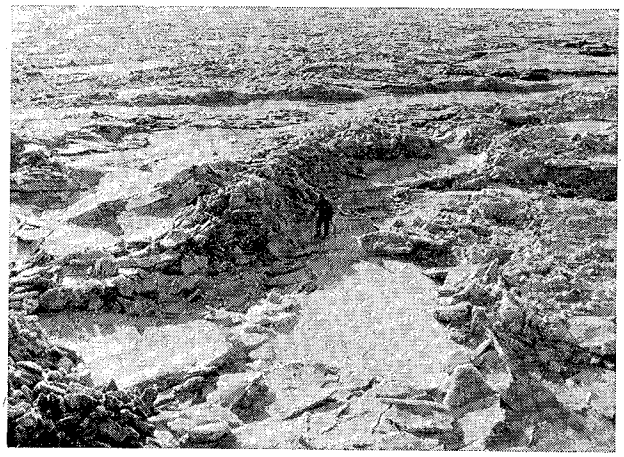


Abb. 2: Packeisgürtel in der Eidermündung

Eisfelder und Eisschollen treiben grundsätzlich in Richtung der Tideströmung. Sie werden jedoch durch Wind in ihrer Richtung stark beeinflußt.

Bei einsetzendem Tauwetter schwimmen auch die auf den Platen liegenden Eisblöcke auf und treiben in Eisfeldern oder als Einzelblöcke mit dem Tidestrom. Diese Eisblöcke haben ein maximales Volumen von 300—400 m^3 und Dicken bis zu 4 m. Sie sind für Bauwerke gefährlicher als das Treibeis. Bei beginnendem Tauwetter, das oftmals mit einer Winddrehung von Ost auf West und mit erhöhten Wasserständen verbunden ist, bewegt sich auch das Flächeneis verstärkt von den Watten in die Rinnen und bildet große Eisfelder mit zusammenhängenden und z.T. auf- und übereinandergeschobenen Schollen, die sich an den Rändern und bei Auftreffen auf Hindernisse zu hohen Packeisgürteln (bis zu 8 Metern) auftürmen.

1.4. Eisdruckermittlungen

1.41. Direkte Eisdruckmessungen

Das Eidersperrwerk wurde auf einer künstlichen Insel im Wattenmeer gebaut. Eine 900 m lange stählerne Transportbrücke stellte die Verbindung zum Festland her. Die in 40 m Abstand stehenden Brückenjoche bestanden aus Großrohrpfählen ϕ 760 mm, die in Jochlängsrichtung auf 100 Mp Eisdruck berechnet waren. Während des Eisgangs wurde der Eisdruck auf die Jochpfähle und Dalben mit Hilfe von Meßvorrichtungen und anhand von Verformungen ermittelt. An den Brückenjochen 7 und 8 waren je eine Druckmeßvorrichtung aufgebaut. Sie unterscheiden sich voneinander durch ihre äußere Form. Mit der Meßanlage am Joch 7 wurde der Eisdruck auf einen Rohrpfahl, mit der Meßanlage am Joch 8 auf eine lotrechte planebene Fläche gemessen (Bild 3).

Die Pfahldruck-Meßanlage bestand aus einem halbschalenförmigen Druckschild mit 56 Druckgebern, die in 10 Reihen übereinander saßen. Die Druckgeber arbeiteten nach der Methode der elektrischen Widerstandsmessung, wobei die elastische Verformung als Änderung des elektrischen Widerstandes von eingekerbten Dehnungsmeßstreifen gemessen und aufgezeichnet wurde. Die Meßwerte wurden durch 12 Trägerfrequenzbrücken verstärkt und mit einem direktschreibenden UV-Lichtstrahloszillographen (Visicorder) aufgezeichnet.

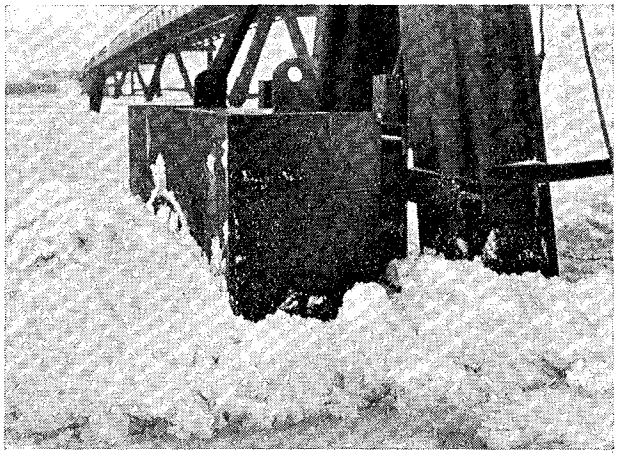


Abb. 3: Flächendruck-Meßanlage

Die Flächendruck-Meßanlage bestand aus einer großen zylindrischen Druckmeßdose ϕ 1,5 m, deren quadratischer Schutzkasten an einem vor dem Brückenjoch gerammten Zweibock montiert war. Am zylindrischen Mantel der Druckmeßdose waren aktive und passive Dehnungsmeßstreifen aufgeklebt, mit denen der auf die Druckmembrane wirkende Eisdruck gemessen wurde. Hierbei wurde die Widerstandsänderung sämtlicher Dehnungsmeßstreifen addiert, registriert und als singularer Wert aufgezeichnet. Der Gesamtdruck konnte durch Multiplikation mit dem Eichwert sofort errechnet werden.

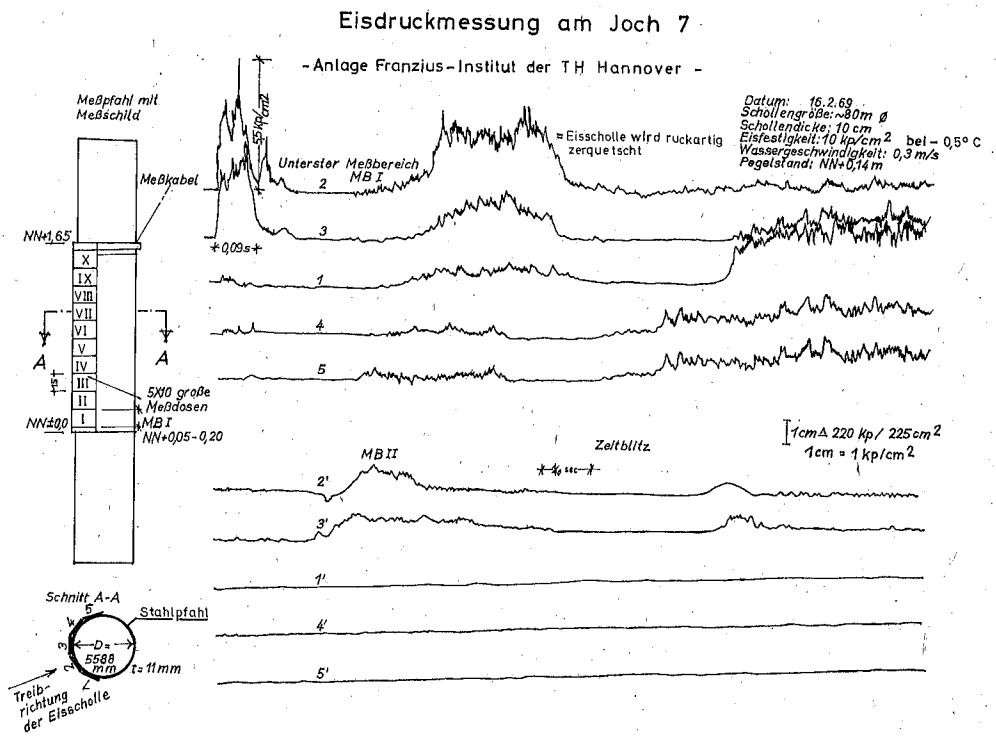
Während der Messungen mit beiden Meßanlagen wurden gleichzeitig alle übrigen interessierenden Daten wie Dicke, Richtung und Geschwindigkeit des Treibeises sowie Daten über Wind, Wasserstand und Temperatur gemessen und registriert.

Der größte Druck einer gegen einen Rohrpfahl treibenden Eisscholle entstand nicht beim ersten Auftreffen, sondern erst nach Abbremsen auf eine langsamere Treibgeschwindigkeit, wobei der herrschende einaxiale Spannungszustand sich in einen zweiaxialen umwandelt. In dieser Schnittphase wird die Scholle unter nahezu gleichbleibender Gesamtbelastung vom Jochpfahl „zersägt". Kam die Scholle zum Stillstand, so trat kurz vor Ende dieser dynamischen Belastung der größte Eisdruck auf. Der nach dem Stillstand eintretende statische Druck war immer geringer als die vorangegangene dynamische Druckbelastung.

Beim „Zersägen" der Eisschollen (Bild 4) zeigten die einzelnen Meßwertgeber des halbschalenförmigen Meßschildes ständig wechselnde Lokalbelastungen an, während der Eisdruck an der großen Meßdose weitaus geringer schwankte. Die an beiden Meßanlagen gemessenen Eisdrücke variierten je nach Temperatur, Struktur und Dicke des Eises z. T. erheblich, so daß verwertbare Ergebnisse nur aus Häufigkeitsverteilungen gewonnen werden können.

Beide Meßanlagen haben sich als richtig und brauchbar erwiesen und erstmals aufschlußreiche Messungen ermöglicht, die die Problematik des Eisdrucks verdeutlichen.

Der maximale Eisdruck auf beide Meßanlagen schwankte je nach Eisfestigkeit sowie Form und Abmessung der Meßanlage um 30 Mp Gesamtlast, wobei einzelne Spitzendrücke bis zu 20 kp/cm² auftraten. Würfeldruckversuche (10×10×10 cm) in Wachstumsrichtung des Eises ergaben in Abhängigkeit von der Eistemperatur bei einer Verfor-



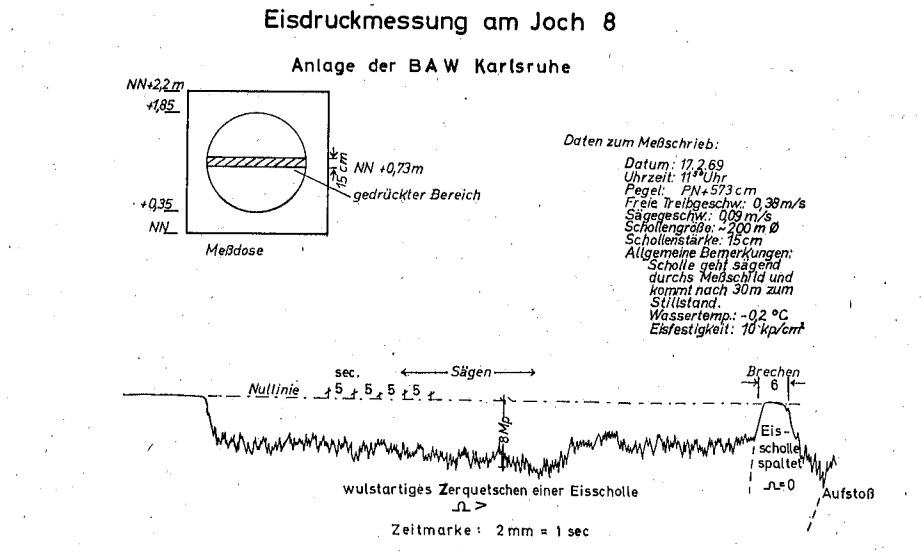


Abb. 4: Eisdruckmessung am Joch 7 und Joch 8 (Meßschrieb)

mungsgeschwindigkeit je cm von 0,003 $\frac{cm}{s}$ als mittlere Druckfestigkeiten:

$-0{,}5°\,C = 17\ kp/cm^2$
$-\ 7°\,C = 30\ kp/cm^2$
$-\ 10°\,C = 40\ kp/cm^2$

Eindeutige Beziehungen über Größe und Abhängigkeit des Eisdruckes von Treibeis können nur auf statistischem Wege aus vielen Messungen gefunden werden. Die von Schwarz [2] aufgestellte Formel für die Berechnung von Eisdruck gilt nur für kreisförmige Rohrdalben mit einem Durchmesser von etwa 60 cm. Für alle anderen Bauwerksformen und Abmessungen kann sie nur näherungsweise gelten.

1.42. Indirekte Eisdruckermittlung

Aus der Verformung freistehender Stahlrohrdalben in der Schiffahrtsöffnung der Transportbrücke infolge Treibeiseinwirkung konnten weitere überschlägliche Rückschlüsse auf die Größe des Eisdrucks gezogen werden. Der Stahlpfahl (ϕ =812,8 mm, t=12,7 mm), Stahl St 52, war 25 m lang, davon waren 11 m im Boden eingespannt. Der Pfahl zeigte nach dem Eisangriff eine obere Auslenkung von 1,55 m. Mit vereinfachten Annahmen der Verformungslinie und Formstabilität unter starrer Einspannung im Boden ergab sich eine Gesamt-Eisdruckkraft von etwa 30 Mp, die den später gemessenen Werten entsprach.

Die Eisdruck-Meßanlage am Joch 8 wurde bei starkem Eisgang (Flutstrom) nachts zerstört. Die Sollbruchstellen waren auf 60 Mp ausgelegt, die vom Eisdruck überschritten wurden.

1.5. Eisstoß und Eisabrieb

Die bei Tauwetter sich von den Watten ablösenden Eisblöcke (300—400 m^3 Vol.) treiben mit dem Tidestrom. Beim Aufprall auf ein Bauwerk ist die gespeicherte kinetische Energie maßgebend, da die Eisdruckfestigkeit wegen der großen Dicke keine entscheidende Rolle spielt. Die Größe des Eisstoßes hängt von dem Volumen des Eisblocks, der Treibgeschwindigkeit und von einem Stoßfaktor ab, der etwa wie beim Schiffsstoß anzusetzen ist. Die Treibrichtung des Eisblocks paßt sich dem Tidestrom an, da der tief eingetauchte Eisblock dem Wind praktisch keine wirksame Angriffsfläche bietet.

Beim Eiderdamm wurde beobachtet, daß das Steindeckwerk des scharliegenden *) Dammes durch längsscherende Eisschollen auf Abrieb beansprucht wurde. Die Spitzen der herausragenden Granitsteine waren nach einem Eiswinter abgerundet. Ein Herausreißen oder Abheben von Steinen war durch den Fugenverguß mit Colcretemörtel verhindert worden. Es empfiehlt sich, beim Vorkommen derartiger Eisbewegungen kein fugenoffenes Deckwerk vorzusehen.

1.6. Zusammenfassung

Die vorliegenden Beobachtungen und Messungen lassen erkennen, in welcher Größenordnung die Eisbeanspruchung auftritt. Es ist jedoch schwer, den Stoß treibender Eisblöcke in seiner absoluten Größe zu erfassen, der durch die Strömung, mit der sich der Eisblock auf ein Hindernis bewegt, maßgebend beeinflußt wird.

Natürlich ist es zweckmäßig, die Bauwerke von vornherein so zu planen, daß sie durch ihre Lage und Formgebung Eisangriffe weitgehend ausschließen oder kräftemäßig

*) f. d. Übersetzer: des unmittelbar am Wasser liegenden

abbauen. Eisschollen sollten möglichst durch ihr Eigengewicht bei freier linien- oder schmalflächiger Streifenauflagerung aufbrechen. Zu beachten ist, daß die Eisangriffsrichtung nicht nur von der Strömung, sondern wesentlich auch von der Windrichtung abhängt, ausgenommen hiervon sind Eisblöcke. Es erscheint sinnvoll, die geometrischen Körperformen wie bei der Pfeileranströmung auch bei Eisangriff systematisch zu untersuchen. Geneigte, rund oder spitzwinklig geformte Angriffsflächen sind auf jeden Fall günstiger als quer zur Treibeisrichtung stehende planebene Flächen.

2. Wirkung von Eis auf die Schiffahrt

2.1. Allgemeines

Der Schiffsverkehr auf der Seeschiffahrtsstraße kann heute durch Einsatz stärkerer und verbesserter Eisbrecher auch bei ungünstigen Eisverhältnissen aufrechterhalten werden. Die Klein- und Binnenschiffahrt wird jedoch weiterhin durch Treibeis behindert und muß in Winter häufig für mehrere Wochen eingestellt werden. Am stärksten wird der Verkehr auf den Schiffahrtskanälen beeinträchtigt, da der Abtransport des Eises bei Eisbrechereinsatz und Tauwetter in Ermangelung einer durchgehenden Längsströmung auf den bis zu 200 km langen Haltungen unterbleibt. Ist der Verkehr auf diesen Kanälen durch Eis einmal zum Erliegen gekommen, so kann er im Gegensatz zu den fließenden Gewässern auch während zwischenzeitlicher Tauwetterperioden oft noch nicht wiederaufgenommen werden. Das Eis kann zudem auch unmittelbar den Landverkehr behindern, wenn dieser den Schiffahrtsweg mit Fähren kreuzt.

Die folgenden Ausführungen betrachten einige der vielfältig zur Wirkung des Eises anstehenden Fragen, sie befassen sich mit Untersuchungen und Versuchen, die Eisbehinderung durch verbesserte Bauweisen der Schiffe zu verringern, und behandeln die Eisführung auf einem Tidefluß am Beispiel der Elbe.

2.2. Modellversuche für eisbrechende Massengutschiffe

2.21. Allgemeines

Die Erschließung bisher unzugänglicher Bodenschätze in den unwirtlichen Gebieten Kanadas und Alaskas führte zu der Frage nach geeigneten Schiffen als Transportmittel. Wegen der in arktischen Gewässern besonders extremen klimatischen und hydrographischen Bedingungen und wegen der Behinderung der Fahrt durch Eis müssen Spezialschiffe entwickelt werden, die den besonderen Beanspruchungen gewachsen sind und auch im arktischen Winter unter besonders ungünstigen Eisverhältnissen einsatzfähig bleiben.

Neben hoher Ladekapazität ist somit eine genügend große Vortriebs- und Rückwärtsleistung erforderlich, damit z. B. bei schwer zu überwindenden Barrieren mächtiger glazialer Eisinseln o. ä. ein wiederholter Anlauf unternommen werden kann.

Für den Entwurf herkömmlicher Polareisbrecher steht heute eine Reihe von Unterlagen zur Verfügung, die durch praktische Betriebserfahrung und theoretische Berechnungen erhalten wurden. Ihre Verwendbarkeit hängt von der Übertragbarkeit der Eisverhältnisse, vom Schiffstyp und von der betrachteten Schiffsgröße und -leistung ab. Für 200—400 m lange eisbrechende Massengutfrachter bei Fahrt in Eisstärken von 3—6 m lassen sich diese Unterlagen naturgemäß nur sehr begrenzt verwenden.

Eine rein theoretische Ermittlung des Schiffswiderstandes beim Eisbrechen sowie die Berechnung der seitlichen Beanspruchungen bei Eispressung ist nur beschränkt möglich,

da die Unterlagen für die tatsächlich auftretenden Werte der Eisfestigkeit und der Reibungskoeffizienten, die stark vom Alter, dem Salzgehalt, der Temperatur, dem Kristallgefüge und gegebenenfalls vom Schneebelag abhängen, noch unzureichend sind. Es ist schwierig, durch Modellversuche ein ausreichend übertragbares Bild der an einem Eisbrecher und besonders an einem Massengutfrachter auftretenden Beanspruchungen zu erhalten. Die physikalischen Ähnlichkeitsgesetze für die Umrechnung der am Modell gemessenen Widerstände beim Eisbrechen und bei der Überwindung des Reibungswiderstandes sowie ihre wechselseitige Beeinflussung sind noch weitgehend ungeklärt. Die Schwierigkeiten bei der Planung geeigneter Modellversuche gehen aus der Vielfalt der Vorgänge am Schiff beim Eisbrechen hervor.

2.22. Über Vorgänge am Schiff beim Eisbrechen

Bei Fahrt gegen eine geschlossene Eisdecke werden je nach Vorstevenneigung, Spantform, Schärfe des Wasserlinieneintritts im Eis Druck- und Biegespannungen erzeugt, die bei genügend großer Vortriebskraft des Schiffes zum Bruch des Eises führen. Geneigte Vorsteven in Verbindung mit ausfallenden Spanten beanspruchen das Eis überwiegend auf Biegung, senkrechter stehende Spanten und Steven verursachen vorwiegend Druck- und Knickbeanspruchungen. Bei homogener Eisdecke entstehen radial verlaufende Sprünge im Eis, welches dann kreisförmig um den Vorsteven abbricht und in Schollen zerfällt. Die entstandenen Schollen werden mit bestimmtem Energieaufwand gegen ihre Massenträgheit zur Seite geschoben und gekoppelt; sie werden entgegen ihren hydrostatischen Auftriebskräften untergetaucht oder gegen die Schwerkraft aufeinandergeschoben, wobei Gleitreibungswiderstände zwischen den Schollen am Vorsteven und an den Außenhaut Kanadas und Alaskas führte zu der Frage nach geeigneten Schiffen als Transportmittel. wirksam werden. Das Vorschiff ist ein Werkzeug, dessen Abmessungen, Form, Oberflächenbeschaffenheit und Fortschrittsgeschwindigkeit alle Phasen des Vorganges bestimmt. Eine Berechnung lediglich des für die Kinematik der Schollen notwendigen Energiebedarfs führt bereits zu Abschätzungen der bei gegebenem Propellerschub überwindbaren Eisdicke. Mit einem Näherungsansatz für die Reibungskoeffizienten zwischen dem Eis und der Außenhaut ist eine gewisse Verfeinerung der Rechnung vorstellbar.

