PIANC•AIPCN Schifffahrt, Häfen, Wasserstraßen



19. Internationaler Schifffahrtskongress

London / Großbritannien (1957) Deutsche Beiträge

Abteilung I — Binnenschiffahrt

Frage 1

Die Rolle, die der Verkehr auf den Binnenwasserstraßen spielt, und seine Beziehungen zu den anderen Verkehrszweigen im Hinblick auf die Förderung der wirtschaftlichen Entwicklung der verschiedenen Länder

Von Prof. Dr. h. c. Otto Most, Präsident des Zentralvereins für deutsche Binnenschiffahrt e.V., mit Unterstützung eines Mitarbeiterkreises

Thema: "Die Deutsche Binnenschiffahrt"

			Seite
Gliederung:	1.	Die natürlichen Grundlagen der deutschen Binnenschiffahrt	9
	2.	Die Wasserstraßen	10
		a) in staatspolitischer und allgemeinwirtschaftlicher Sicht $\ldots \ldots$	10
		b) in technischer und finanzieller Sicht	12
	3.	Häfen und Umschlagseinrichtungen	13
	4.	Technische Entwicklung und technischer Stand der Binnenschiffahrt	14
	5.	Die deutsche Binnenschiffahrt	16
		a) in ihrer volkswirtschaftlichen Bedeutung	16
		b) im Verhältnis zur verladenden Wirtschaft	18
		c) in ihrer Wertschöpfung	19
		d) im europäischen Verkehrswesen	21
	6.	Unternehmungs- und Betriebsformen	22
	7.	Organisationen	24
	8.	Der Mensch in der Binnenschiffahrt	26
	9.	Binnenschiffahrt und andere Verkehrsträger	27
		a) Eisenbahn	27
		b) Kraftwagen	28
		c) Seeschiffahrt	2.9
		d) Spedition	30
	10.	Binnenschiffahrtrechtliches	31
		a) Privatrecht	31
		b) Offentliches Recht	32
		c) Wirtschaftsrecht	32

1. Die natürlichen Grundlagen der deutschen Binnenschiffahrt

Um die Eignung eines Raumes für die Binnenschiffahrt beurteilen zu können, ist es zweckmäßig, von einem geographischen Idealbild auszugehen. Dieses ist gegeben, wenn

- 1. Niederschlag, Temperatur, Verdunstung und Abfluß im Jahresablauf über längere Zeiträume hinweg so gleichmäßig sind, daß weder sommerliche Dürre noch Hochwassergefahr noch winterliche Frostperioden zu befürchten sind,
- 2. das Gewässernetz in einem weithin ebenen Relief eingebettet liegt und keinerlei jüngere Tektonik das Gleichmaß des Stromverlaufs beeinträchtigt,

- 3. das Gewässernetz in hinreichender Dichte eine allseitige Erschließung der wichtigen Wirtschaftsstandoute, vor allem der natürlichen Lager an Rohstoffen wie Kohle, Erz und Holz sowie der Landwirtschaft, ermöglicht,
- die Wasserscheiden leicht überwindbar sind, so daß künstliche Verbindungen der Flußgebiete untereinander mit geringem Aufwand hergestellt werden können.

Eine zusätzliche Begünstigung erfährt die Binnenschiffahrt, wenn das seeschifftiese Wasser möglichst weit landeinwärts reicht.

Unter diesen Gesichtspunkten stellt sich im Rahmen der großen Naturräume Deutschlands der westliche Teil des norddeutschen Tieflandes als das für die Binnenschiffahrt prädestinierteste Gebiet dar. Hier sind alle jene Idealvorstellungen erfüllt. Der Rhein durchzieht mit großer und relativ regelmäßiger Wasserführung einen dicht bevölkerten Industrieraum mit den für die gesamte mitteleuropäische Industrie wichtigen Kohlenlagerstätten und bildet die Verbindung mit den großen Seehäfen an der belgisch-niederländischen Küste. Nach Osten zu aber erweitert sich dieses Tiefland und wird von parallel ziehenden Flüssen durchströmt, die die besten Voraussetzungen für ein engmaschiges Netz natürlicher und auch künstlicher Wasserstraßen bieten. Jedoch nimmt die klimatische Gunst für die Binnenschiffahrt von Westen nach Osten ab; die winterlichen Frostperioden und die sommerlichen Wasserklemmen nehmen zu.

Ein ganz anderes Bild bietet die Mittelgebirgsschwelle. Sie ist zwar das Quell- und Sammelgebiet vieler Flüsse, doch sind deren gefällreiche Mittel- und Oberläufe schiffahrtsungünstig. Dem könnte nur mit Hilfe großer aufwendiger Kanalbauten abgeholfen werden, so daß am Ende weniger die Erschließung dieses Gebiets als vielmehr die Überwindung seiner Verkehrshemmnisse in Frage steht. Im Rheindurchbruch ist diese Überwindung für den westlichen Teil gegeben. Weiter östlich bildet erst die vom Rhein 800 km entfernt liegende Mährische Senke die zweite Möglichkeit einer Nord-Süd gerichteten Überwindung, wenn man von den Planungen einer Weser-Main-Verbindung westlich des Thüringer Waldes absieht. Die entscheidende verkehrs- und wasserwirtschaftliche Bedeutung dieses Raumes liegt in seiner Funktion als Wasserreservoir und Wasserspender für die vorgelagerten Bezirke.

Der süddeutsche Raum wiederum zeichnet sich durch einen großen Reichtum an natürlichen Flüssen aus, die zum wesentlichen Teil aus den Schnee- und Eisreserven der Alpen gespeist werden. Andererseits bereitet das Gebiet mit seiner landschaftlichen Mannigfaltigkeit von Becken, Mittelgebirgen und Landstufen dem Ausbau eines einheitlichen Wasserstraßennetzes größere Schwierigkeiten als im Norden. Die Verbindung der Flüsse macht zum Teil das Überschreiten der großen europäischen Wasserscheide zwischen Nordsee und Mittelbzw. Schwarzem Meer notwendig. Da aber der süddeutsche Wirtschaftsraum ein Gebiet mit hohem Energie- und Rohstoffbedarf ist und zudem seine Entfaltungsrichtung unmittelbar nach dem südlichen und südöstlichen Ausland weist, wird er von großen Wasserstraßenideen europäischer Reichweite belebt und darf als das in Deutschland gegenwärtig interessanteste Betätigungsfeld des Wasserstraßenbauingenieurs angesehen werden.

2. Die Wasserstraßen

a) in staatspolitischer und in allgemeinwirtschaftlicher Sicht

Die in den natürlichen Gegebenheiten gelegenen Möglichkeiten werden aber erst wirksam, wenn die in der Nation ruhenden politischen, geistigen

und wirtschaftlichen Kräfte sich dazu als fähig erweisen und der Staat es sich angelegen sein läßt, günstige Voraussetzungen dafür zu schaffen. Schon in der Römerepoche erstanden am Rhein ebenso wie später in der großen Zeit der mittelalterlichen Städtegründungen allenthalben an den deutschen Strömen Siedlungen, die noch heute zu den wirtschaftlich und kulturell wichtigsten Zentren des Kontinents gehören, und im Fortgang dieser geopolitischen Zusammenhänge ist die deutsche Staatengeschichte der dann folgenden neueren Zeit mit der Entwicklung der natürlichen und künstlichen. Wasserstraßen aufs engste verknüpft. Im siebzehnten und vor allem achtzehnten Jahrhundert werden in der deutschen Tiefebene als Klammern des brandenburgisch-preußischen Staates, im neunzehnten Jahrhundert aber auch in Süddeutschland (Ludwigskanal) die Wasserwege geschaffen, die dann schließlich Rückgrat und Ausgangspunkt der großen Wasserstraßenbauten des endenden neunzehnten und des zwanzigsten Jahrhunderts werden sollten. Vorübergehend durch die sieghafte Eisenbahn in den Hintergrund gedrängt, erlebten die Wasserstraßen mit dem Aufkommen der nach billiger und zuverlässiger Massengutbeförderung verlangenden Industrie eine Wiedergeburt, deren Auswirkungen sich bis in die Gegenwart hinein um so spürbarer geltend machten, als gleichzeitig die Nutzbarmachung der Wasserläufe aller Art für noch andere als Verkehrs-Zwecke ständig an Bedeutung zunahm; insbesondere für Zwecke der Wassersicherung (Sorge für ausreichende Vorflut, Sicherung und Befestigung der Ufer, Hochwasser- und Eisschutz, Deichbau usw.), der Wasserwirtschaft (Erhaltung und Regelung des Wasserhaushalts, Versorgung der Städte und Industrie, Be-, Entwässerung und Reinhaltung der Gewässer) sowie der Wasserkraftwirtschaft,

1921 wurden, ein besonders sichtbares Zeichen für die durch all dies ständig gewachsene staatspolitische und wirtschaftliche Bedeutung der Wasserstraßen (gegenwärtige Länge 4300 km, Anfang der dreißiger Jahre im Deutschen Reich noch 7500 km), alle Wasserstraßen, soweit sie dem allgemeinen Verkehr dienen, aus Eigentum und Verwaltung der einzelnen Länder in die Hand des Reichs übergeführt. Heute ist demzufolge gemäß Grundgesetz Art. 87 und 89 der Bund zuständig für Erhaltung und Erweiterung des Wasserstraßennetzes und alle darauf bezügliche Gesetzgebung. Erst diese Regelung hat die entscheidenden Voraussetzungen eines groß gedachten, jetzt durch die unnatürliche Zonengrenzziehung in zwei Teile zersprengten, aber auch im Raum der Bundesrepublik noch durchaus nicht völlig fertigen Wasserstraßensystems geschaffen; zugleich auch für die Möglichkeit seines Einsatzes in ein europäisches Gesamtgefüge als Grundlage für die Überführung Europas aus dem Zustand staatlicher Zerrissenheit in ein politisch und wirtschaftlich begründetes Ganzes. Dadurch unvermindert aber bleibt das Gewicht der Wasserstraßen als Instrument der einzelstaatlichen Raumordnung. Wie einst den Platz bedeutender Menschensiedlungen bestimmen sie im Zeitalter der modernen Industriewirtschaft weitgehend den Standort wichtiger Industrien, ja schaffen vielfach die Voraussetzungen für deren Entstehung. Dank ihrer auf weite Strecken hin besonders günstigen Möglichkeiten, vor allem Rohstoffe und schwere Halbfabrikate zu befördern, verhelfen sie maßgeblich zur Auflockerung der großen Ballungszentren, verbinden die verschiedenen Teile des Landes wirtschaftlich miteinander, holen insbesondere die Grenz- und peripher gelegenen Gebiete an die Wirtschaftszentren sowie die Aus- und Einfuhrhäfen heran. In jüngster Zeit werden Wasserstraßenbauten auch vielfach im Zusammenhang mit einem Verbundsystem von Wasserwirtschaft und Energieerzeugung geschaffen. Hierfür bildete das amerikanische Tennessee-Valley-Projekt ein viel

beachtetes Vorbild. In Deutschland spielt dieser Gedanke namentlich beim Bau des Rhein-Main-Donau-Kanals eine wesentliche Rolle und ist geeignet, besonders in jenem oben erwähnten Fall des Zusammentreffens von Verkehrs- und außerverkehrlichen Zwecken für die Kostenaufteilung neue Möglichkeiten zu öffnen.

b) in technischer und finanzieller Sicht

Das Rückgrat des deutschen Binnenwasserstraßennetzes bilden die natürlichen Flüsse. Die in den Jahrzehnten vor dem ersten Weltkrieg an ihnen durchgeführten Korrektionsmaßnahmen, die vornehmlich den Interessen der allgemeinen Landeskultur dienten, schufen gleichzeitig die Voraussetzungen für eine Großschiffahrt im modernen Sinne. Durch den Bau von Kanälen verband man dann diese Flüsse zu einem zusammenhängenden Wasserstraßennetz. Dabei mußte für den technischen Ausbau dieser Kanäle ein Kompromiß mit den auf den natürlichen Flüssen herrschenden, durchaus unterschiedlichen Verhältnissen gefunden werden. Infolgedessen weist das deutsche Wasserstraßennutz auch in seiner heutigen Gestalt noch keine einheitlichen technischen Bedingungen auf und wurde im übrigen durchweg dem langsam fahrenden Schleppzug als der damals gegebenen Betriebsform der Binnenschiffahrt angepaßt.

Die Motorisierung der Binnenschiffahrt (von dem gesamten Güterfrachtraum im Gebiet der heutigen Bundesrepublik waren 1936 = 8%, 1951 = 20%, am 1. Januar 1956 = 34% motorisiert) änderte diese technischen Voraussetzungen grundlegend: Der große Schleppkahn wird in zunehmendem Maße von motorisierten Schiffsgefäßen mittleren Typs abgelöst, die sich dem Ladungsangebot wirtschaftlicher anpassen und eine größere Umlaufgeschwindigkeit entwickeln können. Dadurch wird die Zahl der auf den Wasserquerschnitt einwirkenden Schiffsschrauben wesentlich vergrößert. Diese Entwicklung verlangt daher heute größere und tiefere Fahrwasserquerschnitte, vermehrte Überholungsmöglichkeiten, eine möglichste Verkürzung der Schleusungszeiten und darüber hinaus im Interesse der Freizügigkeit der Fahrzeuge ein Wasserstraßennetz, das überall einheitliche technische Bedingungen aufweist. Die Wasser- und Schiffahrtsverwaltung des Bundes ist bemüht, sich bei den am Dortmund-Ems-Kanal, an der Mittelweser, an Main, Neckar, Elbe und Donau laufenden Bauvorhaben dieser technischen Entwicklung anzupassen. Nach Durchführung dieser Maßnahmen werden Mittellandkanal und Küstenkanal entsprechend erweitert werden müssen. Erst dann wird das Wasserstraßennetz der Bundesrepublik ein nach einheitlichen Grundsätzen ausgebautes zusammenhängendes Verkehrsnetz darstellen.

Bei der technischen Entwicklung der Wasserstraßen in den anderen westeuropäischen Ländern sind gleichartige Probleme zu verzeichnen. Die europäische Verkehrsminister-Konferenz hat sich daher im Interesse der Förderung der europäischen Wirtschaft mit diesen Verhältnissen beschäftigt. Um für die Zukunft ein nach einheitlichen technischen Grundsätzen ausgebautes zusammenhängendes europäisches Wasserstraßennetz anzustreben, wurde von dieser Konferenz bereits eine internationale Klasseneinteilung der Wasserstraßen eingeführt. Ferner wurden internationale technische Normen für den Ausbau künftiger Wasserstraßen von europäischem Interesse festgelegt sowie Richtlinien für die Ausarbeitung künftiger Wasserstraßenprojekte angenommen.

Wie bereits dargetan, werden nach den von der Natur gegebenen Bedingungen Flüsse und Kanäle weitgehend auch noch anderen Interessen nutzbar gemacht. Damit wird jeder Ausbau einer Wasserstraße zu einem "Mehrzweckeprojekt" mit stets individuellem Gesicht je nach dem Übergewicht der einen oder

anderen Zielsetzung. Das erleichtert selbstverständlich die Finanzierung von Wasserstraßenbauten, wirft aber gleichzeitig besondere Probleme für die Verteilung der Kosten auf. Soweit diese mit dem Verkehrsbedürfnis und der Verkehrsleistung unmittelbar zusammenhängen, werden, wie schon früher im Deutschen Reich, so auch in der Bundesrepublik, grundsätzlich Befahrungs- (Schifffahrts-) a b g a b e n erhoben. Deren Berechnung bereitet jedoch erhebliche Schwierigkeiten angesichts der Verzahnung der so verschiedenen Interessen am Wasserlauf. Nach groben Schätzungen kann man jedoch davon ausgehen, daß die vom Verkehr verursachten Betriebs- und Unterhaltungskosten der abgabepflichtigen Wasserstraßen durch die darauf erhobenen Schiffahrtsabgaben mehr als voll gedeckt werden, so daß auch der Kapitaldienst in zunehmendem Maße aus den Abgaben bestritten werden kann. Freilich sind von der "Abgabepflicht" auf Grund internationaler Verträge von vornherein die Ströme, die den größten Verkehr aufweisen, befreit, so daß die heute allgemein erhobene Forderung, daß die Verkehrsträger die ihnen anzulastenden Kosten ihrer Wege selbst tragen sollen, unter den gegenwärtigen Rechtsverhältnissen von dieser Seite her nicht erfüllbar ist.

3. Häfen und Umschlagseinrichtungen

Was für die Eisenbahn die Bahnhöfe, sind für die Binnenschiffahrt die Häfen. Sie sind die Nahtstellen, an denen der Verkehr seinen Ausgang nimmt bzw. endet oder den Verkehrsträger wechselt. Leistungsfähige Wasserstraßen bedürfen daher leistungsfähiger Häfen.

Für die Anlage von Häfen sind wie für den Bau von Binnenwasserwegen geographische und wirtschaftliche Gesichtspunkte maßgebend. Da die Binnenhäfen Knotenpunkte des Verkehrs sind, bestimmen darüber hinaus leistungsfähige Eisenbahnstrecken und Straßen den Standort. Soweit die Seehäfen über leistungsfähige Binnenwasserverbindungen verfügen, sind sie gleichzeitig auch Häfen der Binnenschiffahrt. Diese Doppelstellung besitzen in hervoragendem Maße die großen nordwesteuropäischen Flußmündungshäfen.

Im Laufe der Zeit haben sich verschiedene Hafentypen herausgebildet, die sich in ihren Aufgaben wesentlich voneinander unterscheiden. Bis um die Jahrhundertwende waren diese Häfen fast ausschließlich öffentliche Umschlagshäfen, d. h. sie empfingen und versandten die Güter für und von jedermann und lagerten sie in den Lagerhäusern und Speichern. Sie hatten eine reine Mittlerfunktion. Die Industrie- und Handelsunternehmungen, die ihren Warenverkehr über diese Häfen leiteten, waren in der Regel nicht in den Häfen ansässig, sondern befanden sich in der näheren oder weiteren Umgebung. Die Ansicht, daß die Ansiedlung in den Häfen selbst zweckmäßig sein könnte, brach sich erst um die Jahrhundertwende Bahn.