Bei Fortschreiten des Schiffes im gebrochenen Kanal werden Reibungskräfte der Schollen an den Schiffsseiten wirksam. Sie sind bei Eisbrechern mit durchweg 2fach gekrümmter Außenhaut meist von geringerer Bedeutung, können jedoch den Hauptanteil im Eisfahrtwiderstand bei großen Massengutschiffen mit parallelen in weiten Bereichen ebenen Platten ausmachen. Ein nur begrenzt mögliches Verjüngen der Wasserlinienbreite nach achtern bzw. ein Verbreitern des Vorschiffes, ähnlich wie bei der „Manhattan", führt zu einer Verminderung der Schollenpressungen an den langen Schiffsseiten und setzt die Reibungskräfte herab.

2.23 Schwierigkeiten der modellmäßigen Erfassung

Die starke gegenseitige Abhängigkeit der beschriebenen Widerstandsanteile verstärkt die Schwierigkeiten, übertragbare Modellversuche selbst nur für eine als gleichförmig angesehene bestimmte Eisfahrtbedingung durchzuführen. Es müßten hierfür alle Materialkonstanten des im Modellversuch verwendeten „Eises" physikalisch richtig reduzierte Größen besitzen und es müßte gewährleistet sein, daß bei einer in bestimmtem Maße reduzierten Modellgeschwindigkeit die anteiligen Widerstandsgrößen zueinander in einem der Großausführung entsprechenden Verhältnis stehen. Wie jedoch bei normalen Schiffsmodellversuchen im freien glatten Wasser die verschiedenen Modellgesetze für zähigkeitsbedingten Reibungswiderstand und schwerebedingten Wellenwiderstand völlig unterschiedliche Modellgeschwindigkeiten bedingen und somit jeweils eine erhebliche

Widerstandskorrektur durch einen Reibungskorrekturabzug notwendig machen, so ist zu erwarten, daß die z.T. noch unbekannten Modellgesetze für das Brechen, den Transport und die Gleitreibung der Eisschollen an Eis und Stahl selbst bei maßstäblich genau reduzierten Materialkonstanten des verwendeten Modelleises jeweils unterschiedliche Gesetze für die Ermittlung der Modellgeschwindigkeit bedingen. Es muß daher bezweifelt werden, ob die bei Eisbrecher-Modellversuchen bisher verwendete Umrechnung der Modell- auf die Schiffsgeschwindigkeit nach dem Froudeschen Ähnlichkeitsgesetz zu richtigen Werten führte, da es neben den Massenkräften lediglich die rein schwerebedingten Kräfte am Modell berücksichtigt. Am Anfang dieser speziellen Modellversuchstechnik sollte daher versucht werden, zunächst eine gewisse Trennung der beim Eisbrechen am Modell bei verschiedenen Modelleisverhältnissen auftretenden Teilwiderstände vorzunehmen.

Erste Grundlagen für eine Berechnung der Arbeit beim Eisbrechen am Bug und beim Schollentransport lassen sich theoretisch und aufgrund von Beobachtungen am Schiff gewinnen (Eisbrecher-Formeln nach Vinogradov u. a.). Auch Modellversuche in gebrochenen Eisschollen vorgegebener Abmessungen (Bild 5) können einen ersten Anhalt über den Fahrtwiderstand bei bestimmter Bedeckung des Fahrwassers mit Eis liefern.

Weiterhin erscheint es sinnvoll, an geteilten Modellen durch geeignete Meßglieder bei gemessenem Gesamtwiderstand den im Vorschiffsbereich wirksamen Brechwiderstand und den an den Modellseiten wirksamen Reibungswiderstand getrennt zu erfassen und somit eine weitere Analyse zumindest des Modellverhaltens zu ermöglichen.

Angesichts der genannten Schwierigkeiten einer modellähnlichen Durchführung von Versuchen können die bisher üblichen Untersuchungen nur einen ersten Ansatz mit mehr oder weniger beschränkter Aussagefähigkeit darstellen. So ist z. B. bei Versuchen in Frischwassereis, in modifiziertem Paraffin und künstlichem Modelleismaterial eine mit übertragbarer Festigkeit verbundene Eisdicke meist erheblich zu dünn bzw. umgekehrt bei übertragbarer Dicke und Masse der Eisschollen die Festigkeit um ein Vielfaches zu hoch, wodurch die Versuche nur sehr begrenzt übertragbar werden.

Einen Fortschritt in der Modellversuchstechnik stellt die in der jüngsten Zeit vorgenommene Verwendung von durch Übersalzen in der Bruchfestigkeit heruntergesetzten

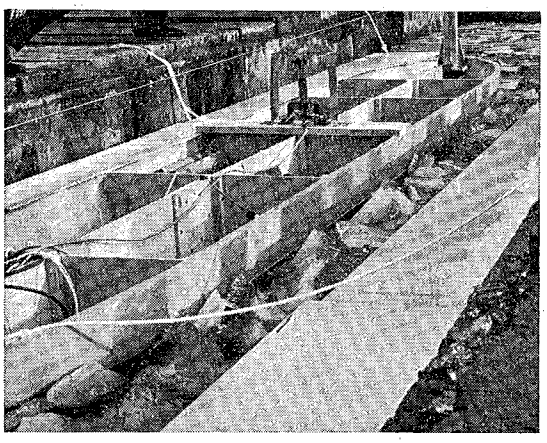


Abb. 5: Propulsionsversuche in gebrochenen Eisschollen einer Dicke von entspr. 4—5 m

Eises dar, bei dem durch bestimmte Salzkonzentrationen und gezielte Gefriermethoden bei tiefen Temperaturen Modelleis erzeugt wird. Während jedoch die Eisdicke hierbei maßstäblich richtig dargestellt wird, weicht die Festigkeitsverteilung über dem Querschnitt von der des Natureises stark ab. So wird u. a. die Festigkeit einer durch Unterkühlung erzeugten schwachen porösen Salzeisschicht durch zusätzliches Auffrieren einer dünnen Frischwassereisdecke erhöht, so daß die Oberschicht einen erheblichen Teil der Gesamtbruchfestigkeit übernimmt. Die Durchbiegung dieses Modelleises ist erfahrungsgemäß wesentlich höher als die des vergleichbaren Natureises. Es ist also auch hier noch nicht zu erwarten, daß die Größe der beim Modelleisbrechen entstehenden Eisschollen sowie ihr Bewegungsverhalten genügend übertragbar ist.

Neben den Modellversuchen zur Abschätzung der beim Eisbrechen erforderlichen Leistung ist noch eine Reihe anderer Modell-, Groß- und Laborversuche möglich, welche für die Klärung weiterer beim Entwurf eines eisbrechenden Massengutschiffes entstehenden Fragen von Nutzen sein können.

2.24. Modellversuche in der Versuchsanstalt für Wasserbau und Schiffbau Berlin

In der Versuchsanstalt für Wasserbau und Schiffbau Berlin wurden im Rahmen eines größeren Versuchsprogramms für verschiedene Typen eines eisbrechenden Massengutfrachters für die AG. Weser Bremen Versuche durchgeführt, bei denen das Verhalten des Eisbrechermodells beim Auflaufen auf eine feste verschieden stark gebremste Rolle, entsprechend etwa einer harten glazialen Eisscholle großer Dicke, beobachtet wurde und die dabei am Vorsteven auftretenden Horizontal- und Vertikalkräfte gemessen wurden. Da die Rolle, auf der der geneigte Eisbrechervorsteven hochgleitet, völlig starr angebracht war, sind die Versuchsbedingungen zu ungünstig, da selbst glaziales Eis größter Härte ein gewisses Eindringen des Vorstevens zuläßt, zumal meist jüngeres und damit weicheres Eis den glazialen alten harten Gletschereiskern umgibt. Trotzdem ergaben sich wertvolle Hinweise auf die Größe der Stoßkraftkomponenten sowie das Verhalten des Schiffes. Aus Messung und Beobachtung geht hervor, daß das Modell beim ersten Aufprall des geneigten Vorstevens auf die feste Rolle zu Längsbiegeschwingungen angeregt wird. Diese Schwingungen führten zu mehrfachem Abheben und Zurückschlagen des Modell-Vorstevens auf das Hindernis verbunden mit entsprechenden Stoßkraftspitzen.

In Bild 6 sind die horizontalen und vertikalen Kraftamplituden beim ersten Stoß des Modells auf die Rolle wiedergegeben. Die entsprechenden Amplituden des 2., 3. und 4. Aufstoßens sind von gleicher Größenordnung, streuen jedoch etwas mehr. In gewissen Grenzen wurde auch die Reibung beim Hochgleiten des Stevens verändert. Wegen der starken elastischen Biegeschwingungen des Modells an dem starren Hindernis und den damit verbundenen Meßwertstreuungen ließ sich dieser Einfluß jedoch nicht klar erfassen. Wenngleich der Stoß des Schiffes am Eis nicht so hart erfolgt wie im Modellversuch, ist anzunehmen, daß infolge der erregten Längsbiegeschwingungen Bewegungs- und Kraftamplituden auftreten, die bei der Festigkeitsberechnung beachtet werden müssen, und deren näherungsweise Bestimmung bei Reduktion der Versuchsergebnisse möglich sein dürfte.

2.25. Schlußbemerkung

Die obenstehenden Ausführungen lassen erkennen, daß wir gegenwärtig noch am Anfang einer sinnvollen Modellversuchstechnik für eisbrechende Massengutfrachter stehen, daß jedoch gute Ansätze vorhanden sind, einer Lösung der vielschichtigen Probleme näherzukommen. Weitere Groß-, Modell- und Laborversuche sowie theoretische

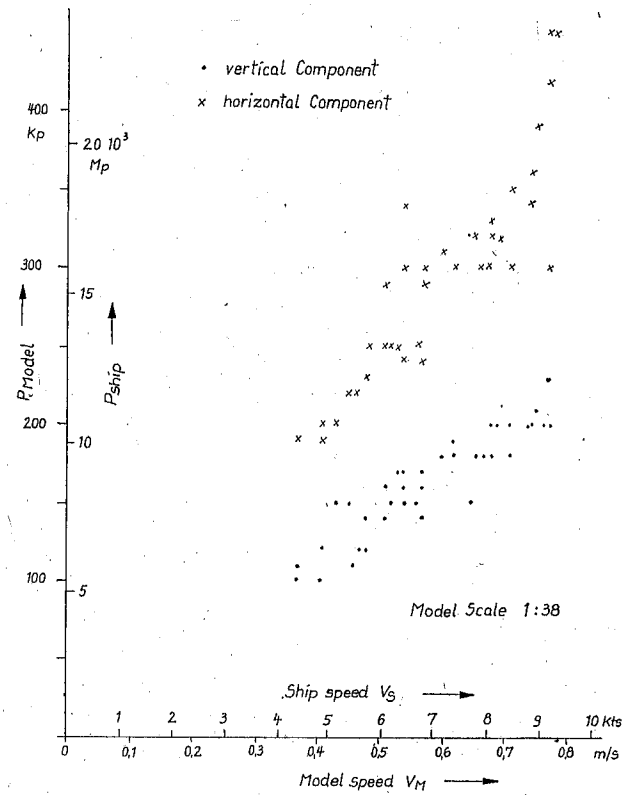


Abb. 6: Vertikale und horizontale Kräfte am Vorsteven beim ersten Stoß auf die Rolle

Rechnungen und Analysen sind in erhöhtem Maße notwendig, um gute Entwurfsgrundlagen für diese Schiffe zu schaffen, die als leistungsfähiges Transportmittel für die arktischen Bodenschätze in naher Zukunft eingesetzt werden sollen.

2.3. Verhalten von Fähren im Eis

2.31. Allgemeines

Um die hier zu betrachtenden Fähren von anderen Schiffen und der Vielzahl der möglichen Fährschiffstypen abzugrenzen, beschränken sich die Ausführungen auf die am Nord-Ostsee-Kanal (NOK auch: Kiel-canal) eingesetzten Doppelendfähren, die in beiden Axialrichtungen, also „vor-" und „rückwärts" vollkommen gleichartig fahren und manövrieren können.

Die als Binnenschiff gebauten Fähren werden von Ketten, Ruderpropellern oder Voith-Schneider-Propellern (VSP) angetrieben.

Die Beschränkung auf den NOK umfaßt alle wesentlichen Randbedingungen — mit Ausnahme der Strömung im Gewässer, wie sie bei Flußfähren zusätzlich in Betracht zu ziehen wäre.

2.32. Am Nord-Ostsee-Kanal zu berücksichtigende Gegebenheiten

Im einzelnen müssen bei den Fähren am NOK folgende Teilfaktoren betrachtet werden:

Verkehrsbedingungen:

Die Verpflichtung zur Aufrechterhaltung des Fährverkehrs erfordert besondere technische und betriebliche Anstrengungen. Die Fährschiffe müssen ihren Betrieb noch dann aufrechterhalten, wenn nur noch sehr große Schiffe den durch Eisbrecher offengehaltenen NOK befahren, während vergleichbar motorisierte Schiffe die Kanalpassage schon eingestellt haben.

Eine besondere Schwierigkeit besteht darin, daß die Fähren nicht in einer ungestörten Fahrrinne, die sie sich im Eise durch ihre Fahrtbewegungen selbst offenhalten, fahren können. Durch die Passage der in der Kanalachse fahrenden Schiffe wird das Oberflächeneis immer wieder in die Fährrinne, in die Fährbuchten und vor die Fähranleger gedrückt. Dies kann soweit führen, daß die Fährbucht bis auf den Grund mit Eis vollgeschoben wird und dann der Fähranleger mittels Greifbaggern freigehalten werden muß. Es findet also fortwährend eine Bewegung und Stauung des Eises statt, so daß die Fährschiffe erschwerten Betriebsverhältnissen unterworfen sind.

Selbst in kälteren Gegenden mit folglich größeren Eisdicken und bei größeren Wasserflächen bestehen insoweit günstigere Bedingungen.

Gewässertyp:

Das Wasser im NOK besteht im westlichen von der Elbe und durch Zuflüsse beeinflußten Teil nahezu aus Süßwasser, im östlichen Teil zur Ostsee hin zunehmend aus Salzwasser. Seewasser der Ostsee tritt durch die Schleusen in Holtenau ein. Da die Fähren überwiegend im westlichen Teil des Kanals eingesetzt sind, herrschen Süßwasserverhältnisse vor. Bei anhaltend niedrigen Temperaturen bildet sich dort rasch Oberflächeneis, welches durch Treibeis, das elbabwärts durch die Schleusen in Brunsbüttel eintritt, verstärkt wird. Die größte Wassertiefe beträgt 11 m, und der trapezförmige Kanalquerschnitt besitzt rd. 800 m² (künftig rd. 1350 m²) Fläche (eingetauchter Hauptquerschnitt des Regelschiffs rd. 200 m²), das Wärmereservoir der tieferen Wasserschichten ist deshalb verhältnismäßig gering. Hinzu kommt, daß das Wasservolumen durch die Schiffahrt stark verwirbelt wird und somit fast gleichmäßige Temperaturen annimmt.

Infolge der geringen Wärmespeicherung in der Tiefe des Kanals verliefen Versuche erfolglos, durch propellerartige Propulsionsanlagen oder durch Luft aus perforierten Preßluftleitungen in Richtung der Fährlinie die Fährbuchten eisfrei zu halten.

In Schweden führten diese Verfahren wegen der vorhandenen großen Wassermengen z. B. zu erheblichen Erfolgen.

Fährschiff:

Die Entwicklung der am NOK eingesetzten Fährtypen zeigt die nachfolgende Übersicht:

	Ketten-fähre	Schottel-fähre	Klappen-fähre	45 t VSP-Fähre	10 t VSP-Fähre
Verdräng. belad. (t)	90—115	185	234	165	414
Mot.Lstg. (PS)	2×30	2×75	2×100	2×120	4×240
Zulad. (t)	20	40	45	45	100
Lstg. (PS / Verdr. (t)	0,63—0,52	0,81	0,85	1,45	2,32

Die Fähren sind in o. a. Aufstellung nach der Indienststellung chronologisch geordnet.

Die schrittweise Vergrößerung der Zuladung trägt den steigenden Verkehrsansprüchen Rechnung.

Die Steigerung der Leistung steht im Zusammenhang mit der gesteigerten Zuladung. Wie aber die letzte Zeile ausweist, ist die spezifische Leistung PS/t überproportional gestiegen. Diese Steigerung wurde nicht nur angestrebt, um die Geschwindigkeit zu erhöhen, was bei den kurzen Fahrstrecken von ca. 150 bis 200 m bzw. 500 m in Brunsbüttel von untergeordneter Rolle bleibt, sondern um die Beschleunigungsvorgänge zu verbessern (An- und Ablegen, Manövrieren). Diese Erhöhung der spezifischen Leistung kommt dem Betrieb unter Eisverhältnissen auch unmittelbar zugute.

Es liegt auf der Hand, daß die Kettenfähren, die wegen ihres eigenartigen Antriebes dem modernen Verkehr nicht mehr gerecht werden und auch im Eis trotz des für die Fortbewegung günstigen Kettenzuges natürlich in den Fährbuchten besondere Schwierigkeiten haben, Zug um Zug durch VSP-Fähren ersetzt werden.

Bei den Schottelfähren sind spezifische Eisschwierigkeiten nicht bekannt. Einige der nachfolgend für VSP-Fähren dargelegten Erfahrungen gelten sinngemäß auch für Schottelfähren.

Zu der Wahl des Voith-Schneider-Antriebs kam es, weil er für Fähren ganz allgemein den Vorteil bietet, daß An- und Ablegemanöver mit größter Präzision und stoßfrei durchgeführt werden können. Darüber hinaus ist die Voith-Schneider-Fähre in der Lage, auf der Fährstrecke selbst sich dem vorrangigen Längsverkehr optimal anzupassen.

Da diesen Vorteilen Schwierigkeiten im Eis entgegenstehen, wurden aufgrund gesammelter Erfahrungen bei den VSP-Fähren von Anfang an bauliche Vorkehrungen zur Erhöhung der Eisfestigkeit getroffen:

Der Schiffskörper hat an den Schiffsenden in der Wasserlinie Zuschärfungen erhalten, damit ein Eisstau vermieden wird. Die zwei VSP sind unter Gondeln gesetzt, damit eine große Tauchtiefe erreicht wird. Zu den Schiffsenden hin sind die Gondeln durch besondere Kragen geschützt, welche die Eisstücke abweisen sollen, die bei der Fahrt unter den Schiffskörper gedrückt werden.

Von der Maßnahme, die Propeller durch Eiskörbe zu schützen, wurde nach verschiedenen Versuchen — trotz der guten Erfahrungen in Schweden — Abstand genommen. Im NOK wird das Eis in der Masse infolge des starken Schiffsverkehrs usw. soweit

zerkleinert, daß sich die Eiskörbe mit Eisgruß zusetzen und somit die notwendige Zu- und Abströmung unterbunden wird. Auch die Variation der Stababstände usw. führte bisher zu keinem befriedigenden Erfolg.

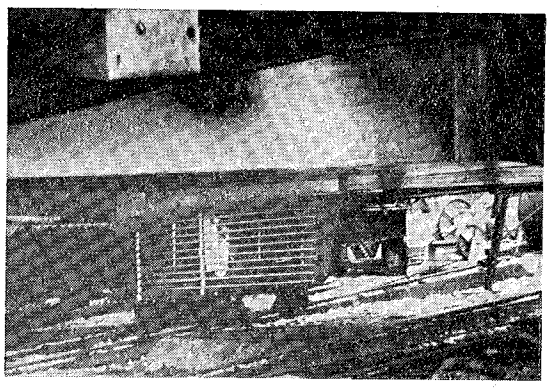


Abb. 7: Eiskorb an einer 45 t VSP-Fähre

Die 100-t-Fähren haben eine gegenüber den 45-t-Fähren weiterhin verbesserte Schiffsformgebung erhalten und sind mit zusätzlichen Eisspornen versehen, die tiefgreifende Eiszusammenballungen abweisen und die Propellerflügel vor größeren Eisschollen schützen.

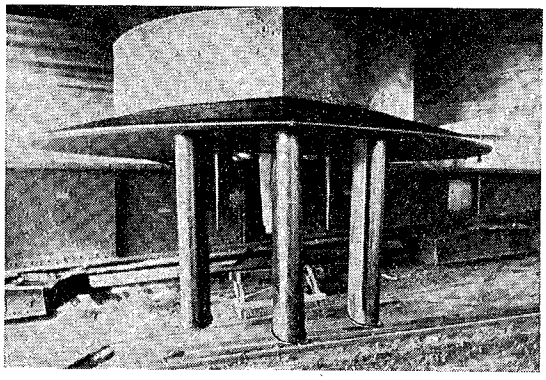


Abb. 8: Eissporne an einer VSP-Fähre

In dem besonders harten Eiswinter 1962/63 traten zahlreiche Schäden an den Flügeln und am Triebwerk ein. Es wurden daraufhin besonders eisfeste Flügel eingebaut, bei denen zudem der Schaft in Richtung Eintrittskante verschoben wurde. Hierdurch werden die Momente verkleinert, welche aus den Schlägen aus dem Zusammentreffen mit Hindernissen herrühren und in die Kinematik weitergegeben werden. Schließlich wurden Sicherheitsventile in die Steuerhydraulik eingebaut, die aus Schlägen herrührende Überdrücke ableiten und kurzzeitig Überbeanspruchungen der Kinematik abbauen.

Diese Maßnahmen wurden im langen und eisreichen Winter 1969/70 praktischer Bewährung unterworfen. Die aufgetretenen Schäden — in der Gesamtzahl geringer als 1962/63 — bestanden überwiegend aus Verbiegungen der Flügel selber. Dies bedeutet eine wesentliche Verbesserung, da die Flügel verhältnismäßig einfach ausgebaut, gerichtet und wieder eingebaut werden können. Schäden an der Kinematik sind sehr selten geworden.

Bei einer im Bau befindlichen Fähre werden die Propeller noch tiefer gesetzt. Weiterhin wird — da bisher die volle Steigung nicht ausgenutzt werden konnte — die Drehzahl reduziert und auf volle Steigung ausgelegt. Hierdurch erreicht man bei höherem Drehmoment eine Reduzierung der Umfangsgeschwindigkeit und damit eine Reduzierung der Stoßkräfte. Die Umfanggeschwindigkeiten liegen unter denen vergleichbarer Propellerschrauben, deren äußerste Kanten, an denen die Kollision mit dem Eis erfolgt, entsprechend stärker gefährdet sind.

Fährlandeanlagen:

Die bauliche Gestaltung der Landeanlagen hat auf die Verhältnisse beim Anlegen der Fähre nicht unerheblichen Einfluß.

Die landseitigen Landeklappen, durch Schwimmer dem jeweiligen Wasserstand angepaßt oder durch Hydraulik betätigt, haben eine Kraglänge von 6 m. Die Landeklappen ergeben sich aus den geometrischen Verhältnissen eines möglichst knickfreien Fahrbahn-Überganges bei unterschiedlichen Wasserständen.

In dieser Betrachtung kommt ihnen aber Bedeutung zu, da sie einen gewissen Eisstau an der Fährstelle auffangen können, ohne das Schiff beim Anlegen zu behindern. Tatsächlich jedoch ist unter besonderen schweren Umständen der Eisstau größer als die Klappenlänge. Um dem Eisstau Ausdehnungsmöglichkeit zu geben, wird eine weitflächige Fährbucht angestrebt. Die wirtschaftliche Begrenzung liegt in den hohen Kosten. Hierbei ist auch zu berücksichtigen, daß unter den bereits geschilderten Verhältnissen der Eisbewegung durch den Schiffslängsverkehr jede Fährbucht — ungeachtet ihrer Größe — durch Eisstau verstopft wird. Um einen freien Abstrom den Eises zu ermöglichen, sollte weitestgehend auf jegliche Stütz- und Führungsdalben verzichtet werden.

2.33. Der Betrieb der Fähren im Eis

Die vorstehend erörterten technischen Maßnahmen werden durch betriebliche Vorkehrungen ergänzt. Die hier ausführlich behandelten VSP-Fähren sind in ihrer Bauart soweit auf die Eisverhältnisse ausgelegt, wie es den weit überwiegenden Glattwasserbetrieb nicht — oder nicht wesentlich — beeinträchtigt. Sie sind daher nicht eisbrechende Fähren im eigentlichen Sinne. Daher werden die Rinnen der besonders stark eisbehinderten Fährstellen durch leistungsstarke Schlepper freigehalten. Bei den stark eisbehinderten Fähranlegern liegen entweder Schlepper oder Ersatzfähren mit laufenden Propellern und bemühen sich, soweit möglich, die Fährbuchten freizuspülen. Die guten Manövriermöglichkeiten des VSP werden voll ausgenutzt, um durch Traversieren die hinderlichen Eismassen beiseite zu schieben oder durch entgegengesetzte Schubrichtungen der VSP die Fährbuchten freizuspülen. Ebenso voll ausgenutzt werden die Möglichkeiten der VSP bei der freien Überfahrt, beim Ausweichen oder Abbremsen vor erkennbaren großen Eisstücken. Bei diesen Maßnahmen oder Manövern spielt natürlich Erfahrung, Reaktionsvermögen und Zielstrebigkeit der Schiffsführer eine entscheidende Rolle.

2.34. Zusammenfassung

Durch schiff- und wasserbauliche Maßnahmen ist es möglich, den Verpflichtungen zur Aufrechterhaltung des Fährbetriebes über den NOK im Eis weitestgehend gerecht zu werden. Die Aufwendungen hierfür sind beträchtlich. Wenn es nicht vollständig gelingt, Schäden im Eis zu verhüten, so darf nicht übersehen werden, daß die Fähren über 95 % ihrer Betriebszeit in Glattwasserverhältnissen fahren, dafür ausgelegt sind und auch noch unter extremen Eis-Bedingungen, wenn vergleichbar motorisierte Schiffe den Betrieb einstellen oder die Passage meiden, noch Dienst tun.

Eine analytische Erforschung des Zusammenwirkens zwischen Fähre und deren Propulsionsorganen mit dem Eise ist erschwert durch die Unkenntnis der verschiedenen Einflußgrößen. Diese wiederum scheinen z. Z. der Erforschung noch unzugänglich, da sie im betrachteten Fahrtbereich von unüberschaubaren Randbedingungen abhängig sind.

2.4. Über Eisführung und Schiffahrtsbehinderungen durch Eis im Tidebereich der Elbe

2.41. Allgemeines

Im Tidebereich der Elbe (Bild 9) bilden sich geschlossene Eisdecken nur noch auf Nebenarmen und im Tidegrenzbereich oberhalb von Hamburg. Unterhalb verhindern die Schiffahrt und die großen Breiten die Entstehung einer Eisdecke.

Das Treibeis treibt mit der Flut und Ebbeströmung stromauf und -abwärts. Dabei entstehen infolge der fortlaufend und von Tide zu Tide wechselnden Wasserstände und Strömungsgeschwindigkeiten sowie durch die ausgeprägten Unregelmäßigkeiten des Flußbettes an einigen Orten zeitweilig erhebliche Eisansamlungen, die die Kleinschifffahrt bereits bei insgesamt mittlerer Treibeisbedeckung wesentlich stören können.

In strengen Wintern kann das Eis auch eine Behinderung der Schiffahrt durch Wasserstandsänderungen herbeiführen. Sie können eintreten, wenn Eisablagerungen, festliegende Treibeisfelder und geschlossene Eisdecken in Nebenrinnen Größe und Rauhigkeit der Flußrinne verändern und eine Eisdecke, die sich im oberen tidefreien Bereich des Flusses gebildet hat, den Oberwasserzufluß verringert. Das Oberwasser und die Größe und Beschaffenheit der Flußrinne sind neben der Tidebewegung auf See die wesentlichen Einflußfaktoren für die im Tidebereich eines Flusses auftretende Wasserbewegung.

2.42. Über die Ursachen der Eisansammlungen und Wasserstandsänderungen

Zu den wesentlichen Ursachen der unterschiedlichen Eisbedeckung an den einzelnen Orten gehört außer den tidebedingten Strömungen und Wasserständen und der örtlichen Beschaffenheit in Form von Ufervorsprüngen, Einbauten im Fluß und häufigen Bänken und Nebenrinnen der Windschub, der der strömungsbedingten Drift des Treibeises entgegenwirkt oder sie verstärkt. Neben der örtlichen Beschaffenheit ist auch ihr Wechsel von Ort zu Ort von Bedeutung, da sich mit der Änderung des Flußbettes sowie der Entfernung zur See und der oberen Tidegrenze Flut- und Ebbestromdauer und der während einer Tide zurückgelegte Weg eines Wasserteilchens ändern. Da überdies die Wasserbewegung an einem Ort eines Tideflusses letztlich durch die Form des gesamten Tidebereiches als Schwingungsraum der Tidewelle bestimmt wird, ist die örtliche Situation nicht ohne Berücksichtigung der Abmessungen und Eigenheiten des gesamten Ästuars zu beurteilen.

Die Eisablagerungen im Tidefluß entstehen beim Absinken der Wasserstände, wenn beim Ablaufen des Wassers die Eisschollen trocken fallen, sich aufeinanderschieben und zusammenfrieren. Das Ausmaß der Ablagerungen hängt ab von der Neigung der Strände sowie von dem Vorhandensein von Sänden und Bänken, die bei höheren Wasserständen überflutet werden. Im Laufe mehrerer Tiden kann es besonders dann, wenn die Wasserstände im Mittel fallen, zu ausgedehnten Eisanhäufungen kommen.

Die Veränderung des Flusses durch Eisablagerungen, festliegende Treibeisfelder und geschlossene Eisdecken führt in der Regel zu einer verstärkten Dämpfung der Tidewelle, da eine größere Rauhigkeit und stärkere Ungleichförmigkeit auftritt — als Ungleichförmigkeit wird der Wechsel der Querschnittsformen und -größen über die Flußlängsachse bezeichnet. Daneben entstehen durch die Änderung des Schwingungsraumes andere Re-

flexionen. Infolge der Verringerung des Oberwassers durch die Eisdecke im tidefreien oberen Flußbereich wird auch die Anhebung des Tidewasserspiegels durch das Oberwasser kleiner. Neben der Änderung der Höhen und Eintrittszeiten der Wasserstände tritt eine Änderung der Strömungsverhältnisse und Stromwege ein, die sich auf die Eisdrift und somit auf die örtlichen Eisansammlungen auswirkt. Wenn sich starke Eisansammlungen dennoch immer wieder an denselben Orten bilden, so überwiegt hier der Einfluß der örtlichen Beschaffenheit des Flußbettes.

2.43. Eisbehinderungen und Wasserstandsänderungen in der Elbe

Bild 9 zeigt den Verlauf der Elbe zwischen Hamburg und Cuxhaven. Der Fluß weist besonders im Streckenbereich zwischen Hamburg und der Störmündung (etwas unterhalb von Glückstadt) eine unregelmäßige Linienführung auf. Die Fahrwasserrinne wechselt mehrfach die Flußseiten, bedingt durch Einflüsse, die Krümmungen, Einmündungen der Nebenflüsse und unterschiedliche Querschnittsgrößen und -formen auf den Verlauf der Tidewelle und die Strömungen ausüben. Zwischen den Ufern und der Fahrwasserrinne befinden sich stellenweise ausgedehnte Flachwasserbereiche, auf denen sich Eis ablagert. Außerdem treten mehrere Inseln, Bänke und Nebenrinnen auf, die hoch mit Eisschollen bedeckt werden bzw. zufrieren. Dieser Streckenbereich bietet somit mit seinen Unregelmäßigkeiten die Voraussetzungen für örtliche Eisansammlungen; sie treten vornehmlich bei km 645, zwischen km 651 und 654, 661 und 668 und 673 bis 681 auf.

Stromab der Störmündung bis etwa Brunsbüttel (km 700) weist die Elbe weniger starke Unregelmäßigkeiten auf. Hier sind auch die Querschnittsanteile mit geringen Wassertiefen im Verhältnis zur Größe der Gesamtquerschnitte kleiner. Unterhalb von Brunsbüttel weitet sich der Mündungstrichter der Elbe stark aus, es beginnt ein Bereich ausgedehnter Sand- und Wattflächen. In strengen Wintern kommt es seewärts der Störmündung ebenfalls zu erheblichen Eisanhäufungen, deren Eintritt aber hauptsächlich durch den Wind bedingt ist, z. B. führt Wind aus Ost-Süd-Ost zur Eisansammlung vor Brunsbüttel und Ostwind häufig zur Ansammlung vor Cuxhaven.

Im Flußbereich oberhalb von Hamburg sind die Breiten geringer, hier bildet sich eine feste Eisdecke. Sie bildet sich zunächst im Bereich der Flutstromgrenze, da sich dort das von Oberstrom herantreibende Treibeis vorübergehend staut.

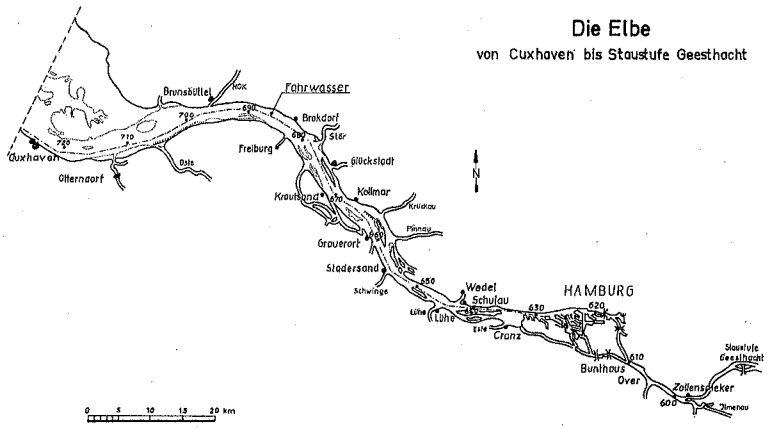


Abb. 9: Lageplan der Elbe von Cuxhaven bis zur Staustufe Geesthacht

Die Großschiffahrt wird durch die Treibeisbedeckung der Elbe nicht behindert. Die Kleinschiffahrt benötigt jedoch häufig Eisbrecherhilfe. Mehrere Schiffe folgen dann meistens in Kiellinie den routinemäßig verkehrenden Eisbrechern. Schwierigkeiten kann das Eis aber auch mittelgroßen Schiffen dadurch bereiten, daß es die Kühlwasserleitungen dichtsetzt.

Die Dämpfung der Tidewelle durch Eis wird aus Bild 10 ersichtlich. Es zeigt den Verlauf von Tnw- und Thw-Linien einer bei starker Eisführung eingetretenen Tide sowie den Verlauf der Linien, die unter sonst gleichen Voraussetzungen bei eisfreiem Strom eintreten würden. Die Linien des Verlaufes bei eisfreiem Strom sind gestrichelt für den Fall eingezeichnet, daß das Oberwasser in der selben Menge zutritt, wie sie bei der eingetretenen Tide im tidefreien Bereich unter der Eisdecke abfließt. Dieser Abfluß beträgt je nach Alter und Glättung der Eisdecke etwa das 0,3- bis 0,5fache des Abflusses im eisfreien Strom. Mit den weiteren punktierten Linien ist der Verlauf dargestellt, der sich einstellen würde, wenn der tidefreie Bereich ebenfalls eisfrei wäre und die Abflußminderung durch Eis nicht vorläge. Der Vergleich der Linien zeigt, daß bei eisführendem Fluß stromauf von Glückstadt eine Senkung der Thw-Linie und Anhebung der Tnw-Linie auftreten. Die Verringerung des Oberwassers durch die Eisdecke in der tidefreien Elbe unterstützt dabei die Absenkung der Thw-Linie und wirkt der Anhebung der Tnw-Linie entgegen. Unterhalb von Glückstadt hebt sich die Thw-Linie und senkt sich die Tnw-Linie durch die Reflexion der Tidewelle infolge der Eiswirkung oberhalb.

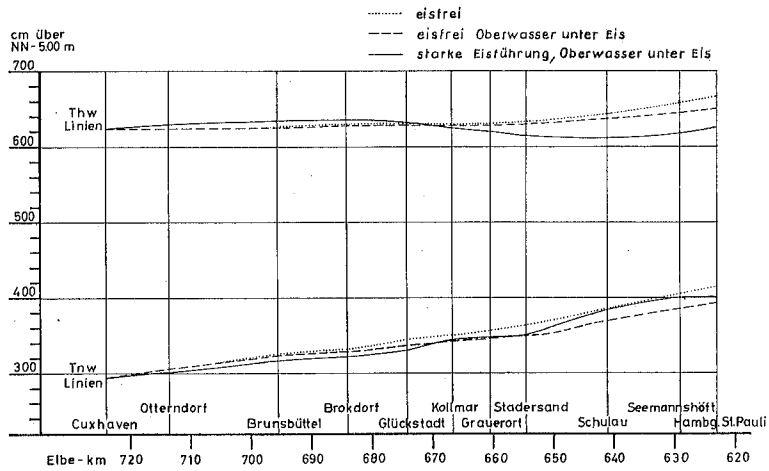


Abb. 10: Verlauf der Tnw- und Thw-Linien einer bei starker Eisführung eingetretenen Tide. Zum Vergleich der Verlauf unter sonst gleichen Voraussetzungen bei eisfreiem Strom

Naturgemäß treten von Tide zu Tide und Eiswinter zu Eiswinter unterschiedliche Tnw- und Thw-Änderungen ein. Zu der für die Schiffahrt störenden Absenkung der Thw durch Eis tritt erschwerend hinzu, daß im Winter östliche Windlagen häufig sind, die die Wasserstände in der Elbe senken. Überdies tritt die Absenkung durch Eis im Süßwasserbereich des Flusses ein, in dem die Eintauchtiefe der Schiffe größer ist. Wird der Eiswirkung auf die Wasserstände durch eine größere Keel-Clearance der Schiffe Rechnung getragen, so erhöht sich bei einem Schiff mit 14 m Tiefgang und einer Absenkung des Thw durch Eis von rd. 0,30 m die auf den Tiefgang bezogene Keel-Clearance um rd. 2%.

2.44. Zusammenfassung

Die Kleinschiffahrt kann auf großen Tideflüssen wie der Elbe, auf denen sich im Winter infolge des Schiffsverkehrs und der großen Breiten keine geschlossene Eisdecke bildet, besonders dadurch behindert werden, daß sich das Eis an einzelnen Orten ansammelt und anhäuft. Neben dem wechselnden Tideverlauf sind Windwirkung und örtliche Unregelmäßigkeiten des Flußlaufes die Ursachen der Eisansammlungen. Durch Eisablagerungen auf Stränden und Bänken, festliegende Treibeisfelder und Eisdecken auf Nebenrinnen verändert sich außerdem das Flußbett und kann hierdurch ein Absinken der Thw herbeiführen, durch das der Verkehr tiefgehender, den Zeitbereich des Thw ausnutzender großer Schiffe erschwert wird. Hinzu kommt ein Absinken der Wasserstände infolge der Verringerung des Zuflusses durch eine Eisdecke im oberen tidefreien Bereich des Flusses.

Der Wasserbauer muß bei Maßnahmen am Fluß die Wirkung des Eises auf die Schiffahrt berücksichtigen. Eine Verringerung der Eisbehinderung ist zu erreichen, wenn die Unregelmäßigkeiten im Lauf des Flusses vermindert werden. Durch diese Glättung der Linienführung läßt sich zugleich die Räumkraft auch des eisfreien Stromes, der bei knapp bemessenen Wassertiefen eine größere Bedeutung für die Schiffahrt als der Eisbehinderung zukommt, verbessern.

3. Mittel zur Eisbekämpfung

3.1. Allgemeines

Zur Eisbekämpfung wird auch heute noch vorwiegend der Eisbrecher eingesetzt. Auf den Seeschiffahrtsstraßen dient er zur Aufrechterhaltung des Verkehrs. Auf den Flüssen des Binnenlandes ist der Einsatz zur Erhaltung der Vorflut erforderlich, zugleich wird dadurch die zeitige Wiederaufnahme des Schiffsverkehrs erreicht.

Auf den Binnenschiffahrts-Kanälen, die von Binnenschiffen befahren werden, kann der Verkehr durch Eisbrecher nur dann aufrechterhalten werden, wenn bei einer durch die Schiffahrt noch gerade zu bewältigenden Eisstärke von etwa 12—15 cm keine wesentliche Neueisbildung eintritt. Sinken unter diesen Verhältnissen die Lufttemperaturen im Tagesmittel auf $-5°$ C ab, so kommt der Verkehr trotz der Eisbrecher innerhalb eines Tages zum Erliegen, da das Wasser durch die Schiffahrt bis zur Sohle ständig durchmischt, dadurch der geringe Wärmevorrat im Wasser trotz der vorhandenen Eisdecke schnell aufgezehrt wird und die Bildung von Neueis unverzüglich einsetzt. Darüber hinaus kann das Scholleneis in den schmalen Kanälen aus Platzmangel von den durchfahrenden Schiffen nicht genügend zur Seite geschoben werden. Kurz vor Einstellung der Schiffahrt besteht daher nur noch eine schmale „Fahrrinne" in der Breite eines Schiffes in Fahrwassermitte, in der Überholungen unmöglich sind und Begegnungen oft dazu führen, daß das Fahrzeug mit der schwächeren Maschine im Scholleneis seitlich festfährt. Wird das Scholleneis durch die Schiffahrt oder Eisbrecher weiter zerkleinert, entsteht ein zäher Eisbrei, der von den üblicherweise 200 bis 600 PS starken Binnenschiffen nicht mehr bewältigt werden kann. Der Eisaufbruch auf den künstlichen Wasserstraßen des Binnenlandes erfolgt deshalb überwiegend zur Verkürzung der Verkehrssperren. Bei Eintritt einer durchgreifenden Tauwetterperiode wird das Eis dort aufgebrochen, um die Dauer der Verkehrssperre zu verkürzen sowie im Fahrwasser festgekommene Schiffe zu befreien.

Auch die „Luftblasenmethode" (air-bubbles), die zur Verhütung der Eisbildung einen größeren Wärmevorrat in großer Wassertiefe erfordert, kann zur Aufrechterhaltung des Verkehrs auf den Binnenwasserstraßen mit relativ geringer Wassertiefe nicht in Be-

tracht gezogen werden, da wegen der starken Durchmischung des Wassers durch Schifffahrt und Strömung an der Sohle nicht ausreichend Wärme zur Verfügung steht. Dagegen wird das Einblasen von Luft zur Eisfreihaltung der Schleusentore im Raum Hannover seit 3 Jahren mit Erfolg angewendet. Hier kam es jedoch darauf an, Eisschollen für ein gefahrloses Bewegen der Klapp- und Stemmtore aus den kritischen Torbereichen fernzuhalten. Durch die örtlich sehr stark von der Sohle zur Wasseroberfläche aufsteigende Luft wird an der Oberfläche ein „Wasserberg" erzeugt, der bei ununterbrochenem Betrieb bei Frost einen relativ großen Bereich vor den Schleusentoren eisfrei hält.