Für, die Entwicklung öffentlicher Industriehäfen spricht vor allem, daß ein Hafen mit starker Industrieansiedlung einen belebenden Einfluß nicht nur auf die Nebengewerbe des Verkehrs, vor allem Spedition und Lagerei, ausübt, sondern auf den ganzen Wirtschaftsraum in der Umgebung des Hafens. Diese Tatsache veranlaßt die Träger der öffentlichen Häfen, in erster Linie die Gemeinden und Gemeindeverbände, die Ansiedlung von Wirtschaftsunternehmungen in den Häfen selbst nach Kräften zu fördern. Mit der fortschreitenden Wirtschafts- und Verkehrsentwicklung werden solche Häfen eine zunehmende Bedeutung gewinnen.

Eine Sonderstellung unter den Industriehäfen nehmen die reinen Werkshäfen ein. Diese sind von großen Wirtschaftsunternehmungen, insbesondere der Montanund der chemischen Industrie, angelegt worden. Sie dienen dem eigenen Güterverkehr dieser Werke. Auch sie haben zunehmend an Bedeutung gewonnen. Besonders kennzeichnend für sie ist die Spezialisierung auf bestimmte Güter, wodurch der Umschlagbetrieb ganz wesentlich erleichtert wird.

Die öffentlichen Häfen sind fast durchweg kommunale oder staatliche Einrichtungen. Der Hafenbetrieb stellt einen Teil der öffentlichen Wirtschaft dar. Er ist gemeinwirtschaftlich ausgerichtet, d. h. Hauptzweck der Häfen ist die nachhaltige Förderung der heimischen Wirtschaft, zu deren Gunsten häufig auf die volle Deckung der Kosten in der Erwartung verzichtet wird, daß das Defizit durch das Mehraufkommen an Steuern zumindest ausgeglichen wird. Die Anlage von öffentlichen Häfen kann daher in der Regel nicht Sache einer privaten Unternehmertätigkeit sein.

Die erheblichen Kosten der Häfen, wie sie der Erwerb von Grundbesitz, die Anlage und die Unterhaltung der Hafenbecken, Lagerhäuser, Umschlagsanlagen und Verkehrseinrichtungen verursachten, werden ganz oder zum Teil durch Gebühren gedeckt. Dabei ist zu unterscheiden/zwischen den eigentlichen Hafengeldern oder Werftgebühren, die eine Gegenleistung für die Benutzung der Häfen und Werftanlagen darstellen, öffentlichen Charakter haben und der Tarifhoheit des Staates unterliegen, und den sonstigen Entgelten, nämlich Hafenbahntarifen, Krangebühren, Lagergeldern, Wiegegeldern usw. Diese Abgaben stellen Gegenleistungen für die von den Hafenbetrieben geleistete Umschlagarbeit dar.

Die Entwicklung eines modernen Binnenhafens hängt aufs engste von der technischen Verbesserung der Umschlag- und Fördereinrichtungen ab. Neuzeitlicher Maschinenbau, Elektrotechnik und Motorisierung haben zu einer weitgehenden Mechanisierung der Umschlagvorgänge geführt. Bemerkenswert ist hierbei vor allem die Spezialisierung der Umschlaganlagen auf bestimmte Güter sowie die Loslösung der Geräte von festen Standorten, wie das z.B. bei den Förderbändern und gummibereiften Kränen der Fall ist. Bei den Hafenbahnen ist eine Modernisierung durch die Umstellung von Dampflokomotiven auf Diesellokomotiven in vollem Gange. Dem zunehmenden Einsatz des Kraftwagens in den Häfen dient der Ausbau der Straßen im Hafengelände sowie der Zufahrtsstraßen. Diese fechnische Entwicklung ist von großer Bedeutung für die gesamte Binnenschiffahrt, denn ein schneller, schonender und billiger Umschlag der Güter ist für die Binnenschiffahrt, deren Verkehr zu 60—70% gebrochener Verkehr ist, eine Existenzfrage.

4. Technische Entwicklung und technischer Stand der Binnenschiffahrt

Vom Verkehr aus gesehen muß die Aufgabe des Technikers darin bestehen, die spezifischen Verkehrsleistungen des Frachtraums — ausgedrückt in Jahres-tkm je t Tragfähigkeit — zu verbessern. Selbstverständlich müssen zunächst aus den gegebenen bzw. sich weiter entfaltenden Eigenschaften der Wasserstraßen zwingende Folgerungen für die sie benutzende Schiffahrt gezogen werden; so vor allem in Anpassung der Schiffsabmessungen an das vorhandene Wasserstraßennetz, besonders was das Verhältnis Schiffsquerschnitt zum Kanal- oder Flußquerschnitt anlangt. Darüber hinaus bestimmen die technische Entwicklung jeder Binnenflotte ausschlaggebend fünf Faktoren: 1.) das Verhältnis Nutzlast / Totlast, 2.) Geschwindigkeit des Schiffsumlaufs, abhängig von der Maschinenleistung, dem Propulsionswirkungsgrad der Antriebsorgane und der Größe des Wasserwiderstandes der Schiffsform; 3.) die Sicherung ausreichender Freizügigkeit des Frachtraums innerhalb des Wasserstraßennetzes; 4.) das Ausmaß der täglichen Fahrzeit, der Lade und Löschzeit sowie 5.) das gegenseitige Verhältnis beider, woraus sich der Zeitfaktor in der oben wiedergegebenen Leistungsformel Jahres-tkm je t Tragfähigkeit bestimmt.

Zur heutigen Lage in der Bundesrepublik ist dazu folgendes zu sagen:

Die spezifische Verkehrsleistung der deutschen Binnenflotte ist von 2651 tkm je t Tragfähigkeit im Jahre 1912 auf 3027 tkm je t Tragfähigkeit 1939 und 4529 tkm je t Tragfähigkeit 1955 gestiegen, d. h. mit einem Frachtraum von 1 t Tragfähigkeit konnte im Jahre 1955 eine Verkehrsleistung bewältigt werden. die im Jahre 1939 noch den Einsatz eines Frachtraumes von 1,5 t und im Jahre 1912 den eines Frachtraumes von 1,7 t erfordert hätte. Diese Steigerung der Leistungsfähigkeit des Frachtraumes ist in erster Linie auf die Beschleunigung des Schiffsumlaufs durch die Erhöhung der Maschinenleistung, die Verbesserung der Schiffslinien bei Neubauten und die Erhöhung des Wirkungsgrades der Antriebsorgane im Zusammenhang mit der schon erwähnten Motorisierung des Frachtraumes und in zweiter Linie auf die in gleicher Ursache begründete vermehrte Freizügigkeit des Frachtraumes im Zuge der Individualisierung des Verkehrs zurückzuführen. Die je 1 Mill. tkm installierte Maschinenleistung betrug 1912 22,5 PS, 1939 37,8 PS und 1955 58,5 PS. Dabei darf die große Bedeutung, die einer Beschleunigung des Güterumschlages in den Binnenhäfen zukommt, nicht übersehen werden.

Das Verhältnis Nutzlast / Totlast ist bei Neubauten durch eine wesentliche Senkung des Schiffskörpergewichts infolge der elektrischen Schweißung des Schiffskörpers, die Anwendung von Aluminium und zweckmäßiger konstruierten, daher leichteren Längs- und Querverbandsteilen sowie die Verringerung des Einheitsgewichts der Maschinenanlagen erreicht worden.

Eine Möglichkeit zur Senkung der die Wirtschaftlichkeit des Betriebes der Binnenflotte bestimmenden Bau- und Betriebskosten wird in der deutschen Binnenschiffahrt in der Begrenzung der Zahl der Schiffs- und Motorentypen gesehen. Der Zentral-Verein für deutsche Binnenschiffahrt hat die Zahl der Motorgüterschiffstypen auf 5, die der Kähne auf 8 beschränkt. Die Zahl der auf Neubauten überwiegend verwendeten Motorentypen beträgt 12, welche 6 verschiedenen Leistungsklassen angehören.

Die zur Erhöhung der Umlaufsgeschwindigkeit der Binnenschiffe erforderliche Leistungssteigerung bei den Antriebsmaschinen ist eng mit der neueren Entwicklung des Dieselmotors verbunden. Dieser hat die Kolbendampfmaschine fast völlig verdrängt und läßt auch der modernen, in der Seeschiffahrt wettbewerbsfähigen Dampfturbine bei den geringen Antriebsleistungen der Binnenschiffe keinen Raum zur Entfaltung. Das gleiche gilt für die Gasturbine.

Die Konzentration auf den Dieselmotor wirkt sich wirtschaftlich günstig aus, weil durch die Beschränkung auf nur eine Maschinenart hohe Stückzahlen aufkommen, die wiederum eine Senkung der Bau- und Betriebskosten zur Folge haben. Wesentlich dafür ist ferner, daß der Dieselmotor auch bei der Eisenbahn, dem Straßenverkehr und der See- und Küstenschiffahrt stark vordringt und daß viele dorf betriebene Dieselmotoren auch in der Binnenschiffahrt verwendet werden können.

Beim modernen Dieselmotor zeigen sich Entwicklungsfortschritte, die insbesondere durch die Aufladung und die Möglichkeit, schlechtere Kraftstoffe zu verarbeiten, gekennzeichnet sind. Die Aufladung hat zur Verringerung des Gewichts- und Raumbedarfs und des spezifischen Kraftstoffverbrauchs geführt. Sie hat gleichzeitig erhebliche Leistungssteigerungen bewirkt, so bei Viertaktmotoren bis 60 %, bei Anwendung der Ladeluftkühlung über 100 % und mit Hochaufladung bis zu 200 % der Normalleistung; auch bei Zweitaktmotoren bis zu einem Drittel.

Für die Binnenschiffahrt, besonders auf dem Rhein, ist damit eine für die Überwindung von Stromschnellen erforderliche Überlastbarkeit der Antriebsmaschinen gegeben, die der der Kolbenmaschine in nichts nachsteht.

Neben der Steigerung der Leistung durch die Aufladung wird den Bestrebungen zur Verwendung leichterer Motoren durch die Erhöhung der Motorendrehzahlen entsprochen. Schnellaufende Getriebemotoren haben nicht nur in Schienenfahrzeugen, sondern auch im Schiffsbetrieb Eingang gefunden.

In der künftigen Entwicklung des Verkehrs auf den Binnenwasserstraßen wird der Zeitfaktor nach wie vor die erste Rolle spielen. Die Binnenschiffahrt ist der einzige Verkehrsträger, welcher nur die Tageszeit ausnutzt. In der Ausdehnung der Fahrzeit liegt eine mögliche Reserve, die durch Verwendung von Radargeräten und die Befeuerung der Wasserstraßen nutzbar gemacht werden kann.

5. Die deutsche Binnenschiffahrt

- a) in ihrer volkswirtschaftlichen Bedeutung
- 1. Die Verkehrsleistungen der deutschen Binnenschiffahrt.

Auf den Wasserstraßen des Bundesgebiets wurden im Jahre 1955 124,6 Mio t befördert und 28,5 Md. tkm geleistet. Gemessen am gesamten Eisenbahn-, Schifffahrts- und Straßenfernverkehr entfielen damit rund 26% der Mengenleistungen und 28% der tkm-Leistungen auf die Binnenschiffahrt. Der Anteil der Schiffahrt an dem ausschließlich von ihr und den Eisenbahnen bewältigten Verkehr betrug bei den Mengen 30,6% und bei der tkm-Leistung 32,9%. Sehr beachtenswert hierbei ist, daß dieses Verhältnis unbeschadet gelegentlicher Schwankungen seit Jahrzehnten im wesentlichen konstant geblieben ist.

Auf deutschen Schiffen wurden im Inland 80,7 Mio t befördert und 17,76 Md. tkm geleistet. Das entspricht einem Anteil von 64,7 % bei den Gütermengen und 62,3 % bei den tkm-Leistungen.

Vom Gesamtverkehr auf den Wasserstraßen des Bundesgebietes entfielen 1955 52% auf den innerdeutschen Verkehr, 40,5% auf den grenzüberschreitenden und 5,4% auf den Durchgangsverkehr. Der Rest umfaßt den Verkehr mit deutschen Häfen außerhalb des Bundesgebietes (sowjetische Besatzungszone und Berlin).

In der Verteilung des Güterverkehrs nach Stromgebieten stand 1955 das Rheingebiet (einschließlich Main und Neckar) mit 61,6% der in deutschen Binnenhäfen ein- und ausgeladenen Güter an der Spitze; es folgen das westdeutsche Kanalgebiet (einschließlich Mittellandkanal) mit 25,1%, das Weser- und Elbegebiet mit 5,9% und 5,7% und schließlich das Gebiet der Donau mit 1,7%.

Von den 1955 auf den Binnenwasserstraßen des Bundesgebiets beförderten Gütern entfielen 28,5 % auf Kohlen, 20,1 % auf Steine und Erden, 13,9 % auf Erze, 7,3 % auf Mineralöle und 4,1 % auf Getreide und Mehl. Den früher in manchen Verkehrsbeziehungen recht beachtlichen Stückgutverkehr hat die Binnenschiffahrt fast ganz verloren.

2. Staat und Binnenschiffahrt.

Die Entwicklung der Eisenbahnen im 19. Jahrhundert hat in den deutschen Ländern die Binnenschiffahrt nicht zu verdrängen vermocht. Nach einigen Jahrzehnten des Eisenbahnbaues erstarkte, wie schon in Abschn. 2a) erwähnt, in den siebziger Jahren das Interesse sowohl bei weitsichtigen Männern der Wirtschaft wie auch der staatlichen Verwaltung wieder für die weitere Entwicklung der

Binnenschiffahrt. Die verkehrspolitische Linie vor dem ersten Weltkrieg kann deshalb dahin gekennzeichnet werden, daß die deutschen Länder danach strebten, Eisenbahn und Binnenschiffahrt nebeneinander zu entwickeln. An dieser Linie ist im Grundsatz bis heute festgehalten worden.

Während die Vorhaltung der Wasserstraße Sache des Staates (Bundes) ist — vgl. das zu 2a) Gesagte —, ist der Betrieb der Binnenschiffahrt grundsätzlich dem privaten Gewerbe überlassen. Von diesem Prinzip gibt es allerdings eine ausdrückliche, durch besondere Umstände bedingte Ausnahme und einige praktische Abweichungen. Auf den westdeutschen Kanälen und dem Mittellandkanal besteht ein staatliches Schleppmonopol, heute in der Hand des Bundesschleppbetriebes. Seine Schaffung war erforderlich, um gewisse Widerstände im preußischen Landtag gegen den Bau des Mittellandkanals auszuräumen. Darüber hinaus ist der Bund mittelbar oder unmittelbar an einer Reihe von Binnenschiffahrtsunternehmungen kapitalmäßig beteiligt.

Die Frachtenbildung erfolgte bis Anfang der dreißiger Jahre in freier Preisbildung rein marktmäßig. Die schwere Notlage, die die Weltwirtschaftskrise in der deutschen Binnenschiffahrt hervorrief, veranlaßte die Reichsregierung 1931/32 zur Schaffung marktordnender Instrumente. Ursprünglich als Krisenhilfen gedacht, wurden sie später beibehalten und sind heute in dem "Gesetz über den gewerblichen Binnenschiffsverkehr" von 1953 verankert. Wesentlich für diese Marktordnung sind: 1. die Festsetzung der Frachten durch "Frachtenausschüsse"; 2. die Zusammenfassung der Privatschiffer (Partikuliere) in stromgebietsweise gebildeten "Schifferbetriebsverbänden"; 3. die Verteilung von Fracht- und Schleppgut zwischen Reedereien und Privatschiffern") durch Abschluß von entsprechenden Vereinbarungen zwischen den unmittelbar Beteiligten, notfalls durch den Bundesverkehrsminister; 4. die Möglichkeit eines "Frachtenausgleichs" durch Anordnung des Bundesverkehrsministers.

Zu 1: Alle Frachten und sonstigen Entgelte für Verkehrsleistungen der Schiffahrt im deutschen Binnenverkehr werden durch Frachten ausschüßse festgesetzt. Diese setzen sich je zur Hälfte aus Vertretern der Schiffahrt und der verladenden Wirtschaft zusammen. In jedem Stromgebiet besteht ein Frachtenausschuß; nur für den Tankschiffsverkehr wurde ein Frachtenausschuß auf Bundesebene eingerichtet. Die von diesen Ausschüßsen beschlossenen Frachten bedürfen der Genehmigung durch den Bundesminister für Verkehr. Sie werden veröffentlicht und sind damit allgemein verbindlich. Sie sind Festentgelte; der Bundesminister für Verkehr kann aber im Einzelfall im Einvernehmen mit dem Bundeswirtschaftsminister auch Höchst- oder Mindestentgelte zulassen. Ausnahmsweise können in gleicher Weise aus zwingenden Gründen der Verkehrspolitik auch einmal Frachten unmittelbar behördlich festgesetzt werden. Im Gegensatz zum innerdeutschen Verkehr ist die Frachtenbildung im grenzüberschreitenden Verkehr frei; dazu siehe auch den nächsten Abschnitt.

Zu 2: Die große Zahl von Privatschiffern in der deutschen Binnenschiffahrt machte früher den Markt unübersichtlich und bewirkte bei absinkender Konjunktur eine übermäßige Schärfe des Wettbewerbs. Darum, und um die Privatschiffahrt überhaupt zu einem handlungsfähigen Marktpartner zu machen, wurden die Privatschiffer stromgebietsweise in "Schifferbetriebsverbände" als Körperschaften des öffentlichen Rechts zusammengefaßt. Privatschiffer, die einer reedereimäßig arbeitenden Genossenschaft angehören "oder durch den Abschluß langfristiger

^{*)} Als Privatschiffer gilt ein Schiffseigner oder Ausrüster, der in der Regel nicht mehr als 3 Binnenschiffe (Kähne, Schlepper oder Selbstfahrer) betreibt und dessen Gewerbebetrieb dem eines Kleinschiffers entspricht.

Beschäftigungsverträge für ihre Betriebe die mit dem vorliegenden Gesetz erstrebte Ordnung gewährleisten", können, aber müssen nicht Mitglieder eines Schifferbetriebsverbandes sein.

Zu 3: Die Aufgabe der Schifferbetriebsverbände ist eine doppelte: sie sollen mit den Reedereien und ihren Verbänden Verträge über die Zuteilung von Frachtund Schleppgut abschließen und die Verteilung unter ihren Mitgliedern regeln. Eine auf Erwerb gerichtete Tätigkeit, insbesondere als Reeder, Befrachter oder Spediteur, ist den Schifferbetriebsverbänden nicht gestattet.