Eingesetzt werden: Kompressor mit 4,1 m³ Stundenleistung; Betriebsdruck 2,5 atü; Luftleistung für Austrittsdüsen ⌀ 3/4 Zoll; Düsen ⌀ 3 bis 5 mm; Düsenabstände 0,5 bis 1,0 m; in 3 m Wassertiefe. Im Falle der Schleuse Uelzen (Elbe-Seitenkanal) ist ein Kompressor mit 56 m³/h vorgesehen. Das lästige und oft gefahrvolle Freieisen der Tore kann unterbleiben, die Schleusen bleiben für die Durchfahrt der Eisbrecher betriebsbereit.

Die Zuführung von angewärmtem Kühlwasser aus Kraftwerken in Industrien stellt eine weitere Möglichkeit zur Eisbekämpfung dar. In zunehmendem Maße werden schiffbare Ströme und kanalisierte Flüsse für Kühlzwecke in Anspruch genommen. Das angewärmte Kühlwasser kann in größeren Teilabschnitten für das Abtauen genutzt werden. Über solche Nutzung der Kühlwassereinleitungen wird im folgenden berichtet.

3.2. *Eisbekämpfung durch Wärmeeinleitungen*

Eine gezielte Nutzung der Kühlwassereinleitungen zur Eisbekämpfung setzt voraus, daß die Vorgänge bei der Abkühlung bzw. Anwärmung des Gewässers bekannt sind. Einige Angaben zu den physikalischen Gegebenheiten und Untersuchungsergebnisse im nachstehenden Abschnitt geben einen Einblick in diese Vorgänge. An drei Beispielen wird anschließend über Überlegungen zur praktischen Anwendung und über Versuche berichtet.

3.21. Über den Wärmeaustausch bei der Eisbildung

Bei konstanten Wetterbedingungen spielt sich innerhalb einiger Tage die Temperatur eines Flusses auf einen bestimmten Wert ein. Bei dieser Temperatur wird die durch Globalstrahlung erfolgende Wärmeaufnahme gerade kompensiert durch die Wärmeabgabe, die Verdunstung und Konvektion bewirken. Die Wassertemperatur steigt zwar im Laufe des Tages an und sinkt im Laufe der Nacht ab, sie durchläuft aber nach jeweils 24 Stunden wieder die gleichen Werte. Diese Temperatur (mit Tagesgang) wird als Gleichgewichtstemperatur bezeichnet. Im Winter kann diese Gleichgewichtstemperatur etwa mit der Lufttemperatur gleichgesetzt werden.

Bei einem Kaltlufteinbruch wird die Gleichgewichtstemperatur plötzlich nach unten verschoben. Die Geschwindigkeit, mit der sich dabei das Gewässer der neuen Lufttemperatur anzupassen versucht, ist proportional der Differenz zwischen momentaner Wassertemperatur und der neuen Gleichgewichtstemperatur, sie hängt außerdem von der Wassertiefe und der Windgeschwindigkeit ab. In der folgenden Tabelle sind einige Werte für die Wärmeabgabe (Wärmeeinheiten je m² und Grad Temperaturdifferenz) bei verschiedenen Windgeschwindigkeiten aufgeführt:

Windgeschwindigkeit	0 m/s	3 m/s	8 m/s
offenes Wasser von 0°	15 W/m², grd	25 W/m², grd	35 W/m², grd
Kerneis von 3—5 cm Dicke	10 W/m², grd	16 W/m², grd	

Solange die Wasserfläche wärmer ist als die Luft, sind die abgegebenen Wärmeleistungen je Grad Temperaturdifferenz um 3 % höher anzusetzen.

Durch die Wärmeabgabe aus der Oberfläche wird die darunter liegende Wassersäule gekühlt. Je tiefer der Fluß, desto langsamer sinkt seine Temperatur. Bei fortschreitender Abkühlung sinkt die Temperatur bis unter 0° und steigt dann bei Einsetzen der Eisbildung auf 0° an.

Sobald Eis an der Oberfläche erscheint, ändert sich auch die Wärmeabgabe. Messungen der Oberflächentemperaturen haben ergeben, daß z. B. bei einer Lufttemperatur von −15° und schwachem Wind die noch offenen Wasserflächen eine Temperatur von −1° haben, ebenso kleine Treibeisstrukturen und die inneren Flächen von noch nassen Treibeistellern. Die Kragen von Treibeistellern haben Temperaturen, die bei blauem Himmel etwas unter der Lufttemperatur liegen. Wenn im weiteren Verlauf der Eisbildung die inneren Flächen der Treibeisteller gefrieren, sinkt deren Temperatur ab, bis sie bei einigen dm Mächtigkeit die Temperatur des Kragens erreichen. Da die Temperaturdifferenz zwischen Gleichgewichtstemperatur und Oberflächentemperatur dann ~ 0 ist, ist auch die Wärmeabgabe ~ 0, d. h. die Treibeisteller wirken als Wärmeisolator. Das muß aber nicht heißen, daß die Wärmeabgabe des Flusses damit reduziert sei im Verhältnis: noch offene Fläche zu Gesamtfläche. Einerseits verringern die Treibeisteller mit ihren hohen Kragen die Windgeschwindigkeit in Nähe der Wasseroberfläche. Andererseits werden durch die sehr großen Temperaturunterschiede zwischen Wasseroberfläche und den Kragen der Treibeisteller vertikale Luftbewegungen angefacht, die besonders bei geringen Windgeschwindigkeiten zu einer erheblich erhöhten Wärmeabgabe führen können. Über einem treibeisführenden Fluß kann man bei schwachem Wind die Luft flimmern sehen wie über einem trockenen Boden in der Sommersonne. Quantitativ läßt sich die Änderung des Wärmeaustausches sehr schwer verfolgen, weil die Menge des gebildeten Treibeises fast nicht zu bestimmen ist.

Wenn sich eine geschlossene Eisdecke gebildet hat, gibt es auch jene Effekte nicht mehr, die durch die relativ warmen Wasserflächen zwischen den Eisschollen bedingt sind. Mit zunehmender Dicke der Eisdecke nimmt ihr Wärmeisolationsvermögen zu. Wenn schließlich nur noch so wenig Wärme vom Wasser durch das Eis an die Atmosphäre gelangt, wie gleichzeitig vom Untergrund und aus der Energie des Gefälles ans Wasser geliefert wird, kommt das Dickenwachstum zum Stehen.

Das Wärmeisolationsvermögen dünner Kerneisdecken läßt sich ohne Berücksichtigung der zuletzt genannten Energiequellen aus der Wachstumsgeschwindigkeit bei bestimmten Wetterlagen bestimmen. Für die ersten 3—5 cm Eisdicke sind die in der vorstehenden Tabelle eingetragenen Wärmeabgaben berechnet. Das Wärmeisolationsvermögen von blankem Kerneis ist nicht sonderlich groß, was sich auch in relativ hohen Oberflächentemperaturen äußert. Eisdecken, die aus zusammengeschobenen Treibeistellern hervorgegangen sind, tragen auf einer kreisähnlichen Platte eine Kruste aus lockerem Material hohen Isolationsvermögens, das von den Kragen der Treibeisteller stammt.

3.22. Nutzung der Abwärme von Kraftwerken

Als erstes Beispiel wird das geplante Kraftwerk Krümmel betrachtet. Dieses Kraftwerk soll an der Elbe etwa 6 km oberhalb des Wehres Geesthacht gebaut werden. Es soll 1200 MW elektrische Leistung erzeugen und 2600 MW Abwärme = 620 Mcal/s in den Fluß leiten. Damit lassen sich bei einer erforderlichen Schmelzwärme von 80 Mcal/t 7,75 t/s Eis schmelzen. Da der Abfluß stromauf der Einleitung durch eine Eisdecke gebremst wird, herrschen kleine Strömungsgeschwindigkeiten, so daß das eingeleitete Warmwasser sich über den Querschnitt verteilen kann. Leichtes bis mittleres Treibeis wird auf dem Weg bis zum Wehr (die Fließzeiten betragen 3 bis 5 Std.) geschmolzen werden. Ob die großen Treibeisteller von 3—6 m ϕ und bis 0,4 m Dicke innerhalb

dieser Strecke schon aufgeschmolzen werden, ist fraglich, weil in der recht ruhigen Strömung das an der Unterseite der Teller durch den Schmelzvorgang abgekühlte Wasser nur allmählich durch frisches warmes Wasser ausgetauscht wird. Wenn wesentlich mehr als 7,75 t/s Eis am Kraftwerk vorbeitreiben, kann es wie bisher zum Eisstand kommen. Diese Eisdecke würde durch die eingeleitete Abwärme von unten her auftauen. Die Flußoberfläche bis ans Wehr beträgt 1,4 Mio m², die Masse der Eisdecke etwa 280 000 t. Bei einer Abschmelzleistung von 7,75 t/s wären etwa 10 Stunden erforderlich, um die Decke bis zum Wehr wieder aufzuschmelzen.

Bei einem in diesem Gebiet gängigen Kaltlufteinbruch mit Lufttemperaturen um −12° und Windgeschwindigkeiten um 5 m/s werden der Wasserfläche etwa 400 W/m² Wärme entzogen. Die 2600 MW des Kraftwerkes reichen aus, den Wärmeentzug aus 6,5 Mio m² Flußoberfläche nachzuliefern. Das genügt, um eine Flußstrecke von etwa 20—25 km Länge unterhalb des Kraftwerks eisfrei zu halten. Da mit wachsender offener Fläche ein zunehmender Anteil der Abwärme an die Atmosphäre abgegeben wird und zum Schmelzen der vorhandenen Eisdecke immer weniger Wärme übrigbleibt, wird diese Strecke erst nach langer Zeit offen sein.

Wenn oberhalb des Kraftwerks Eisbrecher arbeiten, treiben Eistafeln von 5—20 m ϕ und ca. 0,3 m Dicke am Kraftwerk vorbei. Die Wehranlage Geesthacht wird durch diese harten Brocken beim Überfall sehr stark beansprucht. Gestützt auf Ergebnisse aus Laboruntersuchungen von Sokolov [4] wurden Abschmelzgeschwindigkeiten der Eistafeln auf dem Weg zwischen Kraftwerk und Wehr zu etwa 0,3—1 cm/Std. errechnet. Während der Fließzeit bis zum Wehr wird dann eine Schicht von 0,9—5,0 cm Dicke von der Unterseite der Tafeln abschmelzen. Somit wird die Dicke der Eistafeln durch die Einleitung des Warmwassers verringert. Da aber die Temperatur im Eis von der Lufttemperatur bestimmt wird, verringert sich die Härte des Eises durch die Kühlwassereinleitung nicht. Jedoch erfolgt der Einsatz der Eisbrecher in der Regel erst bei einsetzendem Tauwetter und relativ höheren Lufttemperaturen.

Als zweites Beispiel sei die Eisbekämpfung durch Abwärme in Kanälen der BRD diskutiert. Der Main-Donau-Kanal, der Elbe-Seitenkanal und der Mittellandkanal nach seiner Verbreiterung haben jeder etwa 50 m Spiegelbreite und etwa 170 m² Querschnitt. Es wird wieder der Kaltlufteinbruch mit −12° C und 5 m/s zugrunde gelegt, bei dem der Wasserfläche 400 W/m² entzogen werden.

Wenn 20 m³/s Kühlwasser von + 5° C in den Kanal gepumpt werden, lassen sich damit 420 MW Abwärme einleiten. Diese Wärmemenge reicht aus, den Wärmeverlust von rd. 10^6 m² Wasserfläche nachzuliefern. Das sind bei 50 m Breite 20 km Kanallänge. Wenn die Wassertemperatur vor dem Kraftwerk 0° C, nach dem Kraftwerk +5° C war, so ist sie nach 20 km wieder 0° C. Die Strömungsgeschwindigkeit beträgt etwa 12 cm/s, die Fließzeit etwas über 2 Tage. Um den Kanal durchgehend eisfrei zu halten, müßte alle 20 km eine derartige Abwärmeeinleitung installiert werden.

Der Unterschied zwischen momentaner Temperatur (+ 2° C) und Gleichgewichtstemperatur (− 13° C) unter den genannten Bedingungen beträgt etwa 15° C. Wenn jetzt Tauwetter eintritt, die Gleichgewichtstemperatur z. B. auf 0° C ansteigt, verringert sich dieser Abstand im Mittel auf 3,5° C. Damit verringert sich auch die Abkühlgeschwindigkeit auf etwa 1/4 des ursprünglichen Wertes. Wenn längs eines Kanals eine Kette von Kraftwerken installiert ist, die bei Eisgefahr alle 20 km 420 MW Abwärme einleitet, so müssen diese Kraftwerke bei Tauwetter ihre Einleitung auf je 100 MW Abwärme drosseln, um den Kanal nicht übermäßig aufzuheizen. Außerhalb der Frostperioden müssen sie also ihre Abwärme größtenteils über Kühltürme oder anderweitig abführen. Diese doppelte Installation macht das Verfahren sehr kostspielig.

Das dritte Beispiel behandelt die Auswirkungen einer ständig in Betrieb befindlichen Warmwassereinleitung bei Hannover in den Mittellandkanal mit einer Wassermenge von rd. 0,5 m³/s und einer Temperatur von 12°—16° C im Winter. Hier wurden im Winter 1969/70 Messungen und Beobachtungen über Größe und räumliche Ausdehnung der Beeinflussung der Warmwasser-Einleitung auf die Zu- und Abnahme der Vereisung des Kanals durchgeführt.

Die wichtigsten Ergebnisse der Untersuchung waren:

Ohne Zufuhr von Warmwasser nahm die Eisstärke mit sinkenden Lufttemperaturen bis zu einem Beharrungszustand zwischen 25 und 30 cm stetig zu. War dieser Zustand erreicht, wurde die Eisstärke durch nachfolgende Wärme- und Kältewellen nicht mehr nennenswert verändert, da die starke Eisdecke den Wärmeaustausch zwischen Luft und Wasser weitgehend verhinderte.

Im mittelbaren Einflußbereich der Warmwassereinleitung (6 — 20 km Entfernung) nahm die Eisbildung unter der Einwirkung von Kaltluft nur zögernd zu. Jeder Anstieg der Lufttemperaturen noch unter dem Gefrierpunkt bewirkte einen Stillstand in der Eisbildung. Stiegen die Lufttemperaturen über den Gefrierpunkt an, so war eine sofortige Abnahme der Eisstärke zu verzeichnen.

Im unmittelbaren Bereich kam es entweder zu keiner oder in äußersten Extremfällen zu einer die Schiffahrt nur leicht behindernden Eisdecke (5 cm bis 10 cm). Diese Strekken waren bei jeder Frostmilderung unter dem Gefrierpunkt nach kurzer Zeit wieder eisfrei.

Im Einflußbereich von Warmwasser-Einleitungen erreichten die Wassertemperaturen bei starken Frosteinbrüchen den Gefrierpunkt später als in den übrigen Strecken. Wegen des aufgespeicherten Wärmevorrats im Wasser setzte die Eisbildung ebenfalls später ein, so daß der Verkehr über kurze Frostperioden aufrechterhalten werden konnte, während er wenige Kilometer weiter oft für 8 bis 10 Tage wegen starker Vereisung nicht möglich war.

Auf den von 30 m auf 47 m verbreiterten Kanalstrecken wurde eine 20 % bis 25 % größere Eisdicke gemessen. Die Ursache konnte bisher nicht festgestellt werden.

Aufgrund dieser Untersuchungsergebnisse wurde im Januar 1972 mit Beginn der ersten Frostperiode in Minden ein Versuch durchgeführt, bei dem über das dortige Hauptpumpwerk in 72 Stunden (3 Tage) 2 962 000 m³ Wasser (rd. 13 m³/s) aus der Weser in den Mittellandkanal gepumpt wurden.

Wegen der etwa 20 km oberhalb von Minden an der Weser gelegenen Kraftwerke Veltheim und Kirchlengern betrug die Wassertemperatur in der Weser zu Beginn des Versuches noch + 5,3° C, sie sank während des Versuches bis auf + 0,6° C. Im gleichen Zeitraum nahmen die mittleren Tageslufttemperaturen von − 3° C auf −11° C ab, die Wassertemperaturen des Mittellandkanals betrugen bei Versuchsbeginn in Minden + 2,2° C und 18 km östlich + 0,5° C.

Es war vorgesehen, die gesamte gepumpte Wassermenge von Minden durch den 81 m² umfassenden Kanalquerschnitt in Richtung Osten über einen Auslaß bei Hannover in die Leine zu leiten. Mit dem im Versuchszeitraum von 3 m/s auf 10,7 m/s zunehmenden Ostwind wurden jedoch 37 % der gepumpten Wassermenge von Minden nach Westen verfrachtet. Der Versuch mußte wegen des auf + 0,6° C abgekühlten Wassers aus der Weser und des im Westen für die Schiffahrt gefährlichen Windstaus (zu niedrige Brückendurchfahrten) vorzeitig abgebrochen werden. Zu diesem Zeitpunkt war der Mittellandkanal auf einer Strecke von 18 km westlich und 13,5 km östlich vom Pumpwerk Minden noch eisfrei, während die mittlere Eisstärke außerhalb dieser 31,5 km lan-

gen eisfreien Strecke bereits 9 cm betrug. Die längere eisfreie Strecke westlich von Minden, in die nur 37 % der gesamten gepumpten Wassermenge einströmte, war durch die in den ersten 1½ Versuchstagen um etwa 3° C im Tagesmittel höheren Lufttemperaturen als östlich von Minden bedingt.

Als letztes Beispiel werden Überlegungen zur Eisbekämpfung bei den Schleusenanlagen des NOK in Brunsbüttel beschrieben.

Der Nord-Ostsee-Kanal ist am Zugang zur Elbe mit 2 Schleusenpaaren ausgestattet, den sogenannten Alten Schleusen und den später gebauten Neuen Schleusen. Die Schleusen dienen dem Schiffsverkehr, der Entwässerung und sind gleichzeitig Landesschutzdeich.

Die Alten Schleusen sind mit Stemmtoren — mit Ebbetoren und Fluttoren — ausgerüstet. Beim Vereisen der Wasserflächen der Schleusenkammern und vor allem der Stemmtornischen der Alten Schleusen wird das Schleusen durch die Alten Schleusen unmöglich.

Die Neuen Schleusen sind mit Schiebetoren ausgerüstet. Durch Vereisen bildet sich in der feingliedrigen Fachwerkkonstruktion auf den Ballasttanks usw. ein Eispanzer. Der Eispanzer bringt große Belastungen der Schiebetore bei Niedrigwasser und starken Auftrieb bei Hochwasser. Eine ständige Änderung der Balastierung der Tore wird erforderlich. Die Neuen Schleusen bleiben dann zwar noch betriebsfähig, jedoch werden die Torfahrten erschwert und verlangsamt.

Durch die Einleitung von Warmwasser in den Binnenhafen Brunsbüttel könnte die Wasserfläche des Nord-Ostsee-Kanals im Bereich Brunsbüttel einschließlich der dort befindlichen Fährbuchten eisfrei gehalten werden. Die von der Elbe in den Binnenhafen driftenden Eisschollen würden nach und nach aufgetaut werden. Angewärmtes Wasser würde in die Schleusen eindringen und eine Verringerung des Eises in den Schleusenkammern und Tornischen bewirken. Besonders bei in der Elbe niedrigeren Wasserständen als im Nord-Ostsee-Kanal würde das angewärmte Wasser durch den Schleusungsvorgang vom Binnenhafen durch die Schleusen in die Vorhäfen strömen und so zumindest die Schleusenkammern und Tornischen eisfrei halten.

Nach überschläglicher Ermittlung kann bei einer Übertemperatur von 8° C (vorgeschriebener Höchstwert) und einer Einleitung in unmittelbarer Nähe der Schleusen bei einem Kühlwasserbedarf von rd. 7 m³/s bis 10 m³/s eine Kanalstrecke von rd. 2000 m Länge eisfrei gehalten werden. Bei Ausdehnung der Warmwasserzone bis zur Fähre Ostermoor, die etwa 2500 m von den Schleusen entfernt liegt, wird der Bedarf angewärmten Kühlwassers etwa bei 15 m³/s liegen. Dieser Bedarf kann aus den Kühlwasserabläufen des Kernkraftwerks Brunsbüttel (rd, 45 m³/s) und der noch anzusiedelnden Großindustrie leicht gedeckt werden.

Das Kernkraftwerk liegt jedoch an der Elbe in einer Entfernung von rd. 5 km von den Schleusen des Nord-Ostsee-Kanals. Da das Kernkraftwerk den größten Anteil des angewärmten Wassers liefern müßte, muß noch untersucht werden, ob die Kosten einer Einleitung im angemessenen Verhältnis zu dem Nutzen stehen.

Gegen die Einleitung spricht, daß im Raum Brunsbüttel nur selten strenge Eiswinter auftreten. Bei dauernder Einleitung treten Einbußen für die Wassergüte und das Fischleben ein, da dann im Sommer mit Wassertemperaturen im Bereich von 30° C und auch im Winter mit zeitweiligen örtlichen Temperatursteigerungen bis zu rd. 15° C gerechnet werden muß. Somit muß der Betrieb einer den Anforderungen entsprechend unterschiedlich zu beaufschlagenden Zweigleitung in Erwägung gezogen werden.

Zusammenfassend betrachtet ergibt sich aus diesen Beispielen, daß das Kühlwasser der Kraftwerke und Industriebetriebe ein gut geeignetes Mittel zur Eisbekämpfung ist. Der gezielte Einsatz setzt jedoch voraus, daß er fester Bestandteil der Überlegungen über Standort und Betrieb der mit Kühlwasser arbeitenden Werke wird. Dies sollte im Hinblick auf den großen volkswirtschaftlichen Nutzen, der sich aus einer weitgehenden Verringerung der Eisbehinderung auf den Schiffahrtsstraßen ergibt, zu erreichen sein.

Schrifttumsverzeichnis

[1] CORDES, F.: Eiderdamm Hundeknöll-Vollerwiek. Die Bautechnik 1970 H. 11 S. 361 bis 370, H. 12 S. 397—402; 1971 H. 9 S. 289—294, H. 10 S. 325—344; 1971 H. 11 S. 377 bis 387; 1972 H. 7 S. 219—228

[2] SCHWARZ, J.: Treibeisdruck auf Pfähle. Mitteilungen des Franzius-Instiuts für Grund- und Wasserbau der Technischen Universität Hannover 1970 H. 34 S. 89—193

[3] WICKERT, G / SCHMAUSSER, G.: Stahlwasserbau. Springer-Verlag Berlin - Heidelberg - New York 1971

[4] SOKOLOV, J. N.: Meteorologija i gidrologija 1954 No. 44—45

Abteilung II — Seeschiffahrt —

Thema 5

Anwendung der Datenverarbeitungstechniken in der Konzeption und dem Betrieb der Häfen

von

Günter Bischoff, Abteilungsdirektor, Hamburger Hafen- und Lagerhaus-AG, Hamburg; Jörg Steinecke, Dipl-Kaufmann, Geschäftsführer der Datenbank Hafen Hamburg GmbH, Hamburg.

Thema des Berichts

Computergesteuerte Informationssysteme zur Rationalisierung der Seehafendokumentation

Zusammenfassung

1.0. Den Informations- und Dokumentationserfordernissen eines Seehafens kann auf die Dauer mit herkömmlichen manuellen Methoden nicht mehr Rechnung getragen werden. Im Hafen Hamburg wurde deshalb eine Gesellschaft gegründet, die das gesamte dokumentationsbezogene und formularmäßige Zusammenspiel innerhalb der Transportkette unter Einsatz eines zentralen, für alle Hafenbetriebe arbeitenden Datenverarbeitungssystems unter Anwendung der Datenfernverarbeitung steuern soll.

2.0. Daneben ist für den Betrieb des Container-Terminals Burchardkai ein Container-Operating-Control-System (COCS) eingeführt worden, welches spezielle Aufgaben dieser Großanlage zu bewältigen hat.

1.0. Datenbank Hafen Hamburg
— Ein computergesteuertes Informations- und Dokumentationssystem

1.1. Seit nahezu zwei Jahren wird im Hamburger Hafen ein Informationssystem entwickelt, welches bereits in der ersten Stufe dazu geführt hat, mit Hilfe eines zentralen Computers und bislang knapp 35 direkt angeschlossenen Dateneingabestationen monatlich fast 30 000 Exportsendungen abzuwickeln. Der Grund für die Entwicklung dieses Hamburger Vorhabens liegt in der inzwischen gewonnenen Erkenntnis, daß mit zunehmender Menge und Geschwindigkeit des Güterumschlags die herkömmliche, papiermäßige Warenabfertigung ausgesprochen problematisch ist:

— Steigende Gütermengen lassen den „Papierkrieg" entsprechend anwachsen.

— Kürzere Verweildauer der Güter im Seehafen zwingt zu beschleunigter Dokumentationserstellung und besserer Disposition.

— Sinkende Personalkapazität führt leicht zu fehlerhafter Formularerstellung, Nichteinhaltung von Ladeschlußterminen und häufig sogar zu dem Effekt, daß Verschiffungsdokumente später als die Waren im Empfangshafen ankommen.

Im Zuge der Tendenz, den gesamten Transportablauf vom Verlader bis zum Empfänger computermäßig zu überwachen, äußern vor allem größere Verlader den Wunsch, Informationen auf maschinenlesbaren Datenträgern zu speichern. Das ist — zumindest

bei herkömmlich verladenem Stückgut — heute in aller Regel im Seehafen noch nicht möglich.

Alle diese Gründe führen nun dazu, daß nach Methoden gesucht werden muß, den aufgezeigten Mängeln mit umfassenden Rationalisierungsmaßnahmen zu begegnen. Hamburg hat die ersten Schritte in dieser Richtung getan: Die folgenden Ausführungen sollen einen Überblick über die bisherigen Aktivitäten und zukünftigen Planungen geben und damit grundsätzliche Lösungsmöglichkeiten für ein in allen Seehäfen relevantes Problem aufzeigen.

1.2. Gegebenheiten

Da in fast jedem Hafen die Arbeitsabläufe im Bereich der Dokumentation voneinander differieren, werden zum besseren Verständnis zunächst die spezifisch Hamburger Verhältnisse und Funktionszusammenhänge kurz beschrieben:

1.21. Verlader, Verschiffungsspediteur

Im Rahmen der Dokumentation ist der Verlader bzw. Verschiffungsspediteur in Hamburg das erste und bedeutendste Glied in der zunächst auf den Export beschränkten Transportkette. Er erhält als erster die wesentlichen Wareninformationen in Form von Warenbegleitpapieren (Avisen, Frachtbriefen, Ausfuhrerklärungen usw.) und weist den Kaiumschlagsbetrieb mit Hilfe des Hauptanlieferpapiers „Schiffszettel" und sonstiger Formulare über die zu treffenden Maßnahmen an, informiert ggf. den Reedereivertreter (Linienagent/Schiffsmakler) über die zur Verschiffung notwendigen Daten, stattet durch Erstellung von Konnossementen (Bill of Lading = B/L) den Verfügungsberechtigten der Güter mit den erforderlichen Nachweisen aus, gibt Packvorschriften bei Container-Verladungen und versorgt seine Auftraggeber durch eine Vielzahl unterschiedlicher Formulare mit den erwünschten Informationen und Nachweisen.

1.22. Kaiumschlagsbetrieb

Der im wesentlichen für Güterumschlag und -lagerung zuständige Kaiumschlagsbetrieb erhält seine Arbeitsansweisungen vom Verlader, gibt jedoch selbst zumeist keine Daten an andere weiter.

1.23. Schiffsmakler

Der Schiffsmakler, der vom Verlader und anderen für ihn tätigen Betrieben (Ladungskontrolle) informiert wird, gibt alle Waren- und Verschiffungsdaten an seinen Auftraggeber in Form von ihm erstellter Ladungsmanifeste, ihm vom Spediteur übergebener Konnossemente und sonstiger Speziallisten weiter und nimmt darüber hinaus die im Frachtmanifest niedergelegte Seefrachtberechnung vor.

1.24. Tally

Eine gewisse Kontrolle baut sich der Schiffsmakler in aller Regel durch Einschaltung eines Ladungskontrollbetriebes (Tallymann) ein. Dieser wird ebenso wie der Kaiumschlagsbetrieb vom Verlader durch den Schiffszettel informiert und ordnet bzw. sortiert zahlreiche wichtige Güter- und Verladeinformationen nach den verschiedensten Kriterien in mehreren Total-, Sendungseinzel- und Sonderlisten. Die Weitergabe erfolgt sowohl an den Schiffsmakler und das Schiff selbst als auch in vielen Fällen an den Kaiumschlagsbetrieb.

1.3. Aufgabenstellung für die EDV-Anlage

Der beschriebene „Datendurchfluß" dürfte schon verdeutlicht haben, daß ein großer Teil der in den einzelnen Formularen enthaltenen Informationen identisch ist, d. h. von

jedem Beteiligten erneut abgeschrieben werden muß. Die Langsamkeit und Schwerfälligkeit solcher manueller Dokumentation sowie der erwähnte personelle Aufwand haben nun zu der Erkenntnis geführt, den gesamten Dokumentationsaufwand einer zentralen Datenverarbeitungsanlage zu übertragen, mittels direkter Anschlüsse alle beteiligten Firmen mit den notwendigen Informationen zu versorgen und damit Personal- und Zeitbedarf für Dokumentationszwecke drastisch zu reduzieren. Hier liegt das typische Anwendungsgebiet eines „Informations- und Dokumentationssytems" vor, das auch als „Datenbank" bezeichnet werden kann.

Damit hat die Hamburger Hafen-Datenbank das Problem zu lösen, das gesamte dokumentationsbezogene und formularmäßige Zusammenspiel der Transportkette vom Güterversand bis zum -empfang unter Einsatz eines zentralen, für alle Betriebe arbeitenden Datenverarbeitungssystems unter Benutzung der Datenfernverarbeitung zu steuern.

1.31. Träger der Entwicklung

Getragen wird die Entwicklung des Projektes von einem bedeutenden Teil der Hamburger Verschiffungsspediteure, allen Kaiumschlags- und Tallyfirmen sowie der Gesamtheit der Hamburger Schiffsmakler. Sie alle gründeten jeweils Entwicklungsvereine, die wiederum gemeinsam als Gesellschafter eine „Datenbank Hafen Hamburg GmbH" gründeten. Dieser Gesellschaft wurden Koordinierung, praktische Entwicklung und Betrieb des Rechenzentrums übertragen.

1.4. Arbeitsweise des EDV-Einsatzes

In einem sogenannten Fernverarbeitungs-Netzwerk, das alle am Umschlag beteiligten Firmen erfaßt, steuert ein zentraler Computer die Informationsverarbeitung.

Während heute noch die Anlage eines Hersteller-Rechenzentrums genützt wird, gelangen später eigene, im Duplexbetrieb gefahrene Großanlagen zum Einsatz.

Bei den beteiligten Firmen sind Dateneingabe- und Datenausgabegeräte (sog. „Terminals") installiert, die über Postleitungen mit dem zentralen System verbunden sind. Heute noch als Schreibmaschinen-Terminals ausgelegt, werden in Zukunft auch Bildschirmgeräte, Drucker und Fernschreiber eingesetzt. Den im folgenden beschriebenen Ablauf verdeutlicht auch die Skizze:

1.41. Verlader

Der Verlader als erstes Glied der Transportkette innerhalb des Hafens gibt alle für eine Sendung bestimmten Daten über das in seinem Hause installierte Terminal in das zentrale Datenverarbeitungs-System ein. Beträchtliche Arbeitserleichterungen ergeben sich durch die Verwendung von Codes für eine Vielzahl häufig benutzter Datenbestände wie Adressen, Schiffs-/Hafennamen und Warenbezeichnungen. Nach Prüfung und ggf. Berichtigung der Informationen verarbeitet das System fehlerfreie Auftrags-Datensätze sofort in der vom Teilnehmer gewünschten Form, d. h. es werden Schiffszettel und/oder Auslieferungsanträge, Matrizen für die spediteureigenen Formulare, Informationslisten und Konnossemente dort aufbereitet und ausgedruckt, wo sie benötigt werden. Das kann im Hause des Teilnehmers, direkt am Kaischuppen oder im Büro des Maklers sein.

Spezielle Programme erleichtern die Abfertigung von Sammel-Containern wesentlich und schaffen auch die Möglichkeit für mehrere Firmen, einen gemeinsamen Sammelverkehr ohne zusätzlichen Arbeitsaufwand betreiben zu können. Selbstverständlich beinhalten die Planungen weitere Programme für die Bereiche Fakturierung, Buchhaltung und Statistik.

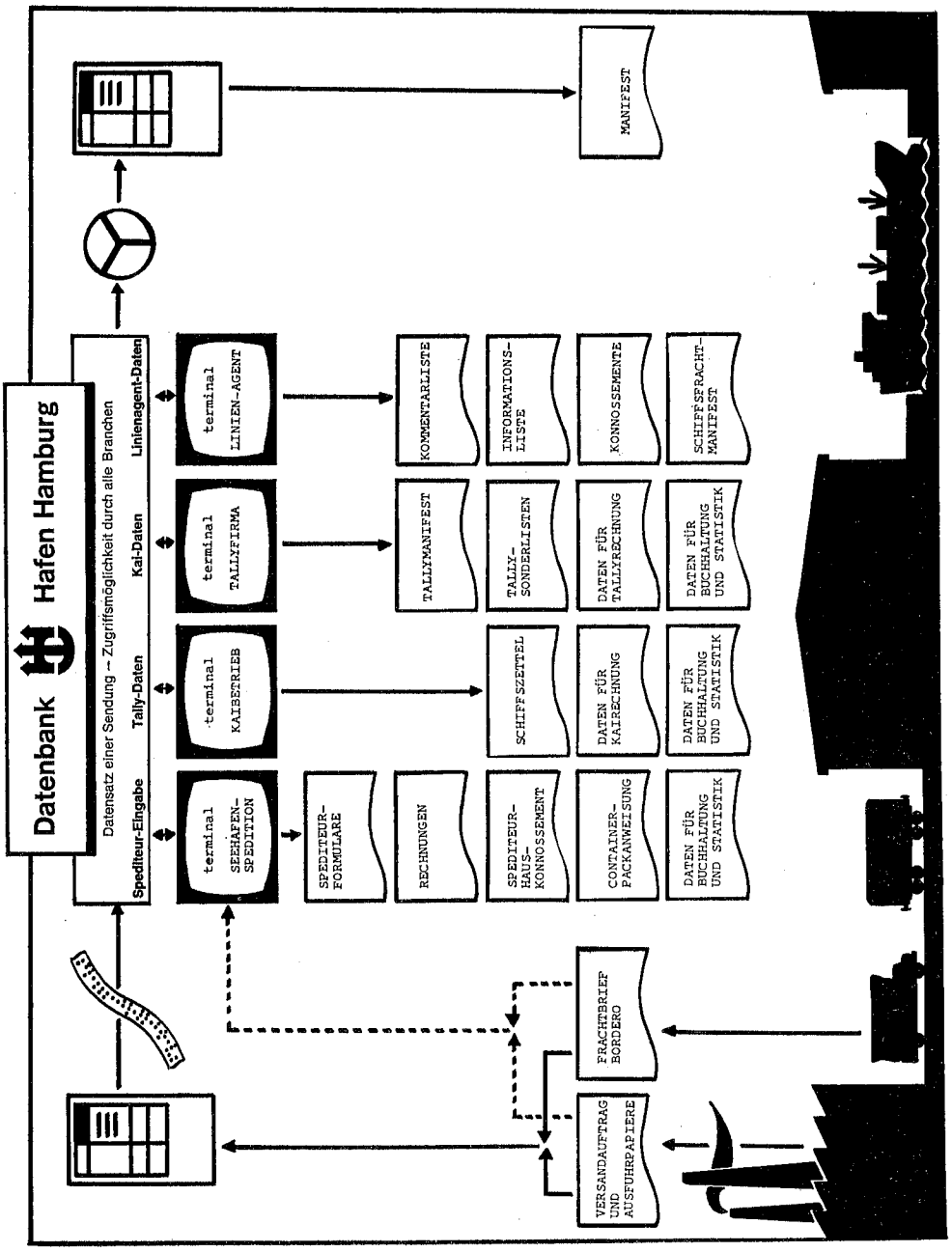

Datenbank Hafen Hamburg
Datensatz einer Sendung — Zugriffsmöglichkeit durch alle Branchen
Spediteur-Eingabe
Tally-Daten
Kai-Daten
Linienagent-Daten
terminal SEEHAFEN-SPEDITION
terminal KAIBETRIEB
terminal TALLYFIRMA
terminal LINIEN-AGENT
SPEDITEUR-FORMULARE
RECHNUNGEN
SPEDITEUR-HAUS-KONNOSSEMENT
CONTAINER-PACKANWEISUNG
DATEN FÜR BUCHHALTUNG UND STATISTIK
SCHIFFSZETTEL
DATEN FÜR KAIRECHNUNG
DATEN FÜR BUCHHALTUNG UND STATISTIK
TALLYMANIFEST
TALLY-SONDERLISTEN
DATEN FÜR TALLYRECHNUNG
DATEN FÜR BUCHHALTUNG UND STATISTIK
KOMMENTARLISTE
INFORMATIONS-LISTE
KONNOSSEMENTE
SCHIFFSFRACHT-MANIFEST
MANIFEST
FRACHTBRIEF BORDERO
VERSANDAUFTRAG UND AUSFUHRPAPIERE

Abb. 1

1.42. Hafenbetriebe

Im Hafen selbst sind die Kaischuppen ebenfalls mit Terminals ausgerüstet, über die die vom Spediteur eingegebenen Daten und Instruktionen in Form von Schiffszetteln, Anhalte-, Absetz- und sonstigen Anträgen ausgedruckt werden. Abhängig vom Umschlagsvolumen an den einzelnen Kaistrecken muß es sowohl Schuppen mit eigenen Terminals als auch Installationen, die für mehrere Schuppen an einer Kaistrecke zuständig sind, geben.

Da für alle Umschlagsgüter Warencodes eingegeben werden sollen, ist es bei Speicherung der Umschlagstarife möglich, eine Verbindung zwischen Warencode und entsprechendem Umschlagstarif herzustellen und daraus die Fakturierung abzuleiten. Das bedeutet für die Kaibetriebe eine wesentliche Vereinfachung des Rechnungswesens.

Der wichtigste Informationsgeber im Hafen selbst ist der Tallymann. Er teilt die von ihm zu erfassenden wesentlichen Informationen (wie Güterabmessungen, Hinweise auf Sondereigenschaften der Güter, Monituren, Stauvermerke usw.) über das Schuppenterminal, das zumeist gemeinsam mit dem Kaiumschlagsbetrieb genutzt wird, dem System mit. Dieses bereitet die Daten einerseits zum Ausdruck über das Schiffsmaklerterminal vor und ermöglicht dem Tallymann andererseits, die Vielzahl seiner Listen, wie Luken-Manifeste, Container-Packlisten, Hafenlisten, Sonderlisten usw. abzurufen und auszudrucken.

1.43. Linienagenten

Der Hauptvorteil einer Datenbank für den Schiffsmakler besteht in der schnelleren Bereitstellung von Ladungsinformationen zur Beschleunigung des Abrechnungs- und Dokumentationsverfahrens. So erhält er während der Zeit der Ladungsanlieferung für ein Schiff regelmäßig „Informationslisten", die etwa in der Art von Buchungslisten Aussagen über die Neuzugänge der für das Schiff verfügten Sendungen machen. Die Listen dienen der eigenen Ablaufdisposition und können schon zum Vortarifieren herangezogen werden.

Für die endgültige Frachtenberechnung benötigt der Schiffsmakler neben den Konossementsinformationen häufig noch zusätzliche Angaben des Verladers (sog. „Telex-Nachrichten") sowie die vom Tallymann vor oder bei Verladung ermittelten Daten. Im Normalfall lassen sich beide Forderungen dadurch erfüllen, daß auf dem Maklerterminal ein besonders breites Formular ausgedruckt wird, das auf der einen Seite ein als Master-Copy verwendbares B/L, auf der anderen Seite die zusätzlichen B/L-Kommentare von Verlader und Tallymann enthält. In Sonderfällen, vor allem bei Sammel-Konnossementen, muß die „Kommentarliste" jedoch auch im Anschluß an die Sammel-B/L-Matrizen gedruckt werden. Möglich ist selbstverständlich auch die Anforderung von Ladungsmanifesten, wobei der Ausdruck in Teilen oder geschlossen für ein Schiff, nach Häfen und sonstigen Kriterien sortiert, erfolgen kann.