Kommen die Quoten-Vereinbarungen zwischen Reedereien und Privatschiffahrt nicht zustande, so kann der Bundesverkehrsminister unter gewissen, im Gesetz genau umschriebenen Umständen "die Verteilung von Fracht- und Schleppgut, das ganz- oder streckenweise auf Bundeswasserstraßen befördert werden soll, durch Rechtsverordnungen regeln" (§ 3).

Zu 4: Die Binnenschiffahrt ist bei der Zersplitterung ihres Angebotes nicht ohne weiteres zu einer Frachtendifferenzierung befähigt, woraus sich u. U. eine erhebliche Beeinträchtigung ihrer Wettbewerbsposition gegenüber Verkehrsmitteln mit anderer Struktur ergeben kann. Aus diesem Grunde kann der Bundesverkehrsminister einen Frachtenausgleich zwischenbetrieblicher oder zwischengebietlicher Art anordnen. Eine volkswirtschaftlich unerwünschte Zuspitzung des Wettbewerbs zwischen der Binnenschiffahrt und anderen Verkehrsmitteln dürfte dabei nicht zu befürchten sein, da es gerade eine der vornehmsten Aufgaben des Bundesverkehrsministers ist, einander widerstrebende Interessen der Verkehrsträger zum Wohle der Volkswirtschaft auszugleichen.

b) im Verhältnis zur verladenden Wirtschaft

Kennzeichnend für das Verhältnis der Binnenschiffahrt zur verladenden Wirtschaft ist ein wechselseitiges Geben und Nehmen, das beide Partner immer wieder zu enger Zusammenarbeit führt. Die Formen dieser Zusammenarbeit sind dabei manigfaltig und vielseitig und umfassen eine Fülle von technischen, wirtschaftlichen und organisatorischen Kontakten, von denen hier nur die wichtigsten behandelt werden können.

Die engsten Berührungspunkte zwischen Binnenschiffahrt und verladender Wirtschaft liegen naturgemäß auf dem Gebiet der Frachtenbildung. Sie ist — mit oder ohne staatliche Einflußnahme — einerseits ausschlaggebend für die finanzielle Gesunderhaltung und damit für die betriebliche Leistungsfähigkeit der Binnenschiffahrt. Andererseits gehen die Transportentgelte als Kosten in die Kalkulation der Betriebe ein; sie haben deshalb großen Einfluß auf die Nachfrage nach Schiffsraum und damit auf die Auswahl des Transportmittels. Bei der Frachtenbildung sind daher Spannungen sachlich unvermeidbar; sie drängen stets nach neuen Lösungen.

Erfreulicherweise hat sich für den innerdeutschen Verkehr in den letzten Jahren eine vertrauensvolle Zusammenarbeit herausgebildet, und zwar, wie schon soeben geschildert, auf Grundlage des "Gesetzes über den gewerblichen Binnenschiffsverkehr" von 1953. Bei dessen Beratung hat sich die verladende Wirtschaft über die Industrie- und Handelskammern und die maßgebenden Fachverbände grundsätzlich für das dort verankerte Festfrachtsystem ausgesprochen, ohne dabei jedoch die Möglichkeit von der Hand zu weisen, für bestimmte Verkehre und in gewissen Relationen Höchst- und Mindestfrachten zuzulassen.

Aber auch bei der Frachtenbildung im grenzüberschreitenden Verkehr ist eine Zusammenarbeit zwischen Binnenschiffahrt und verladender Wirtschaft festzustellen. Dies gilt insbesondere für die Rheinschiffahrt als dem Hauptträger des grenzüberschreitenden Wasserstraßenverkehrs. So wurden zahlreiche internationale Vereinbarungen zwischen den Schiffahrttreibenden und Verladern aller Rheinuferstaaten und Belgiens getroffen und Regelungen vorbereitet bzw. schon teilweise verwirklicht, die weit über den Rahmen der üblichen Zusammenarbeit, wie sie in früheren Jahren bestand, hinausgehen. Die Duisburger Frachtenkonvention (DFK), der nahezu alle Rheinschiffahrttreibenden und zahlreiche Großverlader angehören, kann als eines der bedeutendsten Ergebnisse einer verständnisvollen Zusammenarbeit im internationalen Verkehr und als ein sichtbarer Ausdruck des Willens zur Selbstverwaltung gewertet werden. Aber auch die in den letzten Monaten zwischen den Schiffahrttreibenden geschlossenen verschiedenen internationalen Rheinschiffahrtskonventionen für Massengüter sind von bemerkenswerter Bedeutung gerade auch für die verladende Wirtschaft. Deren aktives Interesse und Mitwirkung an der Frachtenbildung der Binnenschiffahrt kommen auch im Zusammenhang mit den Forderungen zum Ausdruck, die die Hohe Behörde der Montanunion an die Frachtenbildung in der Binnenschiffahrt der Mitgliedstaaten stellt.

Über die Frachtenausschüsse hinaus wird die Zusammenarbeit durch zahlreiche gemeinsame Einrichtungen getragen, unter denen die im Rahmen bewährter Selbstverwaltungskörperschaften bestehenden Gremien, wie die Schiffahrts- und Hafenausschüsse bei den Industrie- und Handelskammern, der Binnenschiffahrtsausschuß beim Deutschen Industrie- und Handelstag, die Ruhrorter Schifferbörse und andere nationale und übernationale Gebilde einen großen Raum einnehmen. Eine besondere Rolle spielen in diesem Zusammenhang der Zentral-Verein für deutsche Binnenschiffahrt e.V. sowie die regionalen Vereinigungen zur Förderung der Schiffahrt in den verschiedenen Stromgebieten. Diese Organisationen bilden seit der im letzten Viertel des vergangenen Jahrhunderts vollzogenen "Wiederentdeckung der Wasserstraße" im vergangenen Jahrhundert das große Forum für die Aussprache aller Beteiligten über die Fragen, die der Verkehr auf Binnenwasserstraßen aufwirft.

Das Verhältnis der Binnenschiffahrt zur verladenden Wirtschaft findet weiter seinen Ausdruck in einer fruchtbaren Zusammenarbeit bei Stellungnahmen zu Plänen für Aus- und Neubau von Wasserstraßen. Mehr und mehr ist auch zwischen Binnenschiffahrt und verladender Wirtschaft ein enges Zusammengehen bei Aufgaben auf dem Gebiete der schiffbau- und wasserbautechnischen Forschung sowie der Förderung des Nachwuchses für die Binnenschiffahrt und alle mit ihr im Zusammenhang stehenden technischen und kaufmännischen Berufe festzustellen.

c) in ihrer Wertschöpfung

Mit der oben angeführten Transportleistung von 28,5 Md. tkm 1955 nimmt die Binnenschiffahrt unter den drei Binnenverkehrsträgern Schiene, Schiffahrt und Straßenverkehr den zweiten Platz ein. Damit ist zwar die Stellung der Binnenschiffahrt in der Reihe der Verkehrsträger prägnant umrissen. Doch genügt der Hinweis auf diese Leistungen ebensowenig wie die eingangs gemachten mehr all-

gemeinen Ausführungen, um die Bedeutung der Binnenschiffahrt im Rahmen der unmittelbaren und mittelbaren Wertschöpfung zu charakterisieren. Hierzu sind weitere Feststellungen notwendig:

Jene Leistungen der Binnenschiffahrt werden auf einem Netz schiffbarer Wasserstraßen erbracht, das mit der bereits erwähnten Länge von rd. 4300 km nur weniger als ein Siebentel der Betriebsstreckenlänge der Deutschen Bundesbahn und sogar nur ein Dreißigstel des klassifizierten Landstraßennetzes beträgt. Unter ausschließlicher Berücksichtigung des Güterverkehrs ist demnach die Verkehrsdichte auf den Wasserstraßen ungleich größer als auf Schienenwegen oder Landstraßen. Diese Überlegung dürfte von großer Bedeutung auch bei der Ermittlung der spezifischen Wegekosten der Verkehrsträger sein.

Die Leistungen der Binnenschiffahrt werden ferner mit einem Personalaufwand vollbracht, der wesentlich geringer ist als derjenige bei Eisenbahn und Straßenverkehr. Zahlenmäßig läßt sich das besonders damit deutlich machen, daß die deutsche Flagge mit, wie in Abschnitt 8 näher ausgeführt, nur etwa 60 000 Menschen (fahrendes und stationäres Personal sowie Verwaltungs- und Betriebspersonal für Wasserstraßen, Werften und Häfen), also mit etwa einem Achtel bis einem Neuntel des von den Eisenbahnen des Bundesgebietes beschäftigten Personals, eine Transportleistung bewältigt, die immerhin im Güterverkehr rund zwei Fünftel der Schienenleistung ausmacht. *)

Berücksichtigt man weiter, daß die reinen Betriebskosten der Binnenschiffahrt bei der Beförderung einer Tonne Ladungsgut auch wegen des geringen Reibungswiderstandes beim Wassertransport wesentlich geringer sind als bei den anderen Verkehrsträgern und daß das Verhältnis von toter Last zur Nutzlast bei der Binnenschiffahrt ebenfalls günstiger ist als bei der Beförderung auf Schienen und Landstraßen, dann ist ohne weiteres erkennbar, daß die große Transportleistung der Binnenschiffahrt mit einem denkbar geringen volkswirtschaftlichen Aufwand vollbracht wird.

Günstigere Verhältnisse von Produktionsleistung je Kopf des Beschäftigten, je PS-Maschinenkraft und je eingesetzter Einheit Kapital lassen sich bei keinem anderen Verkehrsträger finden. In Ausnahmefällen, also unter Berücksichtigung einer sehr starken Kostendegression, mögen zwar auch Eisenbahn und Kraftwagen solche günstigen Werte erreichen, im Durchschnitt hingegen nicht. Dagegen spricht die physikalische Natur des Wassertransports.

Zur Abrundung dieser Erkenntnisse wäre es interessant, den Beitrag der Binnenschiffahrt zum Sozialprodukt zu untersuchen. Leider veröffentlicht das Statistische Bundesamt neuerdings nur Zahlen über die Wertschöpfung des Gesamtverkehrs und nicht aufgeschlüsselt nach den einzelnen Verkehrsträgern, wie das bis 1953 in etwa der Fall war. Zwar wurde auch bis dahin die Binnenschiffahrt zusammen mit Seeschiffahrt und Hafenwesen ausgewiesen, doch ließ sich an der relativen Entwicklung von Eisenbahn, Schiffahrt einschließlich Hafenwesen und Straßenverkehr leicht erkennen, wie sehr der Straßenverkehr zu Lasten der Schiffahrt wie Eisenbahn auch unter solchen Aspekten gegenüber der Vergangenheit an relativer Bedeutung gewonnen hat. Insgesamt freilich ist der Anteil des

^{*)} Anmerkung: Bei diesem Vergleich sind naturgemäß auch die Leistungen der deutschen Flagge im Ausland zu berücksichtigen, da das erwähnte Personal auch dafür eingesetzt wird.

Verkehrs am gesamten Brutto-Sozialprodukt des Bundesgebietes heute offenbar geringer als in der Vorkriegszeit. Hierzu dürfte aber gerade die Billigkeit der Wasserbeförderung nicht unwesentlich beigetragen haben.

d) im europäischen Verkehrswesen

Die Verkehrssysteme der europäischen Staaten sind Bestandteile ihrer nationalen Volkswirtschaften. Unbeschadet der dem Verkehr eigenen Aufgabe, die Verbindungen von Land zu Land zu fördern, stellen Eisenbahn, Straßenverkehr und Binnenschiffahrt in ihrer heutigen Form jeweils das Ergebnis der ökonomischen Entwicklung des Heimatstaates dar.

Die großen deutschen Flüsse sind jedoch zugleich Wasserstraßen von internationaler Bedeutung. Mit Ausnahme der Donau von Südosten nach Nordwesten verlaufend, verbinden sie einen industriell und landwirtschaftlich hochentwickelten kontinentalen Raum mit einer reich gegliederten Küste, die, klimatisch bevorzugt, den freien Zugang zu den Weltmeeren jederzeit gestattet. Dieser natürlichen Gliederung des nordwesteuropäischen Raums ist die politische Grenzziehung nicht gefolgt. Die deutschen Wasserstraßen berühren fast ausnahmslos auch ausländisches Gebiet. Wie eng die durch die geographischen Besonderheiten geschaffene Verflechtung sich darstellt, zeigt das Beispiel des Rheins. Von der schiffbaren Strecke mit 1762 km Uferlänge entfallen 1215 Uferlänge auf deutsches Gebiet. An seinem Verkehr auf der deutschen Strecke ist neben der heimischen Flagge das Ausland tonnenmäßig mit vier, tonnenkilometrisch mit fünf Zehnteln beteiligt, während umgekehrt, wenn auch nicht im entfernt gleichen Ausmaß, die deutsche Schiffahrt ebenfalls über die Grenzen hinausstößt.

Diese Situation, wie sie sich mutatis mutandis auch für Elbe und Donau aus dem Widerstreit zwischen natürlich-geographischen Gegebenheiten und gewordenen politischen Grenzziehungen ergibt, zieht das Vorhandensein einer ganzen Reihe von Problemen nach sich, die in ihrer konkreten Gestaltung je nach der unterschiedlichen Entwicklung der Wirtschaftsräume, in die die Stromgebiete einbezogen sind, verschiedene Nuancen aufweisen. Der Zusammenbruch der deutschen Wirtschaft bei Beendigung des zweiten Weltkriegs unterbrach nicht nur die in 25jähriger Arbeit hergestellten Beziehungen innerhalb der Rheinschifffahrt, sondern zerstörte auch die gesamten in den letzten hundert Jahren von privater Seite geschaffenen Grundlagen eines internationalen Zusammenspiels der Unternehmungen zwischen Rotterdam und Basel. Dazu kam die Enteignung privater Vermögenswerte der deutschen Reedereien und Partikulierbetriebe; kam auch der langjährige Ausschluß der deutschen Unternehmen von für ihre Existenz weitgehend entscheidenden Auslandsverkehren auf den internationalen Strömen, der auf der Elbe heute noch besteht. Schließlich machte sich der erstmalig erhobene Anspruch ausländischer Schiffahrtsunternehmen geltend, zu eigenen Bedingungen Frachtführer der deutschen Wirtschaft werden zu wollen. Dieser Anspruch stieß auf eine ganze Reihe von Schwierigkeiten. Er gefährdete

- 1. die Bemühungen zur Wiederherstellung der durch die überdimensionale Entwicklung des Straßenverkehrs gestörten Gleichgewichtslage im deutschen Verkehrswesen,
- 2. die aus verkehrswirtschaftlichen Erwägungen angestrebte gleichmäßige Beschäftigung des vorhandenen Schiffsraumes zur Verteilung des Risikos, das mit der Vorhaltung von Transportraum für die Verkehrsspitzen verbunden ist,

- 3. den aus sozialen und ökonomischen Gründen (vgl. Abschn. 5b) der deutschen Partikulierschiffahrt gewährten Schutz durch die angemessene Beteiligung an bestimmten Abschlüssen der Reedereien,
- 4. die Fürsorge für die durch die Teilung Deutschlands aus ihrem ursprünglichen Tätigkeitsbereich verdrängte ostdeutsche Binnenschiffahrt,
- 5. die ebenfalls staatspolitische Unterstützung der durch die Teilung Europas von ihrem früheren Hinterland abgeschnittenen deutschen Seehäfen.

Während die beiden letzten Fragen nur vorübergehende und unmittelbar innerdeutsche Bedeutung haben, handelt es sich bei den erstgenannten drei Punkten um Probleme, mit denen die anderen europäischen Länder sich auch in ihrem Bereich auseinanderzusetzen haben.

Die Aufgabe der deutschen Binnenschiffahrt stellt sich in diesem Rahmen demnach als eine doppelte dar:

Einmal müssen die Beziehungen zur ausländischen Schiffahrt, also der Wettbewerb innerhalb der Schiffahrt sowohl im deutschen als auch im internationalen Verkehr dauerhaft neu gestaltet werden;

zweitens bedarf die Einordnung der Verkehrsleistung der Binnenschiffahrt zusammen mit der der übrigen deutschen Verkehrsmittel in die Wirtschaft des zu bildenden Gemeinsamen Marktes einer Lösung.

Die zweite Aufgabe stellt sich zunächst nur für die Binnenschiffahrt auf dem Rhein und auf den mit dem Rhein verbundenen westdeutschen Wasserstraßen. Für Elbe und Donau dagegen haben die zuerst genannten Probleme noch heute ein ganz anderes Gewicht.

Die vollkommene Integrierung des europäischen Binnenschifffahrtswesens kann aber nicht allein von rechtlichen und wirtschaftlichen Überlegungen ausgehen, es müssen auch die natürlichen Voraussetzungen für den angestrebten freien Verkehr geschaffen werden.

Daher hat sich der neue Antrieb europäischer Bestrebungen auf dem Verkehrssektor auf folgende Fragen zu konzentrieren:

- 1. Ausarbeitung einer gemeinsamen Verkehrspolitik,
- 2. Harmonisierung der Transporttarife und -bedingungen,
- 3. Förderung und Finanzierung der im europäischen Interesse liegenden Investitionen.

Dazu kann abschließend festgestellt werden, daß sich die deutsche Binnenschifffahrt seit Jahren bereits auf der europäischen Ebene der Auseinandersetzung über alle drei Fragen befindet.

6. Unternehmungs- und Betriebsformen

Aufbau und unternehmerische Gestalt der deutschen Binnenschiffahrt sind durch eine außerordentliche Vielseitigkeit gekennzeichnet. Die Binnenschiffahrt wird in der westdeutschen Bundesrepublik in klein- und großbetrieblicher Form ausgeübt. Die kleinste Einheit stellt der Privat- oder Partikulierschiffer dar, der überwiegend ein einziges, manchmal auch mehrere Fahrzeuge besitzt und damit Schiffahrt treibt. Für diese Form des Betriebes ist typisch, daß der Schiffseigentümer in den meisten Fällen auch sein eigener Schiffsführer ist. Das Schiffspersonal rekrutiert sich meistens aus Familienangehörigen. Die großbetriebliche Form repräsentiert sich in der Reederei. Sie verfügt über mehr oder minder

große Flotten. Im Gegensatz zum Privatschiffer sind bei ihr Kahnraum und Schleppkraft in einer Hand. Der Umfang des Betriebes erfordert für die Personalund Materialbewirtschaftung, die ständige Betriebsbereitschaft und Unterhaltung der Flotte, für die Disposition und Überwachung der Betriebsmittel einen besonderen Verwaltungsapparat.