1.44. Sonstige

Neben dem Anschluß der direkt mit dem Güterumschlag befaßten Firmen ist auch an eine enge Kooperation mit weiteren Institutionen wie z. B. Behörden oder anderen Verkehrsträgern gedacht. Einen großen Vorteil für das Binnenland bietet die Hamburger Datenbank durch die Möglichkeiten des off-line-Verfahrens: So geben etwa große Verlader mit eigenen Exportabteilungen im Hafen, Inlandsspediteure mit Zweigbüro in Hamburg bzw. mit engen Bindungen zu einem Seehafenspediteur ihre Ausfuhrpapiere auf einem besonderen Datenträger (z. B. einem Lochstreifen) in den Hafen. Das Hamburger Büro ergänzt die auf Bildschirmen sichtbar gemachten Daten um die notwen-

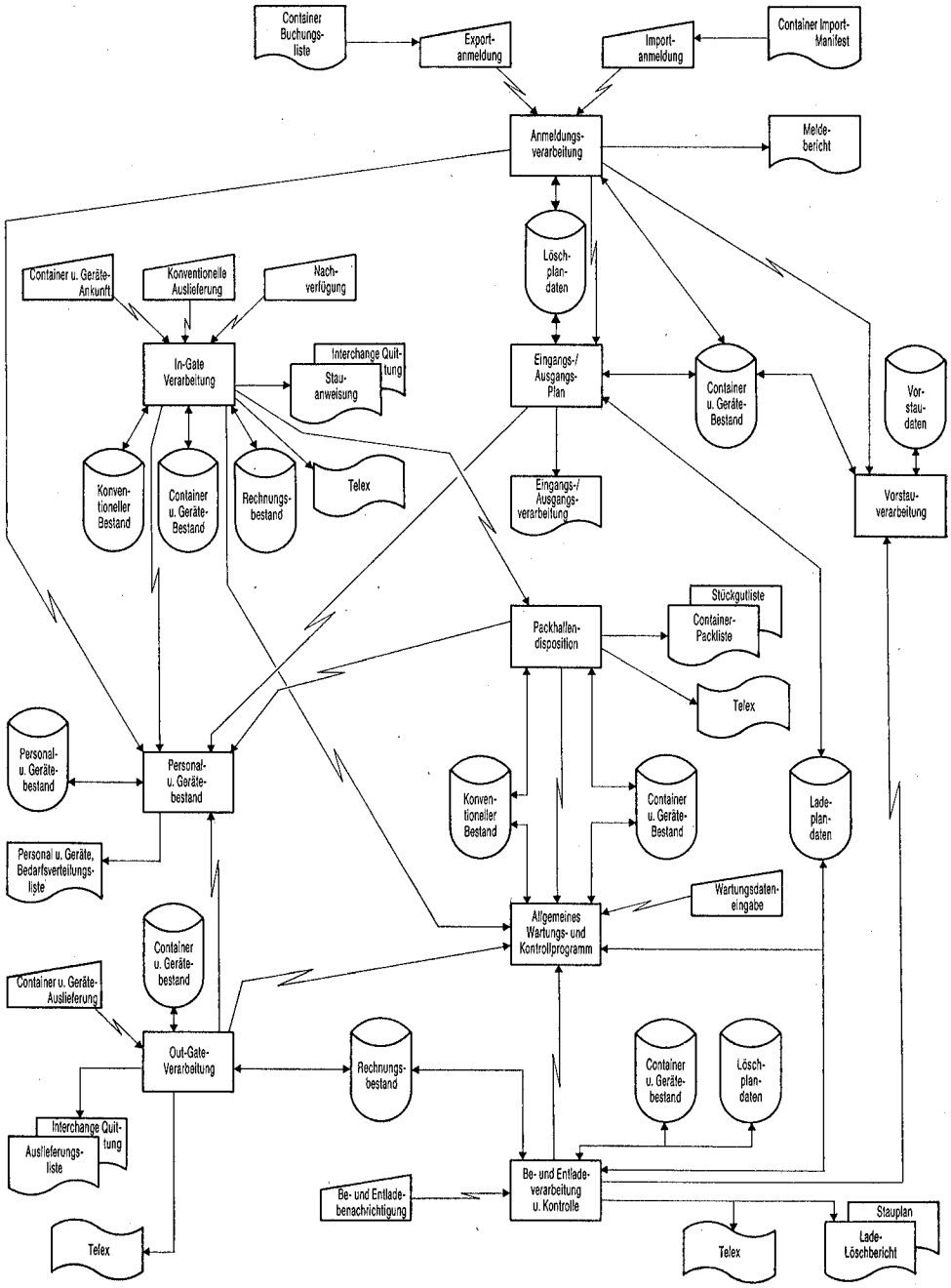

Container Buchungs-liste
Export-anmeldung
Import-anmeldung
Container Import-Manifest
Anmeldungs-verarbeitung
Melde-bericht
Lösch-plan-daten
Container u. Geräte-Ankunft
Konventionelle Auslieferung
Nach-verfügung
In-Gate Verarbeitung
Interchange Quit-tung
Stau-anweisung
Eingangs-/ Ausgangs-Plan
Container u. Geräte-Bestand
Vor-stau-daten
Konven-tioneller Bestand
Container u. Geräte-Bestand
Rechnungs-bestand
Telex
Eingangs-/ Ausgangs-verarbeitung
Vorstau-verarbeitung
Stückgutliste
Packhallen-disposition
Container-Packliste
Telex
Personal-u. Geräte-bestand
Personal-u. Geräte-bestand
Konven-tioneller Bestand
Container u. Geräte-Bestand
Lade-plan-daten
Personal u. Geräte, Bedarfsverteilungs-liste
Wartungsdaten-eingabe
Allgemeines Wartungs- und Kontrollprogramm
Container u. Geräte-bestand
Container u. Geräte-Auslieferung
Out-Gate-Verarbeitung
Rechnungs-bestand
Container u. Geräte-bestand
Lösch-plan-daten
Interchange Quit-tung
Auslieferungs-liste
Be- und Entlade-benachrichtigung
Be- und Entlade-verarbeitung u. Kontrolle
Stauplan
Lade-Löschbericht
Telex
Telex

Abb. 2

digen Angaben, gibt sie per Terminal in den Computer und gewinnt nach der Verschiffung wiederum einen Lochstreifen, der dann zum Inlandsspediteur zurückgegeben und von diesem nach eigenen Bedürfnissen ausgewertet wird.

1.45. Schluß

Von den im Endstadium benötigten 200 — 400 Terminals arbeiten heute 35 Geräte in verschiedenen Speditionsbüros. Speditionsmatrizen, Schiffszettel und Konnossemente werden bereits ausgedruckt. Die direkte Verbindung zu den Kaiumschlagsbetrieben und Schiffsmaklern ist aber noch nicht hergestellt. Hamburg rechnet mit der Realisierung der endgültigen Datenbank-Konzeption bis Mitte 1974.

2.0. Container Operating Control System (COCS)

Die Hamburger Hafen- und Lagerhaus-Aktiengesellschaft (HHLA) hat für den Betrieb ihres Container-Terminals in Hamburg ein „Container Operating Control System (SOCS)" — als Subsystem eines umfassenden und integrierten Informationssystems mit zentraler Datenbank — zu entwickeln begonnen. Wesentliche Teile sind bereits eingeführt. Die Einführung einzelner Arbeitsgebiete erfolgte und erfolgt weiterhin stufenweise und ist in ihrer Reihenfolge abhängig von der Systemlogik.

Bild 2 zeigt das Ablaufschema dieses Systems.

2.1. Zielsetzung

Die Schwerpunkte dieses Systems liegen in

— Überwachung und Steuerung aller Containerbewegungen

— aktueller Information durch Datenabfrage über den Container bzw. das Equipment (Chassis)

— Fortschreibung der Bestandsführung aller im Terminalbereich befindlichen Container, des Container-Equipments (Chassis) sowie der konventionellen Güter im Bereich der Container-Freight-Station

— Ausfertigung aller für den Umschlag erforderlichen Unterlagen, Begleitpapiere, Auswertungen, Statistiken etc.

— Verknüpfungsverpflichtung zu anderen Subsystemen, wie beispielsweise Kosten- und Leistungsrechnung.

2.2. Erster Schritt

Im ersten Installationsschritt ist ein Teil-Informationssystem für den Containerumschlag realisiert, das den stufenweisen Ausbau zu dem geplanten Endsystem (COCS) zuläßt. Dieses Teilsystem arbeitet gegenwärtig auf einer IBM 360/20 Modell 4 mit 16 K Band/Platte im batch-processing. Die Kapazität der Platteneinheiten beläuft sich auf ca. 15 Millionen Bytes. Das EDV-Verfahren ist in sich abgeschlossen, integriert und arbeitet mit einer Container-Datenbank. Das System umfaßt heute unter anderem:

Löschprogramm	(Soll + Ist)
Ladeprogramm	(Soll + Ist)
Bahnentladeprogramm	(Soll + Ist)
Bahnverladeprogramm	(Soll + Ist)

Interchange LKW/Bahn für An- und Auslieferung usw.

Des weiteren erfolgt eine aktuelle Auskunftsbereitschaft des Systems über die augenblicklich im System befindlichen Daten eines Containers. Der Abruf der gewünschten Informationen erfolgt über Steuerkarte.

2.3. Weiterer System-Ausbau

Als weitere Ausbauphase wird eine on-line/real-time-Verarbeitung zwischen der am Terminal installierten EDV-Anlage und dem Großrechner im Verwaltungsbereich angestrebt. Das Erreichen dieser Endstufe erfolgt über mehrere Installationsschritte.

In diesen Einführungsphasen ist auch der direkte Datenaustausch mit verschiedenen externen Stellen, z. B. Reedereien, Bundesbahn u. a. geplant.

Abteilung II — Seeschiffahrt

Thema 6:

Vorbeugemaßnahmen gegen die Verschmutzung der Häfen und der Küsten. Bekämpfungs- und Abhilfemittel.

Dipl.-Ing. Carl Boe, Baudirektor, Strom- und Hafenbau, Hamburg; Dipl.-Ing. Wilfried Bohlmann, Oberbaurat, Strom- und Hafenbau, Hamburg; Dipl.-Ing. Dieter Lerch, Baurat, Strom- und Hafenbau, Hamburg; Dr. rer. nat. Fritz Lucht, Wiss. Angestellter, Wasser- und Schiffahrtsdirektion, Hamburg; Dr. rer. nat. Manfred Nauke, Wiss. Angestellter, Deutsches Hydrographisches Institut, Hamburg; Dipl.-Ing. Horst Oebius, Wiss. Angestellter, Versuchsanstalt für Wasserbau und Schiffbau, Berlin; Dipl.-Ing. Fritz Reuter, Präsident der Wasser- und Schiffahrtsdirektion, Hamburg; Dr.-Ing. Heinz Wismer, Regierungsbaurat, Wasser- und Schiffahrtsdirektion, Hamburg;

Thema des Berichtes:

Die derzeit bekannten und die zukünftigen Maßnahmen zur Verhinderung und zur Beseitigung von Schäden in Häfen, Zufahrten und der See, die durch die Auswirkung eingeleiteter Schadstoffe hervorgerufen werden.

Zusammenfassung

Als Folge der Bevölkerungszunahme und des steigenden Lebensstandards — zunehmende Industrialisierung und Verkehrsdichte — steigt auch das Maß der schädlichen Veränderungen der natürlichen Umgebung des Menschen. Davon sind besonders betroffen die Flüsse, Kanäle, Häfen, Zufahrten und der nahe Küstenbereich.

Wie in anderen Ländern gibt es in der BRD Gesetze und Regelungen, die einer Zunahme der Verschmutzung vorbeugen sollen. Umfangreiche Untersuchungen durch Behörden, Universitätsinstitute usw. beschäftigen sich mit dem Wesen, der Auswirkung und der möglichen Bekämpfung der einzelnen Schadstoffe.

In der vorliegenden Arbeit wird, ausgehend von einer Definition der Verschmutzung, zunächst zu der Herkunft und der Auswirkung der Schadstoffe allgemein Stellung genommen. Danach wird die gegenwärtige Belastung durch die wichtigsten Schadstoffe in den Häfen, Zufahrten und Küstenbereichen beschrieben. Wir stellen fest, daß der augenblickliche Zustand zwar in einzelnen Bereichen durchaus schädliche Belastungen erkennen läßt, im großen und ganzen jedoch noch keinen Anlaß zur Besorgnis bietet. Es werden aber auch zeitweilig regional begrenzte untragbare Verschmutzungen beobachtet.

Eine erfolgreiche Verbesserung des jetzigen Zustandes bzw. ein Halten der augenblicklichen Situation ist nur dann möglich, wenn Situationsanalysen vorgenommen und Belastbarkeitspläne für die einzelnen Reviere aufgestellt werden. Das dafür zu erstellende Beobachtungsnetz ist regional vorhanden; es muß erweitert und verdichtet werden.

Anschließend werden die bestehenden Regelungen zur Verhinderung und zur Verminderung der Verschmutzungen erörtert. Die Kontrolle der Einhaltung der gesetzlichen Regelungen bereitet Schwierigkeiten.

Ausgehend von der vermuteten zukünftigen Entwicklung der Verschmutzung und ihrem zu erwartenden Umfang werden Maßnahmen zur Überwachung der Gewässerver-

schmutzung, weitergehende Rechtsvorschriften und technische Bekämpfungsmaßnahmen vorgeschlagen, die geeignet sind, eine weitere Zunahme der Schäden zu verhindern. Sie gehen im wesentlichen davon aus, daß auch in der nahen Zukunft eine wirksame Bekämpfung der Verschmutzung nur durch Vorbeugemaßnahmen erfolgen kann, da z. Z. mit wenigen Ausnahmen keine wirkungsvollen, unschädlichen direkten Bekämpfungsmittel und -methoden verfügbar sind. Der Gesetzgeber muß diese Maßnahmen unterstützen.

Inhalt:

Seite

1. Einleitung 266

2. Die Schadstoffgruppen und ihre Auswirkungen in den einzelnen Regionen 267

2.1. Die Herkunft der Abfallstoffe 267

2.2. Auswirkungen und Umweltbelastung in den einzelnen Regionen durch die wichtigsten Schadstoffe 268

2.3. Zusammenfassende Beurteilung der bisherigen Verschmutzung 273

3. Bestehende Regelungen 274

3.1. Zur Verhinderung und Verminderung einer Verschmutzung 274

3.11. Rechtliche Grundlagen 274

3.12. Überwachung (Kontrolle, Meldung, Warnung) 274

3.13. Technische Maßnahmen 275

3.2. Bestehende Regelungen bei eingetretenen Verschmutzungen 275

3.21. Rechtliche Grundlagen 275

3.22. Technische Maßnahmen 276

4. Vorschläge für zukünftige Maßnahmen 276

4.1. Zukünftige Entwicklung der Verschmutzung 276

4.2. Ziele zur Erhaltung bzw. Verbesserung der Umweltqualität 277

4.3. Rechtsvorschriften 278

4.4 Technische Maßnahmen 279

5. Kritischer Ausblick 281

1. Einleitung

Unter Verschmutzung der Gewässer verstehen wir die Summe der menschlichen Einflüsse durch direkte oder indirekte Maßnahmen, die

— die Ökologie eines Gewässers derart zum Nachteil verändern, daß Schädigungen im Pflanzen- und Tierreich sowie beim Menschen auftreten,

— die Qualität eines Wassers einchränken,

— Arbeiten auf und in den Gewässern beeinträchtigen und

— die Erholungsmöglichkeit des Menschen verringern.

In diesem Bericht werden Maßnahmen behandelt, die zur Verhinderung und Bekämpfung von Verschmutzungen der Häfen und Küsten im Bereich der BRD durchgeführt und geplant werden.

Die Verhältnisse an der Nordsee unterscheiden sich von denen an der Ostsee. Während im Nordseebereich durch die Tide (Tidehub 2.5 m bis 3.8 m) und die relativ große Wasserführung der Ströme der Wasseraustausch und die Turbulenz recht groß sind, herrschen in der Ostsee mit ganz geringem Tideeinfluß die Windströmungen vor. Die Haupthäfen im Nordseebereich liegen verhältnismäßig weit im Binnenland, daher ist hier auch die Verschmutzung der großen Tideströme als Zufahrten zu den Häfen zu betrachten.

Die im Verhältnis zur Bevölkerungszahl sehr kurze Küstenlänge der BRD hat zur Folge, daß die Strände intensiv als Erholungsgebiet genutzt werden. Außerdem werden die Ästuarien und das flache Küstenmeer sehr stark fischereilich genutzt.

Die Verkehrsdichte auf den deutschen Küstengewässern ist außerordentlich groß.

Der Bericht geht aus von den Verschmutzungen in den Häfen, Zufahrten und Meeren durch verschiedene Schadstoffe.

2. Die Schadstoffgruppen und ihre Auswirkungen in den einzelnen Regionen

2.1. Die Herkunft der Abfallstoffe

Die Abfallstoffe gelangen auf verschiedene Weise in die Gewässer. In der Hauptsache werden die Gewässer verschmutzt durch

Atmosphäre			Biozide radioaktive Substanzen Kohlenwasserstoffe Verbrennungsprodukte
See	Nutzung des Meeresbodens		Erdöl, Erdgas Mineralstoffe
	Schiffe	Unfälle	Öl und Öldispergatoren Chemikalien Behälter und feste Substanzen
		Schiffsbetrieb	Öl und Ölwassergemische Fäkalien feste Abfälle
		Verklappung	Industrieabfälle Faulschlamm Munition
Land		indirekt über Regenabschwemmung	Biozide Düngemittel
		direkte Einleitung	Indusrtieabwässer häusliche Abwässer Detergentien radioaktive Substanzen Kühlwasser

nach GESAMP II/11 Paris 1970

2.2. Auswirkungen und Umweltbelastung in den einzelnen Regionen durch die wichtigsten Schadstoffe

Viele Abfallstoffe verursachen Schäden, die lange unentdeckt bleiben. Die Auswirkungen von Verschmutzungen sind vielfach komplex und treten so langfristig auf, daß es sehr schwer ist, die tatsächlichen Ursachen der Vergiftungen exakt zu bestimmen. Schädigungen können durch langdauernde hohe Anreicherungen von Schadstoffen in Organismen entstehen (Langzeit-Effekte), aber auch durch die Aufnahme z. T. geringer Mengen einer zweiten Substanz ausgelöst werden (Trigger-Effekte).

In der Nordsee wird das Wasser durch Strömungen so gründlich durchmischt, daß Salz- und Sauerstoffgehalte i. a. bis zum Boden relativ ausgeglichen sind. Die Gezeiten- und besonders die Restströme sorgen für rasche Verteilung eingebrachter Schmutzstoffe. Da Sturmwellen den Grund bis zu Tiefen von 60 m aufwühlen können, werden in der südlichen Nordsee abgelagerte feinkörnige Schmutzstoffe mit natürlichen Sedimenten gemischt und verteilt.

In der Ostsee treten vor allem windbedingte Wasserbewegungen auf, die im wesentlichen oberflächennah sind und die zahlreichen tiefen Mulden kaum erfassen. Es kommt zur Ausbildung von ausgeprägten Sprungschichten, und in einzelnen Becken ist zeitweilig kein Sauerstoff vorhanden. Infolge des geringen Wasseraustausches mit den Ozeanen ist die Ostsee daher in besonderem Maße durch Verschmutzungen bedroht.

In den deutschen Häfen wird der Wassergütezustand nicht allein durch die im Hafenbereich erfolgten Einleitungen, sondern auch durch die Wasserqualität der Flüsse, an denen sie liegen, und durch die Tide beeinflußt. Die in die Nordsee mündenden Tideflüsse sind in ihrem Mittellauf bereits stark belastet, was zur Folge hat, daß die trotz einer meist längeren Erholungsstrecke verbleibenden, schwer abzubauenden Restverschmutzungen sich besonders unangenehm auf die am Unterlauf liegenden Häfen auswirken — soweit es sich nicht um Schleusenhäfen handelt. Durch die Tidebewegung findet in vielen Bereichen nur ein verhältnismäßig langsamer Austausch des Wasserkörpers statt. Dadurch wird einerseits der gleiche Wasserkörper mehrfach durch Abwassereinleitungen belastet. Andererseits bringt die Turbulenz der Tideströmung auch eine bessere Durchmischung mit sich.

Die Belastung der Gewässer der Tidehäfen mit Schmutzstoffen stammt in der Regel aus drei grundlegend verschiedenen Quellen. Es sind dies die Hafenstädte selbst mit ihrem häuslichen Abwasser und dem erheblich verschmutzten (u. a. verölten oder versalzten) Regenwasser aus den Straßenabläufen, ferner Industrie- und Gewerbebetriebe, die Produktionsabwasser und Kühlwasser einleiten und schließlich die Schiffahrt, die zwar auch häusliches Abwasser und Kühlwasser abgibt, tatsächlich aber nur wegen des von ihr unzulässigerweise ins Wasser geleiteten Öls und Unrates größere Bedeutung hat.

Die Verhältnisse in Schleusenhäfen sind gekennzeichnet durch die enge Begrenzung des hier vorhandenen Wasserkörpers und den geringen Wasseraustausch. Der dadurch verminderten Gewässerbelastbarkeit wird durch weitgehende Einschränkung aller Einleitungen von Land entsprochen. Durch intensive Überwachungsmaßnahmen muß der Gefahr begegnet werden, die sich durch unerlaubtes Einleiten von Schmutzstoffen — vor allem von der Schiffahrt — hier besonders ergibt.

Ganz allgemein ermöglichen die verfügbaren Unterlagen kein vollständiges Bild über den Grad der Verschmutzung. Es werden nicht alle Schadstoffe erfaßt; nur in einzelnen Regionen gibt es eine Auswertung in qualitativer und quantitativer Hinsicht. Eine ausreichend abgestimmte und zentrale Überwachung im Hinblick auf alle Gewässerverunreinigungen fehlt also.

Öl und Öldispergatoren

Man schätzt, daß jährlich 50 000—100 000 t Öl in die deutschen Küstengewässer geleitet werden. Es handelt sich vorwiegend um kleinere, weniger auffällige Öleinleitungen aus häuslichen und industriellen Abwässern. Im Jahresmittel betrachtet gerät dagegen aus Tankerunfällen erheblich weniger Öl in die Küstengewässer. Allerdings können dadurch schwerwiegende lokale Auswirkungen entstehen.

In den Zufahrten werden Ölverschmutzungen außerordentlich häufig beobachtet, wenn sie auch vergleichsweise meist geringen Umfang und im allgemeinen nur lokale Bedeutung haben. Die häufigsten Verschmutzungen durch Öl entstehen durch unerlaubtes Abpumpen aus Schiffen.

Die in die Hafengewässer eingeleitete Schmutzwassermenge von Industrie und Gewerbe besteht — abgesehen von lokalen Ausnahmen — überwiegend aus ölhaltigem Abwasser, das im Hafenwasser so stark vermischt und dadurch verdünnt wird, daß der aus dieser Quelle stammende Ölgehalt innerhalb der Fehlergrenzen der heutigen Untersuchungsmethoden liegt. Dennoch ist die tatsächliche Belastung durch Öl beachtlich, da bei einigen 100 000 cbm Abwasser je Tag sich auch wenige Milligramm Öl pro m^3, die mit vernünftigem Aufwand nicht mehr entfernt werden können, noch zu erheblichen Gesamtmengen summieren.

Hinzuzurechnen ist eine beträchtliche, aber schwer abschätzbare Ölmenge, die bei Störung von Reinigungsanlagen oder unerlaubt, vor allem von Schiffen, in das Hafenwasser gelangt und nicht nur zu größeren Verschmutzungen von Hafenanlagen führt, sondern auch wegen der hohen Konzentration die Wasserqualität über einen längeren Zeitraum lokal besonders stark negativ beeinflußt.

Ausgeflossenes Rohöl treibt als $1.5 - 10 \times 10^{-4}$ mm dünner Film an der Wasseroberfläche. Etwa 1/3 des Rohöls besteht aus leichten Komponenten, die relativ rasch verdunsten. Die schweren Komponenten sinken allmählich ab. Das zum Boden abgesunkene Öl vernichtet die Bodenfauna und wird nur allmählich von Bakterien abgebaut. Die Larven zahlreicher Tiere werden durch Kohlenwasserstoffe wie Benzol, Toluol, Pentan, Hexan und Heptan vergiftet.

An den deutschen Küsten sterben jährlich viele Tausende Seevögel durch Ölverschmutzung. Das Fanggeschirr von Fischereifahrzeugen wird häufig verschmutzt, und der Geschmack der gefangenen Tiere kann durch Olderivate wie Phenole und Kresole beeinträchtigt werden. Das Weideland und die Badestrände an den Küsten werden verunreinigt. Zahlreiche Strandbereiche deutscher Nordseebäder weisen an vielen Tagen Ölverschmutzungen auf.

In Sedimenten und in organischen Substanzen wurden Karzinogene festgestellt, die aus Öleinleitungen stammen dürften.

Es hat sich weiter herausgestellt, daß die Benutzung von Öldispergatoren sich äußerst schädlich auf die Organismen auswirken kann.

Pestizide und polychlorierte Biphenyle

Die Verwendung von Pflanzenschutzmitteln zur Bekämpfung von Unkräutern, Pflanzenkrankheiten und tierischen Schädlingen hat weltweit zugenommen. In der Bundesrepublik beträgt der jährliche Gesamtverbrauch über 50 000 t.

Die Schädlingsbekämpfungsmittel werden vom Land in die Gewässer geschwemmt oder gelangen über die Atmosphäre in Seen und Meere. So haben z. B. Messungen er-

geben, daß vergleichsweise erhebliche Mengen an Pestiziden der Elbe aus den ausgedehnten Obstanbaugebieten zufließen.

Die Ostsee ist durch Pestizide besonders stark gefährdet. Das geht aus Messungen der DDT-Gehalte an in der Ostsee gefangenen Seehunden hervor, die 10mal höher als in Seehunden der Nordsee und des Atlantiks auftreten. Die meisten Pestizide werden nur sehr langsam abgebaut (DDT bis zu 30 Jahren, Dieldrin bis zu 25 Jahren).

Innerhalb der Nahrungskette Plankton — Fisch — Vogel bzw. Säugetier reichern sich die Pestizide an. Untersuchungen an Organismen der Nordsee ergaben, daß Plankton durchschnittlich 0.04 mg/kg, Fische aus Küstengebieten etwa 0.7 mg/kg, Seevögel bereits 3.5 mg/kg und Robben 10—40 mg/kg DDT (bezogen auf Frischgewicht) enthalten. In der Ostsee gefangene Seehunde wiesen bis über 300 mg/kg DDT in ihrem Fettgewebe auf.

Durch DDT wird das Enzymsystem in den Organismen und damit die Produktion von Sexualhormonen gestört. Außerdem wird der Kalziumstoffwechsel der Vögel so stark durch DDT beeinflußt, daß infolge mangelnder Kalkproduktion die Eierschalen zerbrechen können.

Laborversuche ergaben, daß DDT an zahlreichen Tiergruppen krebsähnliche Tumore hervorrufen kann.

In den Küstenländern der Nord- und Ostsee ist der Rückgang vieler Vogelarten, insbesondere der Seeschwalben und Eiderenten auf Vergiftung durch Pestizide zurückzuführen.

Die Weltgesundheitsbehörde gibt an, daß der Mensch täglich 0.010 mg DDT pro kg Körpergewicht ohne schädliche Auswirkungen aufnehmen kann. In unseren Bereichen dürften den Menschen demnach selbst bei hohem Fischkonsum hierdurch keine Gefahren erwachsen.

Seit 1966 ist bekannt, daß die polychlorierten Biphenyle (PCB), die in größerem Umfang seit 25 Jahren in der Kunststoff-, Elektro- und Farbindustrie verwendet werden, sich ebenfalls innerhalb der Nahrungskette anreichern. Sie sind noch stabiler als DDT und lagern sich nicht nur im Fettgewebe, sondern auch im Nervensystem und in den Keimdrüsen ab. Zahlreiche Organismen der Nord- und Ostsee haben bereits PCB-Gehalte, die vielfach höher liegen als DDT-Anreicherungen. Die Auswirkungen auf die Organismen sind noch weitgehend unerforscht. Man vermutet, daß sie denen der Pestizide entsprechen.

Schwermetalle

Schon die Zufuhr geringer Mengen von Schwermetallsalzen kann die Konzentration in den Gewässern gefährlich erhöhen. Durch die Abwässer einiger Industriebetriebe werden den Zufahrten, Hafengewässern und deutschen Anteilen der Nord- und Ostsee Schwermetalle zugeführt. Die Gehalte in den Hafen- und Zufahrtsgewässern sind im Vergleich zu denen der Hohen See sehr hoch, jedoch sind direkte Auswirkungen auf die Ökologie in diesen Gewässern bislang nur vereinzelt beobachtet worden. Zahlreiche Untersuchungen ergaben, daß die Metalle und Metallverbindungen von Quecksilber, Blei und Cadmium besonders schädlich sind.

In der Bundesrepublik Deutschland werden jährlich 775 t Quecksilber verbraucht. Davon gelangen allein über den Rhein jährlich 60 t in die Nordsee. Infolge Tätigkeit von Mikroorganismen wird vor allem in sauerstoffarmer Umgebung (Schlamm von Flüssen,

Seen und Meeren) das weniger gefährliche Quecksilber zu dem äußerst giftigen Methylquecksilber umgebaut.

Der jährliche Bleiniederschlag in der Welt beträgt mindestens 500 000 t. Seit Einführung des Bleitetraäthyls als Antiklopfmittel im Autobenzin (1923) stieg der Bleigehalt im Oberflächenwasser der Meere um das 20fache (0.4 µ/l).

Methylquecksilber und Bleitetraäthyl werden im Gehirn und Nervensystem gespeichert. Neben Auswirkungen auf das Nervensystem können sie schwere genetische Schädigungen hervorrufen.

Cadmium ist bereits in einer Verdünnung von 0.6 µg/l schädlich. Es wird außerordentlich lange im Körper (vor allem in Nieren) gespeichert, bevor es Schäden am Zentralnervensystem, den Nieren und am Knochenbau hervorruft.

An nächster Stelle in der Reihe der Gefährlichkeit stehen Zink, Kupfer und Arsen. Auch diese Stoffe können innerhalb der Nahrungskette angereichert werden und zu schweren Vergiftungen führen. Kupfer wurde in Austern um das 7500fache, Zink in Organismen bis um den Faktor 100 000 angereichert vorgefunden.

Die Schwermetallgehalte in deutschen Gewässern wurden nur vereinzelt bestimmt. Nachdem die Gefährlichkeit des Methylquecksilbers bekannt wurde, sind jedoch Fische aus Gewässern der Bundesrepublik auf ihre Quecksilbergehalte untersucht worden. Die Gehalte liegen zumeist unter 0,2 mg/kg (bezogen auf Frischgewicht) und damit weit unter den Toleranzgrenzen, die als schädlich für den Meschen angesehen werden.

An den skandinavischen Ostseeküsten mußten einige Gebiete auf Grund hoher Quecksilberkonzentrationen in den Organismen (bis 3 mg/kg) für den Fischfang gesperrt werden.

Sauerstoffzehrende Stoffe

Durch die häuslichen und gewerblich—industriellen Abwässer gelangen große Mengen von Nitraten und von Phosphaten in die Gewässer. Sie steigern zusammen mit den Nährsalzen aus stickstoff- und phosphorhaltigen Düngemitteln, die aus dem Boden gewaschen werden, das Wachstum von Phytoplankton und höheren Wasserpflanzen. Der Abbau der Pflanzen belastet darüber hinaus den Sauerstoffhaushalt erheblich.

Unvollständig geklärte häusliche Abwässer und Abwässer bestimmter Industriezweige (z. B. Papierfabriken) enthalten organische Reststoffe, zu deren biologischem Abbau ebenfalls Sauerstoff zur Verfügung stehen muß. Ungeklärte Abwässer können darüber hinaus auf Grund ihres Gehaltes an Krankheitserregern Infektionskrankheiten hervorrufen. Ebenso ist die Auslösung von Epidemien über die Infektkette Tiere (Muscheln, Krabben) — Mensch möglich.

In die Nord- und Ostsee werden große Mengen häuslicher Abwässer eingeleitet. Einige Küstengebiete und Förden sind dadurch bereits verschmutzt.

Der Schlamm kommunaler Abwasseranlagen wird von Transportschiffen bei Feuerschiff Elbe 1 (216 000 t/Jahr) und in der Flensburger Außenförde (54 000 t/Jahr) verklappt.

Die Mündungstrichter der Flüsse genügen noch den allgemeinen Anforderungen, wenn man davon ausgeht, daß der Sauerstoffgehalt 50 % des Sättigungswertes nicht unterschreitet. Weiter flußaufwärts und in Nebenflüssen tritt aber zeitweilig eine Überlastung ein.

Auch in die Hafengewässer werden häusliche Abwässer in großem Umfang ungereinigt eingeleitet.

Anorganische Stoffe

Große Mengen anorganischer Abfallstoffe gelangen über die Flüsse in die Küstengewässer und ins offene Meer. Weitere Mengen werden mit Spezialschiffen in das Meer eingebracht und eingeleitet.

In die Nordsee wurden im Jahre 1970 mit Spezialschiffen von den Anlieferstaaten folgende Mengen eingebracht:

Belgien	ca.	272 000 t
Großbritannien	ca.	3 350 000 t
Niederlande	ca.	716 000 t
Bundesrepublik	ca.	653 000 t
Norwegen	ca.	184 000 t

Quantitative Angaben über direkte Einleitungen von Abfallstoffen in die See sind unvollständig.

Man schätzt, daß zur Zeit täglich 20 000 t industrielle und häusliche Abfälle von den Anliegerstaaten in die Nordsee eingeleitet und verklappt werden. Große Mengen industrieller Abfallstoffe gelangen außerdem durch die Flüsse (Themse, Rhein, Elbe) in die Nordsee. Zur Zeit untersuchen mehrere deutsche Institute die Mengen, die der Nordsee über Elbe, Weser und Ems zugeführt werden.

Die Ostsee empfängt kleinere Mengen industrieller Abfallstoffe.

Die anorganischen Abfallstoffe (ohne Schwermetalle) lassen sich in drei Gruppen einteilen:

Schwach toxische Salze, Säuren und Laugen werden im Meer neutralisiert und in unschädliche Salzbestandteile umgewandelt, die ohnehin im Meer vorhanden sind. Auf Grund der großen Pufferungskapazität des Seewassers kann das Meer — nach unseren jetzigen Kenntnissen — verhältnismäßig große Mengen an schwach toxischen Salzen, Säuren und Laugen aufnehmen. Demgegenüber ist die Fähigkeit der Flüsse, Säuren und Laugen aufzunehmen, sehr gering. Es wird sogar gefürchtet, daß im Nahbereich solcher Einleitungen gesundheitliche Schäden auftreten. Dieses Problem tritt im hier behandelten Bereich durch die Neuanlage von größeren chemischen Werken besonders stark hervor.

Toxische anorganische Substanzen (z. B. Fluoride und Cyanide) müssen in sehr starkem Maße verdünnt werden, damit ihre Konzentration auch unter Berücksichtigung der Tidebewegung einen unbedenklichen Wert erreicht.

Unlösliche Feststoffe setzen sich je nach Korngrößen und Dichten mehr oder weniger schnell auf dem Boden ab. Unter bestimmten Bedingungen, z. B. bei Sturm in flachen Gewässern und bei stärkeren Strömungen können sie aber wieder aufgewirbelt und weitertransportiert werden. Da sie am Boden ein bestimmtes Areal zudecken, werden auf diese Weise viele Bodenorganismen durch Sauerstoffmangel ersticken. Dieses Problem hat sich bei uns im Zusammenhang mit Untersuchungen zur Unterbringung von Rotschlamm aus der Aluminiumproduktion gestellt.

Feste Abfälle einschließlich verpackter Abfallstoffe

Die Versenkung fester Abfälle, die praktisch unlöslich sind und rasch absinken, wie z. B. Schrott und Autowracks, halten wir auch in Gebieten, die von der Fischerei nicht genutzt werden, und selbst wenn zur Sicherheit der Schiffahrt eine bestimmte Wassertiefe eingehalten wird, für problematisch. Kunststoffmaterialien sollten auf gar keinen

Fall eingebracht werden, da sie größtenteils unzersetzbar sind und z. B. als Folien im Wasser treibend die Kühlsysteme von Schiffen verstopfen und in Schiffsschrauben geraten können.

Zahlreiche Fässer mit Abfallstoffen wurden in Nord- und Ostsee unerlaubt versenkt. Es muß damit gerechnet werden, daß die Behälter nur eine begrenzte Zeit standhalten und selbst so gefährliche Stoffe wie Arsen, chlorierte Kohlenwasserstoffe und Cyanide ins Meer austreten können.

Die Verschmutzung der Zufahrten durch feste Abfälle muß in einigen Revieren als erheblich bezeichnet werden, wobei daran besonders die Passagier-Schiffahrt beteiligt ist.

Radioaktive Substanzen

Bei vielen technischen Prozessen fallen Spaltprodukte an, die in Luft und Wasser gelangen. Auf Grund gesetzlicher Maßnahmen wird bei einem Normalbetrieb eines Reaktors in Deutschland Radioaktivität nur geringfügig abgeführt.

Infolge biologischer Anreicherungen können aber die in stark verdünnter Form eingebrachten Radioaktivitäten wiederum konzentriert werden. Aus diesem Grund wird in Deutschland die Kontaminierung der Gewässer und der in ihnen lebenden Tiere laufend überwacht.

Thermische Belastung durch Kühlwasser

Bei der Energiegewinnung wie auch bei der Produktion der verschiedensten Bedarfsgüter entsteht Wärme, die zu einem Großteil mit Wasser abgeleitet wird. Auswirkungen auf marine Organismen wurden in der Nordsee bislang nicht beobachtet.

In den deutschen Zufahrten ist auf Grund der Genehmigungspraxis die thermische Belastung allgemein unbedeutend. Bei Einleitungen im Tidegebiet ist jedoch zu beachten, daß sie durch die Tidebewegung erhöht und der seewärtige Abtransport des erwärmten Wassers verzögert wird. Dieser Nachteil verstärkt sich noch bei geringer Oberwasserführung.

In den Häfen hat in der Regel das Kühlwasser den größten Anteil am Gesamtabwasser, z. B. beträgt in Hamburg das Verhältnis 1.5 Mio m^3 zu 2.5 Mio m^3 pro Tag. Die thermische Belastung kann örtliche Nebelbildung hervorrufen und sich damit in den Häfen nachteilig für die Schiffahrt auswirken.

Vorteilhaft ist die Verminderung der Eisbildung. Die Gefahr von Schiffahrtsbehinderungen durch Querströmungen an großen Entnahme- und Rückleitungsstellen wird durch die entsprechende Gestaltung der Bauwerke vermieden.

2.3. Zusammenfassende Beurteilung der bisherigen Verschmutzung

Wir stellen fest, daß der augenblickliche Zustand zwar in einzelnen Bereichen durchaus schädliche Belastungen erkennen läßt, im großen und ganzen jedoch noch keinen Anlaß zur Besorgnis bietet.

Es werden aber auch zeitweilig begrenzte untragbare Verschmutzungen beobachtet.

Bereits jetzt muß aber darauf hingewiesen werden (s. auch 4.1), daß der unverkennbare Trend zu zukünftig weitergehenden Verschmutzungen in diesen Gewässern zusätzliche Maßnahmen erfordert.

3. Bestehende Regelungen

3.1. Zur Verhinderung und Verminderung von Verschmutzungen der Häfen und Küsten

3.11. Rechtliche Grundlagen

Maßnahmen zur Verhinderung und Verminderung von Verschmutzungen der Seehäfen, Zufahrten und Küsten stützen sich in der BRD auf Gesetze des Bundes und der Länder. Weitgehende Bestimmungen für die Reinhaltung dieser Gewässer enthalten das Wasserhaushaltsgesetz (Rahmengesetz des Bundes) und die Wassergesetze der Küstenländer Bremen, Hamburg, Niedersachsen und Schleswig—Holstein.

Eingriffe auf die Schiffahrt zur Abwehr von Gefahren können auf verschiedene Gesetze und Polizeiverordnungen zurückgeführt werden. Es wird jeweils vom Einzelfall abhängen, auf welche Rechtsgrundlage der notwendige Eingriff auf den Verschmutzer gestützt wird.

Auf folgende Mängel möchten wir hinweisen:

a) In der Praxis bestehen häufig erhebliche Schwierigkeiten, den Verschmutzer zu überführen,

b) die Strafen und Bußen sind bisher meist so niedrig, daß keine abschreckende Wirkung von ihnen ausgeht,

c) die Befugnisse der Wasserbehörden reichen für die Gefahrenabwehr nicht aus. Nur das Hamburgische Wassergesetz enthält weitergehende Befugnisse.

d) Wir meinen, daß die Auffassung, daß nur der Flaggenstaat bei Verschmutzungen auf Hoher See eingreifen könne, einem überholten Verständnis der Freiheit der Meere entspricht und von seiten der BRD, die durch solche Verschmutzungen in erhöhtem Maße bedroht ist, nicht unterstützt werden sollte.

Der föderative Aufbau der BRD erzwingt eine besonders enge Zusammenarbeit zwischen Bundes-, Landes-, Kommunal- und Hafenverwaltungen. Es haben sich dabei verschiedene Verfahren ergeben, die sich z. T. erst noch bewähren müssen.

Zur Vervollständigung sei noch auf die verschiedenen internationalen Übereinkommen hingewiesen, die durch Bundesgesetze für die BRD verbindlich geworden sind. Besonders zu erwähnen ist dabei auch das Übereinkommen zur Zusammenarbeit bei der Bekämpfung von Ölverschmutzungen der Nordsee.

3.12. Überwachung der Verschmutzungen (Kontrolle, Meldung, Warnung)

Eine routinemäßige Kontrolle der Verschmutzung findet bisher nur in einzelnen Revieren statt, jedoch werden alle Gewässer auf Radioaktivität untersucht. Für die Überwachung des Meerwassers auf sonstige schädliche Beimengungen ist das Deutsche Hydrographische Institut in Hamburg ständig tätig. Im allgemeinen werden die akuten Verschmutzungen von Beobachtern (Schiffahrt, Einzelpersonen, überwachenden Behörden) direkt an die Polizei gemeldet, die dann, falls erforderlich, die Bevölkerung und die sonstigen Nutzer und Benutzer des Wassers warnt.

Eine besondere Regelung ist, auch in Erfüllung des in 3.11. genannten Übereinkommens der Nordseeanliegerstaaten, bei Ölverschmutzungen eingeführt. Die im allgemeinen von der Schiffahrt und von Flugzeugen beobachteten Ölverschmutzungen werden an einen zentralen Meldekopf, die ständig besetzte Radarzentrale des WSA Cuxhaven, gemeldet. Diese Stelle veranlaßt, falls noch notwendig, die Überprüfung und Spezifizierung der Beobachtung und läßt die Vertriftung des Öls berechnen. Wenn es sich um

größere Verschmutzungen der Gewässer und Küsten handelt, werden die bedrohten Gebiete gewarnt und eine besondere Einsatzleitungsgruppe aus Fachleuten der Behörden des Bundes und der Küstenländer einberufen, die dann bestimmt, ob und welche Maßnahmen zur Ölbekämpfung ergriffen werden.

3.13. Technische Maßnahmen

Technische Maßnahmen zur Verhinderung und Verminderung von Verschmutzungen durch die Industrie, häusliche Abwässer und beim Umschlag werden, falls notwendig, diesen Verschmutzern im vorgeschriebenen Genehmigungsverfahren auferlegt.

Gegen die aus dem Schiffsverkehr kommenden Gefahren werden auf internationaler und nationaler Grundlage Maßnahmen zur Erhöhung der Verkehrs- und Schiffssicherheit getroffen. Dies sind solche zur

Trennung der Verkehrswege, vor allem in den Ballungsgebieten des Schiffsverkehrs (z. B. Deutsche Bucht, Kieler Förde),

laufenden Verbesserung der Bezeichnung der Verkehrswege durch Schiffahrtszeichen,

seewärtigen Ausdehnung des bestehenden Landradardienstes an Elbe und Weser sowie die Einrichtung solcher Dienste auch an Jade und Ems,

Verkehrslenkung besonders für Schiffe mit gefährlichen und wassergefährdenden Ladungen,

bestmöglichen Ausrüstung aller Handelsschiffe auf dem Gebiet der Navigationshilfen und der Nachrichtenmittel,

besseren Schulung der Kapitäne und Lotsen, die etwa Großtanker führen,

Einführung schiffbaulicher Verbesserungen besonders bei Tankern, z. B. die Begrenzung der Größe der Einzeltanks.

Nach trotzdem eingetretenen Tankerunfällen kommt es entscheidend darauf an, bei festgekommenen Schiffen das Auseinanderbrechen zu verhindern und in jedem Falle schnell und möglichst viel Öl aus dem havarierten Schiff in Leichter umzupumpen. Hierfür wird auf das Schiff polizeilich eingewirkt, etwa um ausreichende Schleppkraft sofort anzunehmen. Zum anderen wird die Einführung eines Systems vorbereitet, das es leicht und sicher erlaubt, auch unter den häufig ungünstigen Wetterverhältnissen der Hohen See Ladungsöl zu leichtern.

3.21. Rechtliche Grundlagen bei eingetretenen Verschmutzungen

Innerhalb der deutschen Hoheitsgrenzen sind dies die Gesetze und Verordnungen, auf die unter 3.11. hingewiesen wurde.