Der wesentliche Unterschied zwischen der klein- und großbetrieblichen Unternehmensform in der Binnenschiffahrt liegt jedoch in der Art und Weise der geschäftlichen Abwicklung. Während der Privatschiffer im allgemeinen sein Fahrzeug für eine Reise oder aber auf Zeit in der Form von Beschäftigungsverträgen einem Transportunternehmer zur Verfügung stellt, übernimmt die Reederei Transporte im eigenen Namen und für eigene Rechnung mit allen Risiken, die mit der Transportübernahme verbunden sind, soweit sie nicht durch besondere Konnossementsbedingungen beschränkt sind. Das Wesen der Reederei liegt daher in der unternehmerischen Transporttätigkeit begründet.

Zwischen Großreederei und Privatschiffer gibt es eine Vielzahl von Unternehmensformen sowohl der Größenordnung wie auch der Betriebsweise nach. Kleinere und mittlere Reedereien führen örtlich und sachlich beschränkte Spezialdienste aus. Privatschiffer haben sich in der Form von Befrachtungs- und Transportgenossenschaften organisiert. Schiffahrtsspediteure betreiben mit fremdem Raum Transportgeschäfte für eigene Rechnung. Soweit Privatschiffer nicht eine ihre Existenz sichernde Beschäftigung nachweisen können, müssen sie sich auf Grund gesetzlicher Bestimmungen in den für einzelne Stromgebiete als Körperschaften öffentlichen Rechts errichteten Schifferbetriebsverbänden (siehe Abschn. 5 a) organisieren.

Infolge der besonderen Kostenstruktur und des Zwangs zur Bereitstellung einer ausreichenden Transportraumreserve spielt bei den Binnenschiffahrtsunternehmungen die Sicherung der Beschäftigung eine überragende Rolle. Das starke Vorherrschen der fixen Kosten, deren Anteil mit 60—70 % zu bewerten ist, macht den Schiffahrtsbetrieb empfindlich gegen Beschäftigungsschwankungen. Die Abhängigkeit von saisonalen Schwankungen in der Andienung des Transportgutes, verbunden mit Einflüssen der Witterung und des Wasserstandes, erfordern eine Vorhaltung von Transportraum und Schleppkraft, um auch bei Spitzenverkehren einen ausreichenden Kundendienst zu gewährleisten. Aus diesen Gründen drängt das Schiffahrtsunternehmen nach ausreichender und ausgeglichener Beschäftigung. Wie die geschichtliche Entwicklung der deutschen Binnenschiffahrt zeigt, sind im Interesse der Sicherung der Beschäftigung verschiedenartige Wege eingeschlagen worden. Entweder haben sich Großverlader mit der Schiffahrt kapitalmäßig verbunden bzw. umgekehrt Schiffahrtsunternehmungen Anschluß an Großverlader gesucht, oder aber Schiffahrtsbetriebe haben sich andere Zweige des Verkehrs wie Umschlag, Lagerung, Spedition und sogar Landverkehrsbetriebe angegliedert. Auch Mischformen in beider Hinsicht sind vorhanden. In der Verbindung zwischen Großverladern und Binnenschiffahrt überwiegen die Verflechtungen mit Kohle und Eisen.

Zum Verständnis der Tonnage- und Schleppkraftverhältnisse seien einige Zahlen angeführt. Von der Gesamttonnage des Bundesgebietes, die nach dem Stand vom 1. Januar 1955 mit 2 650 000 t Kahnraum, 1 140 000 t Motorschiffsraum und 300 000 PS Schleppkraft ausgewiesen wird, entfallen bei einer Umrechnung im Verhältnis 1:1,5:3,5 auf die Partikulierflotte 36,6% und auf die Reedereiflotte 56,3%. Der Rest verteilt sich auf Werks- und Behördenflotten. In den einzelnen Stromgebieten weichen die Anteile von dieser Durchschnittszahl ab. Wäh-

rend zum Beispiel im Elbe- und Wesergebiet Partikuliere und Reeder etwa den gleichen Flottenanteil haben, überwiegen im Gebiete des Rheins und der westdeutschen Kanäle bei weitem die Reedertonnagen. Interessant sind auch die Besitzverhältnisse innerhalb der Reedereischiffahrt. Auf die Verflechtungen zwischen der Wirtschaft und der Binnenschiffahrt, vornehmlich bei Kohle und Eisen, ist bereits hingewiesen worden. Nach dem zweiten Weltkrieg ist infolge besonderer Entwicklungen eine steigende Einflußnahme der öffentlichen Hand festzustellen, die auch vor dem Kriege, teils mittelbar, teils unmittelbar, an Schiffahrtsunternehmungen beteiligt war. Bezogen auf die Tonnagezahlen, stehen mehr als 28% der Reedereien unter dem Einfluß des Bundes, während bei 43,7% Verflechtungen mit der Wirtschaft festzustellen sind. Nur 28,2% der Tonnage sind in Händen von freien, nicht gebundenen Reedereien. Bezieht man den Einfluß des Bundes auf die gesamte Tonnage der Bundesrepublik, so ergibt sich immerhin noch ein Anteil von 18%.

Die gleichen Gründe, die im Zusamenhang mit der Beschäftigungssicherung angeführt wurden, sind auch ausschlaggebend gewesen für die Preisbildung in der Binnenschiffahrt. Vor dem Kriege wurde der weitaus größte Teil der Transporte durch langfristige, meist über die Dauer eines Jahres laufende Verträge mit der verladenden Wirtschaft abgeschlossen. Die Frachtsätze wurden ausgehandelt, wobei meistens die durchschnittlichen Notierungen an den Schifferbörsen herangezogen wurden. Das freie Geschäft unterlag — wie auf anderen Märkten — dem Verhältnis von Angebot und Nachfrage, das sich in den Fracht- und Schlepplohnnotierungen der Schifferbörse ausdrückte. Die freie Preisbildung hat wegen des starken Vorherrschens der fixen Kosten und der großen Transportraumreserve zu einem ruinösen Wettbewerb geführt, der schon in den dreißiger Jahren zu einer außergewöhnlichen Notlage in der Binnenschiffahrt führte. Zunächst wurde versucht, diese Notlage durch eine Reihe von Notstandsgesetzen zu beheben. Hierbei spielt auch die Frachtenfestsetzung eine entscheidende Rolle. In dem Gesetz über den gewerblichen Binnenschiffsverkehr vom 1. 10. 1953 ist die Form der Frachtenbildung durch Schaffung von Frachtenausschüssen beibehalten worden. Über sie wurde bereits ebenfalls unter Abschn. 5a das Erforderliche gesagt.

7. Organisationen

Erst um die Mitte des vorigen Jahrhunderts, als ein westfälischer Großindustrieller und angesehener Politiker, Friedrich Harkort, mit einem Aufruf zur Gründung eines Vereins zur Hebung der Fluß- und Kanalschiffahrt an die Offentlichkeit trat, schlug die Geburtsstunde einer zentralen Binnenschiffahrtsorganisation.

Am 25. Juni 1869 fand die von Friedrich Harkort vorbereitete Vereinsgründung in Berlin statt. Der Verein zur Hebung der deutschen Fluß- und Kanalschiffahrt, der spätere Zentral-Verein für deutsche Binnenschiffahrt e. V. (ZV), entfaltete sofort eine rege Tätigkeit zur Gewinnung der öffentlichen Meinung für den Ausbau der Wasserstraßen und den Neubau von Kanälen. Er war von vornherein nicht als Interessenvertretung der Binnenschiffahrt gedacht, schloß vielmehr — wie er es noch heute tut — alle Kreise zusammen, die am Gedeihen einer leistungsfähigen Binnenschiffahrt interessiert sind, Verlader und Verfrachter, Wissenschaft und öffentliche Verwaltung. Unter solchem Zeichen standen und stehen auch die von ihm veranstalteten "Deutschen Binnenschifffahrtstage" als große und weithin beachtete öffentliche Kundgebungen.

Weitere Vereinsgründungen mit ähnlicher Zielsetzung, aber von engerem räumlichem Bereich folgten: so, um nur einige zu nennen, 1877 die Vereinigung der rheinischen Schiffahrtsinteressenten, der spätere Verein zur Wahrung der Rheinschiffahrtsinteressen e.V. in Duisburg, 1888 der Hamburger Verein für Flußschiffahrt e. V., 1896 der Schiffahrtsverein in Breslau und 1907 der Schiffahrtsverein für die westdeutschen Kanäle und die Weser e. V. in Dortmund. In der Arbeitsgemeinschaft der Elbeschiffahrt in Magdeburg wurden 1916 die Schiffahrtsvereine der Elbe zusammengefaßt und 1917 der märkische Schiffahrtsverband, der spätere Verband zur Wahrung der märkischen Schiffahrtsinteressen e.V. in Berlin gegründet. Im gleichen Jahre erfolgte auch die Errichtung der in anderem Zusammenhang schon mehrfach (besonders unter 5a) erwähnten Schifferbetriebsverbände (SBV). die durch Bundesratsbeschluß 1917 in Zwangsverbände umgewandelt wurden. Nach wechselvollen Schicksalen fanden sie nach der großen Wirtschaftskrise durch das Gesetz zur Bekämpfung der Notlage der Binnenschiffahrt vom 16. Juni 1933 für den Rhein, die Elbe (Ober- und Unterelbe), die märkischen Wasserstraßen, die Oder und die ostpreußischen Wasserstraßen ihre endgültige Form. Der ZV arbeitete — wie auch heute — vorwiegend in Fachausschüssen. So wurde 1917 beim ZV der Fachausschuß Binnenschiffahrt errichtet, der damals vor allem der militärischen Organisation, dem Chef des Feldeisenbahnwesens, bei der Durchführung der Heerestransporte beratend zur Seite stand. Dieser Ausschuß, der Vorläufer der heutigen Gewerbevertretung der Binnenschiffahrt, erhielt eine eigene Geschäftsführung und wurde im Jahre 1921, als auf Grund des Versailler Vertrages größere Aufgaben wie Schiffsabgabe u. a. an den Ausschuß gestellt wurden, als "Reichsausschuß der deutschen Binnenschiffahrt" verselbständigt (RA).