Das auf dem Meer treibende Öl ist niemandes Eigentum und steht unter keiner staatlichen Hoheit. Der Kampf gegen ausgeflossenes und auf internationalem Gewässer treibendes Öl ist jedoch häufig nicht nur Sache eines einzigen Staates; auch Nachbarstaaten können von dieser Verschmutzung betroffen werden. Die aktive Zusammenarbeit mehrerer Staaten ist dann notwendig. Deshalb wurde, auch auf deutsche Initiative, das „Übereinkommen zur Zusammenarbeit bei der Bekämpfung von Ölverschmutzungen der Nordsee" von den Nordseeanliegerstaaten abgeschlossen. Es enthält die Verpflichtung zur gegenseitigen Unterrichtung über gemeldete Ölverschmutzungen, über die nationalen Bekämpfungsorganisationen, über national geplante neue Bekämpfungsmaßnahmen und verpflichtet die Partner zu gegenseitigem Beistand.

3.22. Technische Maßnahmen bei eingetretenen Verschmutzungen

Bisher bestehen nur bei Ölverschmutzungen Vorstellungen und erste Einrichtungen zur Bekämpfung. Im Einzelfall wird allerdings auch versucht, andere gefährliche, im Meer abgeladene Giftstoffe (etwa Kampfstoffe, verpackte fluorierte Kohlenwasserstoffe), soweit sie bekannt werden, durch Bergung unschädlich zu machen.

Zur Bekämpfung von großen Ölverschmutzungen hat der vom Bund und den Küstenländern der BRD eingesetzte Ölunfallausschuß See/Küste technische und organisatorische Vorschläge erarbeitet. Er nimmt zu den bisher bekannten Bekämfungsmitteln und -methoden folgende Stellung ein:

a) Das Emulgieren und Dispergieren sowie das Abbrennen von Öl auf Wasser ist nur unter bestimmten, festgelegten Bedingungen möglich.

b) Der Einsatz schwimmender Ölbindemittel verbietet sich auf der Hohen See aus wirtschaftlichen und praktisch-technologischen Gründen; er ist in begrenzten ruhigen Gewässern empfehlenswert.

c) Das Absenken von Öl kommt unter den bei uns vorliegenden Verhältnissen (durchweg Flachgewässer) nicht in Betracht.

d) Besonders zu empfehlen sind alle Maßnahmen zur mechanischen Entfernung des Öls von der Wasseroberfläche. Der Ausschuß macht für die Entwicklung und Beschaffung solcher Systeme entsprechende Vorschläge.

4. Vorschläge für zukünftige Entwicklungen

4.1. Zukünftige Entwicklung der Verschmutzung

Alle Erfahrungen und Statistiken weisen darauf hin, daß mit der weiteren Zunahme des Seeschiffsverkehrs und der Industrialisierung auch eine Zunahme der entsprechenden Verunreinigungen in den Hafenbereichen zu erwarten ist, es sei denn, die dringend notwendige, genaue Kenntnis aller Verschmutzungsfaktoren, sowohl in qualitativer als auch in quantitativer Hinsicht führt in naher Zukunft dazu, daß die Reinhaltung der Umwelt größere Priorität als bisher erhält.

In Deutschland rechnet man für die nächsten 10 Jahre mit einem wirtschaftlichen Wachstum von 40 — 45 %. Die chemische Industrie wird in diesem Zeitraum sehr viel stärker expandieren als andere Industriezweige. Auch der Anfall an häuslichem Brauchwasser wird in ähnlicher Größenordnung zunehmen. Auf Grund dieser Prognosen wächst die Menge der Abfallstoffe jährlich um 5—10 %, sofern man von den heutigen Produktionsabläufen ausgeht.

Z. Z. herrscht in Deutschland seitens der Industrie der Trend vor, neue Produktionsanlagen in Küstennähe zu errichten, da diese dann verkehrsgünstig liegen und die Einleitung der Reststoffe aus dem gereinigten Abwasser (Salze) leichter in die See als in die überlasteten Flüsse des Binnenlandes möglich ist.

Bei den geplanten Werken handelt es sich vorwiegend um Metallhütten (Stahl, Aluminium, Zink), Erdölraffinerien und um chemische Industrie. Allein die sich bereits in Bau befindlichen Aluminiumwerke werden im Jahre 1980 etwa 7 Millionen t Rotschlamm (überwiegend Eisenoxid) als Rückstand ausstoßen. Eine Zinkhütte an der Wesermündung hat bereits eine jährlich Verklappung von 100 000 t Abfallschlamm beantragt, der Gehalte von 2 % Zink und 0,12 % Blei aufweist.

An der Emsmündung beabsichtigten die Niederlande, organisch stark veschmutzte industrielle Abwässer einzuleiten. Erst auf starken Protest der deutschen Bundesregierung war man bereit, eine 85%ige Klärung der Abwässer durchzuführen. Damit verbleibt noch eine Abwasserlast von 3.5 Millionen Einwohnergleichwerten.

Um den steigenden Energiebedarf zu decken, werden laufend Kernkraftwerke geplant, gebaut und erweitert. Zur Zeit sind als Abgaben über die Flüsse an die Nordsee für Spalt- und Korrosionsprodukte etwa 30 Ci pro Jahr vorgesehen. Die Abgabe des schwer kontrollierbaren Tritiums wird in jedem Kraftwerk wesentlich ansteigen. Sie ist zur Zeit noch nicht abzuschätzen (die Abgabe über die Ems betrug im Jahre 1972 32 Ci).

Mit dem rasch steigenden Energiebedarf steigt ebenfalls der Bedarf an Wasser für Kühlzwecke. Da der Verwendung von Flußwasser enge Grenzen gesetzt sind, geht der Trend dahin, auch das Meerwasser für Kühlzwecke heranzuziehen. Man rechnet, daß sich der Ölverbrauch alle 10 Jahre verdoppeln wird. Mit steigendem Ölverbrauch wird der damit verbundene Öltransport zunehmen, wobei der auf Großtanker und pipelines entfallende Anteil wächst.

4.2. Maßnahmen zur Beurteilung der Gewässerverschmutzung in wissenschaftlicher Hinsicht

Das Einbringen von Abfällen in die Gewässer wird sich nie generell vermeiden lassen. Es muß jedoch unser Ziel sein, die Konzentration und die technische Form der Einbringung von Abfallstoffen so zu gestalten, daß den gesundheitlichen und den ästhetischen Aspekten ebenso genügt wird wie den wirtschaftlichen Interessen und dem sozialen Fortschritt. Es sollte zur Regel werden, daß Abfallstoffe „produzierende" Werke zu allen Entscheidungen, die Ausbau, Erweiterung, Standortwahl und Fabrikationsprogramm betreffen, entsprechende Umweltexperten zu Rate ziehen.

Auf dem Weg zu diesen Zielen gibt es verschiedene Aufgaben zu lösen. Dazu gehört eine gründliche Situationsanalyse, die Feststellung der Belastbarkeit der Gewässer mit Schadstoffen und damit verbunden die Ermittlung von Grenzwerten, bis zu denen ein Einbringen solcher Schadstoffe zugelassen werden kann. Zur Situationsanalyse und zur Feststellung der Belastbarkeit der Gewässer wird bei uns an folgenden Forschungsprogrammen gearbeitet:

- Bestimmung der Konzentrationsverteilung von Schadstoffen in den Gewässern und Gewässerböden, sowie Klärung der biologischen und physikochemischen Anreicherungsprozesse,
- Ermittlung der jährlich in die Gewässer gelangenden Schadstoffmengen,
- Bestimmung des horizontalen und vertikalen Transports der Schadstoffe bei verschiedenen Strömungsbedingungen,
- Bestimmung der letalen und subletalen Konzentrationen für die Organismen der Gewässer und Erforschung der Auswirkungen eingebrachter Schadstoffe auf die Ökologie,
- Bestimmung der Auflösung und Abbaubarkeit von Schadstoffen.

Für eine vollständige Bestandsaufnahme der derzeitigen Schadstoffkonzentrationen sowie auch für die Verfolgung der zeitlichen Änderung und Abschätzung der jährlichen Zuwachsraten ist die Entwicklung und Einrichtung eines Meßsystems erforderlich, das die Verteilung der wesentlichen Schadstoffe ständig registriert. Die Entwicklung, Standardisierung und Automatisierung von Meß- und Analysemethoden sind wichtige Voraussetzungen zur Erichtung eines derartigen Überwachungssystems.

Wird die Einbringung eines Schadstoffes beantragt, so müssen die chemische und mineralogische Zusammensetzung des Abfallstoffes ebenso bestimmt werden wie die Konzentration und die Einbringungsraten pro Zeiteinheit. Die physikalischen Eigenschaften (Löslichkeit, Dichte), die biochemischen Eigenschaften (Sauerstoffzehrung und Nährstoffproduktion) sowie die Belastung mit Viren und Bakterien müssen überprüft werden. Die Wirkungen und Veränderungen im biologischen Bereich (Toxidität, Anreicherung, Abbau) und die chemischen Wechselwirkungen mit anderen gelösten organischen und anorganischen Stoffen müssen bekannt sein.

Bei der Auswahl des Einbringungsareals sind neben gesamtwirtschaftlichen Gesichtspunkten auch die Entfernung zu den Küsten, die Lage der Fisch- und Brutgründe sowie hydrologische Parameter und klimatische Effekte ausschlaggebend.

Es muß weiterhin darauf geachtet werden, daß durch das Einbringen von Abfällen andere Gewässerbenutzer nicht geschädigt werden. Gesichtspunkte wie die Verringerung der Qualität des Wassers, das für industrielle Zwecke genutzt werden soll, die Beeinträchtigung der Schiffahrt und Fischerei und die Korrosion von Bauwerken müssen berücksichtigt werden. Daher sind die Öffentliche Hand und die Industriebetriebe gezwungen, in zunehmendem Maße für die Reinigung kommunaler und industrieller Abwässer Sorge zu tragen. Die Industrie muß sich um die Entwicklung neuer Technologien bemühen, mit deren Hilfe die Abfallstoffe erneut in einem Produktionsprozeß Verwertung finden.

Erst nach Klärung aller dieser Faktoren und Prozesse können die Einbringungsbedingungen formuliert und allgemein anerkannte Grenzwerte für die zulässige Konzentration von Schadstofen festgelegt werden. Die Feststellung von der Belastbarkeit der Gewässer mit Schadstoffen ist also in erster Linie eine Forschungsaufgabe. Zur Zeit sind unsere Kenntnisse von den physikalischen, chemischen und biologischen Vorgängen in den Gewässern im Zusammenhang mit dem Einbringen von Abfallstoffen noch sehr lückenhaft.

Für eine vollständige Bestandsaufnahme der derzeitigen Schadstoffkonzentrationen sowie auch für die Verfolgung der zeitlichen Änderung und Abschätzung der jährlichen Zuwachsraten ist die Entwicklung und Einrichtung eines Überwachungs- und Warnsystems erforderlich. Es sollte die Verteilung der wesentlichen Schadstoffe ständig registrieren. Eine wichtige allgemeine Aufgabe in diesem Bereich ist die Entwicklung, Standardisierung und Automatisierung von Meß- und Analysemethoden.

4.3. Rechtsvorschriften

Wie ausgeführt wurde, sind nur die Vorbereitungen zur Verhinderung und Bekämpfung von Ölverschmutzungen im deutschen See- und Küstengebiet verhältnismäßig weit gediehen, wenn auch die rechtliche Grundlage für die Zusammenarbeit von Bund und Küstenländern noch fehlt. Es gilt nun, diese Maßnahmen auch auf die anderen schädlichen Verunreinigungen auszudehnen. Dies ist besonders deshalb wichtig, weil die Gefahr besteht, daß sich in Wirtschaft und Industrie verstärkt Tendenzen entwickeln, Abfallstoffe in die Hohe See einzubringen, weil die Binnen- und Küstengewässer gesetzlich geschützt sind.

Es wird empfohlen:

ein Abwasserkataster (Registrierung aller Einleiter und der Beschaffenheit der Abwässer) einzurichten,

das direkte Einbringen von bestimmten Schwermetallen, Pestiziden und fluorierten Kohlenwasserstoffen in das Meer zu verbieten,

die Auflagen bei den kommunalen und industriellen Reinigungsanlagen zu verschärfen, damit das Einbringen von Schwermetallen, Pestiziden, fluorierten Kohlenwasserstoffen und toxischen anorganischen Stoffen zurückgeht und

Verbotszonen für das Einbringen von Schiffsabfällen einzurichten.

Es wird weiter empfohlen, auf ein generelles Verbot des Ablassens von Erdöl und sonstigen Kohlenwasserstoffen hinzuwirken.

International oder regional sind ebenfalls Abmachungen über die Möglichkeit oder das Verbot der Ablagerung von Industrieabfällen im Meer, die bisher auch in großen Mengen als „wenig schädlich" eingebracht wurden (z. B. Rotschlamm, Aschen, Salze, Säuren und Laugen), dringend notwendig.

Weiter sind, soweit noch nicht vorhanden, die rechtlichen Grundlagen für die Kontrollen von Schiffen auch auf der Hohen See zu schaffen und für die Beteiligung an regionalen, internationalen Übereinkommen über Einrichtung und Betrieb von Überwachungs- und Warnsystemen.

4.4. Technische Maßnahmen

Die technischen Maßnahmen werden am besten in solche zur Verhinderung, zur Frühwarnung und zur Beseitigung von Verunreinigungen der Gewässer eingeteilt.

Die Maßnahmen zur Verhinderung von Verschmutzungen sind im allgemeinen an den Urheber unmittelbar gerichtet und bedürfen daher zu ihrer Durchsetzung gesetzlicher Regelung. Abgesehen von verwaltungstechnischen Schwierigkeiten bei der Realisierung solcher Rechtsvorschriften und der Festlegung der Wirkungs- und Geltungsbereiche sowie bei der politzeilichen Überwachung zur Einhaltung der Gesetze sind sie bei laufenden Verschmutzungen (z. B. bei Brauchwassereinleitungen), bei periodischen Verunreinigungen (z. B. beim Verklappen oder beim Versprühen von Industrieabfällen) oder bei zufälligen (z. B. beim Überlaufen von Tanks und Ventilen), in der Form von technischen Vorbeuge- bzw. Vorhaltemaßnahmen vorstellbar. In diesem Zusammenhang wurden in Deutschland auch besondere Regelungen getroffen, sind in Vorbereitung oder sind geplant, worauf in Kapitel 3 und 4.3 eingegangen wurde.

Die Schiffahrt als Träger von wassergefährdender und gefährlicher Ladung kann durch solche Regelungen und Vorschriften in zweierlei Hinsicht betroffen werden.

Auf verkehrstechnischem Sektor bedeutet das eine Intensivierung der Sicherheitsvorkehrungen durch eine bessere Kennzeichnung der Verkehrswege, durch die Beseitigung von gefährlichen Wracks, durch den Ausbau des Landradarsystems und sonstiger Navigationshilfen, durch Verkehrstrennung in Küstennähe sowie gegebenenfalls durch Verkehrslenkungsmaßnahmen.

Auf der schiffbautechnischen Seite kann die Sicherheit gegen Verschmutzungen dadurch erhöht werden, daß einerseits stärkere Bauelemente, z. B. Doppelwände und Doppelböden eingeführt, ein besseres Zellensystem in Anlehnung an den IMCO-Vorschlag, besondere Schnellverschlüsse an allen Laderaumöffnungen und sonstigen Auslässen eingerichtet werden, andererseits dadurch, daß für bessere Manövriereigenschaften der Schiffe gesorgt wird.

Trotz aller Sicherheitsvorkehrungen wird es aber dennoch besonders bei Unglücksfällen zu Verunreinigungen der Hydrosphäre kommen. In diesem Fall — und natürlich auch in den Fällen andersartig eintretender Verschmutzung — ist eine wichtige Vorbedingung für ein wirkungsvolles Eingreifen ein frühzeitiges Erkennen und Bewerten der Gefahr, und zwar möglichst zu einem Zeitpunkt, zu dem die Ursprungsstruktur des Schadstoffes noch erhalten und nicht in den Dispersionszustand übergegangen ist. Die-

ses Ziel ist allerdings nur schwer zu erreichen. Bei kontrollierbaren laufenden Verunreinigungen macht es der Stand der Technik möglich, mit durch den Menschen als auch automatisch eingesetzten und gesteuerten Meßsystemen laufend die Art und den Grad der Verschmutzung festzustellen. Auf diesem Gebiet ist bereits ein routinemäßig arbeitendes Überwachungsprogramm vorhanden. Es muß jedoch räumlich erweitert und zeitlich verdichtet werden.

Bei unvorhersehbaren Verunreinigungen werden die Möglichkeiten der Detektion dadurch eingeschränkt, daß wir keine Mittel besitzen, alle Arten der Verschmutzungen unabhängig voneinander auf gleich schnelle und einfache Weise festzustellen, sondern außer bei visueller Detektion in den meisten Fällen zu zeitaufwendigen und kostspieligen Probe- und Analyseverfahren gezwungen werden. Hinzu kommt, daß das Kontrollgebiet zu groß ist, um in diesem Fall ein genügend eng gestecktes Beobachtungsnetz unter finanziell tragbaren Bedingungen aufbauen zu können.

Das bedeutet, daß bis auf weiteres nur visuell feststellbare Verunreinigungen einer erfolgreichen regulären Kontrolle unterzogen werden, wie es hinsichtlich der Verschmutzungen durch Öl und feste Abfälle bereits geschieht. Hier steht an oberster Stelle der Detektion auch auf lange Sicht der Mensch selbst, da z. Z. nur er in der Lage ist, die Kontrollfunktion vertretbar durchzuführen. Zur Verfügung stehen ihm dabei Schiffe und Flugzeuge als Fortbewegungsmittel und zusätzliche Detektionsgeräte.

Darüber hinaus ist geplant, in Anlehnung an das „Integrated Global Ocean Station System" (IGOSS) die verfügbaren festen und beweglichen Stationen in Küstennähe und auf Hoher See mit entsprechenden Sensoren und Monitoren auszurüsten und sie in das Beobachtungsnetz miteinzubeziehen.

Technische Maßnahmen zur Bekämpfung von Meeresverschmutzungen sind bis auf wenige Ausnahmen z. Z. nur bei Erdölen und festen Abfallstoffen möglich, solange diese an der Oberfläche der Gewässer bleiben und sich kohäsiv verhalten. Andere Schadstoffe wie Pestizide, Schwer- und Halbmetalle, organische und anorganische Stoffe und radioaktive Substanzen sind praktisch nicht zu beseitigen, sobald sie in Lösung gegangen sind.

Aus diesem Grunde ist in der BRD bisher auch nur für die Bekämpfung der Ölverschmutzung geplant und gearbeitet worden. Auch zur Ölbekämpfung sollten z. Z. vor allem nur mechanische Geräte eingesetzt werden, da die angebotenen physikalischen und chemischen Mittel nur eine Modifikation der Kohlenwasserstoffe bewirken und daher in gewissem Umfang selbst zu Verunreinigungen führen.

Für die nahe Zukunft sind deshalb für alle Schadstoffgruppen neue Bekämpfungsmittel und -verfahren zu entwickeln, wobei allerdings die aus der Ölbekämpfung gewonnenen Erkenntnisse durchaus auf die Beseitigung anderer Schadstoffe übertragen werden können. Im besonderen sind dies

— Detektions-, Identifizierungs- und Bekämpfungsmittel für Schadstoffe, insbesondere Pestizide, Kohlenwasserstoffe, Toxide, Schwer- und Halbmetalle, radioaktive Substanzen usw.,

— Entwicklung und Beschaffung von Geräten zur Feststellung und Identifizierung von Ölverschmutzungen bei unsichtigem Wetter vom Flugzeug aus,

— Entwicklung und Beschaffung von Geräten zur Feststellung und Identifizierung von Verschmutzungen anderer Art auch in größeren Meerestiefen,

— Entwicklung, Standardisierung und Bereitstellung von Bekämpfungsverfahren, -geräten und -mitteln, insbesondere Entwicklung und Beschaffung von schwimmenden

Kläranlagen, Beschaffung von Abschöpfgeräten, Sperren, Bindemitteln, Vorhaltung von Dispergatoren und Emulgatoren etc.

Diese Entwicklungen gelten für alle Schadstoffe im gleichen Umfang und gleichzeitig. Bis zu ihrer Realisierung und auch danach bleibt das wirksamste Bekämpfungsverfahren allerdings die Vorbeugemaßnahme.

5. Kritischer Ausblick

Trotz wiederholter Warnung ist es Wissenschaftlern und Technikern, die sich mit den Problemen der Umweltverschmutzung befassen und denen die Gefahren, die uns bedrohen, bekannt sind, bislang noch nicht gelungen, mit ihren Mahnungen in das Bewußtsein der Gesellschaft zu dringen. Die Gesellschaft muß sich darüber im klaren sein, daß mit zunehmendem Lebensstandard auch die Umweltverschmutzung zunimmt, wenn nicht mit dem Lebensstandard auch die Ausgaben für die Reinhaltung zumindest proportional steigen.

Die vollen Auswirkungen einer ungehindert fortschreitenden Verschmutzung werden nach neuesten Erhebungen wahrscheinlich erst in 50 bis 70 Jahren auftreten. Dann allerdings wird es zu spät sein, die angerichteten Schäden zu beseitigen.

Hinderlich bei der Anerkennung und der Durchsetzung der in notwendigen Belastbarkeitsplänen festgelegten Belastungsgrenzen werden der föderative Aufbau der BRD und wirtschaftspolitische Interessenkonflikte sein. Regelungen auf nationaler Ebene werden auch internationale Interessen beachten müssen, da die Häfen im nationalen und internationalen Wettbewerb stehen. Es darf also nicht damit gerechnet werden, daß Gesetze oder Bestimmungen, die in diesem Konkurrenzkampf die eine oder andere Seite gewollt oder ungewollt bevorzugen, widerspruchslos hingenommen werden.