Das Jahr 1933 brachte für die Organisation der Binnenschiffahrt eine grundlegende Anderung Der RAG (Reichsarbeitgeber-Verband für Binnenschiffahrt e.V. in Berlin) wurde aufgelöst und seine Aufgaben übernahm die Deutsche Arbeitsfront. Durch Gesetz vom 25. September 1935 fand ein Zusammenschluß der gewerblichen Schiffahrt nach Auflösung des RA in der Reichsverkehrsgruppe Binnenschiffahrt (RVB) statt.

Nach dem Zusammenbruch 1945 wurde die RVB von den Besatzungsmächten verboten. Der ZV blieb als einzige Organisation im Bereich der Binnenschiffahrt auch während des Dritten Reiches bestehen. Eine erste zentrale Interessenvertretung des Binnenschiffahrtsgewerbes entstand 1946 im "Arbeitsausschuß" der westlichen Stromgebietsverbände, der sich dann 1948 als "Zentralausschuß der deutschen Binnenschiffahrt" (ZA) konstituierte. Der ZA ist heute die anerkannte gewerbliche Spitzenvertretung der gesamten Binnenschiffahrt; er arbeitet mit dem ZV in einer Bürogemeinschaft in Beuel/Rhein.

Neben diesen nationalen Organisationen der deutschen Binnenschiffahrt bestehen auch noch internationale Zusammenschlüsse, denen sie angehört, so die "Internationale Binnenschiffahrts-Union" (IBU), an der die Binnenschiffahrtsverbände der Schweiz, Frankreich, Belgiens, Hollands und der Bundesrepublik beteiligt sind, und die "Arbeitsgemeinschaft der Rheinschiffahrt", die Schiffahrtsunternehmungen aus den Rheinuferstaaten und Belgien vereinigt. Außerdem werden in dem "Internationalen Ständigen Verband der (jedes vierte Jahr stattfindenden) Schiffahrtskongresse", Brüssel, dem fast alle Schiffahrt treibenden Länder angeschlossen sind, Fragen wie der See- so auch der Binnenschiffahrt behandelt.

Auf dem Gebiet der Arbeitnehmer-Vertretung der Binenschiffahrt schließlich sind die Gewerkschaften schon seit langem tätig, und zwar waren es zunächst für die Schiffahrtsführer und das Deckpersonal der "Deutsche Verkehrsbund", Berlin, und für die Maschinisten und Heizer der "Zentralverband der Maschinisten und Heizer", Berlin. Nach der Zerschlagung der Gewerkschaften 1933 sollten die Interessen der Arbeitnehmer der Binnenschiffahrt durch die Deutsche Arbeitsfront wahrgenommen werden. An ihre Stelle trat nach 1945 die Gewerkschaft "Offentliche Dienste, Transport und Verkehr" in Stuttgart, die in allen Teilen der Bundesrepublik Bezirks-, Kreis- und Ortsverwaltungen unterhält.

8. Der Mensch in der Binnenschiffahrt

In der Binnenschiffahrt der Bundesrepublik, ihren Häfen und Umschlagsbetrieben, ihrer Verwaltung und ihrem Ausbesserungsdienst wurden, wie schon oben unter 5c erwähnt, in Schiffahrt, Häfen und Verwaltung nach dem Stand von 1956 insgesamt etwa 60 000 Menschen beschäftigt. Hiervon entfallen auf das eigentliche Fahrpersonal 29 000 Personen. Das stationäre Personal, vornehmlich in den Häfen und Umschlagsbetrieben, belief sich auf 17 000 Personen. Mit der Verwaltung und Unterhaltung der Wasserstraßen, soweit sie dem Verkehr dienen, waren etwa 8000 Beamte, Arbeiter und Angestellte betraut. Außerdem muß der Binnenschiffahrt noch derjenige Teil des Werftpersonals zugerechnet werden, der bei den Binnenschiffswerften für Reparaturarbeiten eingesetzt ist. Nach Ermittlungen bei den Werften kann hierfür eine Personenzahl von etwa 6000 angenommen werden.

Woher kommt nun der Nachwuchs der im Gewerbe unmittelbar Tätigen? Darüber läßt sich Eindeutiges schwer sagen. Vielfach mag es ein Hauch von Abenteuerlust und Freiheitsdrang sein, der den jungen Menschen bestimmt, den Beruf des Binnenschiffers, einen anerkannten Lehrberuf, zu ergreifen. Die Praxis zeigt sodann, daß die natürlichen Gegebenheiten der Wasserstraßen und die Intensität des Verkehrs eine gründliche Ausbildung verlangen. Drei Schiffsjungenjahre und zwei bis drei Kurse auf einer der Schifferberufsschulen (Hamburg, Homberg, Haren, Petershagen und Würzburg) sind erforderlich bis zum Jungmatrosen. Für das Schiffsführer- und Kapitänspatent werden mindestens 6 bzw. 7 Dienstjahre verlangt, in denen der Anwärter alle wichtigen Wasserstraßen befahren haben muß.

Die Aufstiegsmöglichkeiten in der Binnenschiffahrt sind gegenüber anderen Berufszweigen außergewöhnlich günstig. Da die Mannschaft eines Kahnes oder Motorschiffes auf Grund der Bemannungsordnung im Durchschnitt aus 3 bis 4 Personen besteht, kann praktisch jeder zweite bzw. dritte Matrose Schiffsführer und Kapitän werden. Die Arbeits- und Lohnbedingungen werden — wie in anderen Berufen — durch Tarifverträge, die zwischen den Tarifparteien für längere und kürzere Frist abgeschlossen werden, geregelt. Wohnung und Inventar stellt in vollem Umfange der Schiffseigner.

Den Vorteilen in bezug auf das Fortkommen und die Unterbringung stehen allerdings für die in der Binnenschiffahrt Beschäftigten auch Nachteile gegenüber. Die Bindung der Menschen an das Fahrzeug bedeutet in vielfacher Hinsicht eine Beschränkung in der Freizeit und ihrer Gestaltung. Sie macht außerdem eine vorübergehende Trennung von Eltern und Kindern erforderlich, wenn diese ihrer Schulpflicht genügen müssen. Schifferkinderheime, die vom Gewerbe weitgehend unterstützt werden, sollen hierfür einen gewissen Ausgleich schaffen, wie überhaupt auf sozialem Gebiete besondere Leistungen erforderlich sind.

Trotz alledem bereitet das Nachwuchsproblem in der Binnenschiffahrt große Sorgen. Das Gewerbe muß alle Anstrengungen machen, um in den nächsten Jahren eine ausreichende Bemannung für die Fahrzeuge und damit für die Bewältigung der Verkehrsaufgaben sicherzustellen.

9. Binnenschiffahrt und andere Verkehrsträger

Die Verkehrsmittel sind in hohem Maße aufeinander angewiesen. Infolge ihres unterschiedlichen Leistungsangebotes, das räumliche wie qualitative Differenzierungen aufweist, verbürgt erst die Ergänzung und Zusammenarbeit zwischen ihnen den optimalen wirtschaftlichen Effekt des gesamten Verkehrsgewerbes.

a) Eisenbahn

Die Leistungen von Eisenbahn und Binnenschiffahrt stehen in einer indifferenten, komplementären oder substitutiven Beziehung zueinander.

Indifferente Beziehungen liegen bei der Durchführung von Spezialtransporten vor. Sie fallen für den einzelnen, nicht aber für die gesamte Verkehrswirtschaft ins Gewicht.

Die komplementären Beziehungen sind auf der einen Seite abhängig von den geographischen Bedingungen der beiden Verkehrsnetze, andererseits von deren gutem Willen zur Zusammenarbeit. Infolge der sehr maßvollen Wasserstraßenbaupolitik in Deutschland erlitt die Eisenbahn durch die Binnenschiffahrt von jeher aufs Ganze gesehen keine Schädigungen, sie war vielmehr Mitnutznießerin des vom Wasserstraßenbau und -ausbau angeregten Mehrverkehrs. Diese komplementären Beziehungen waren vor allem bis 1920, in der Zeit der Länderbahnen, gegeben, da diese schon allein aus eigenwirtschaftlichen Motiven den Zu- und Ablaufverkehr der Wasserstraße förderten. Sie sahen in ihr einen verlängerten Arm ihrer Verkehrspolitik und einen Gehilfen im gegenseitigen Konkurrenzkampf.

Der Zussammenschluß der Länderbahnen zur Deutschen Reichsbahn beendete diese Phase und führte anstelle der bisher herrschenden ergänzenden Beziehung zu einem weitgehend substitutiven Verhältnis zwischen Schiene und Wasserstraße. Überall, wo Großschiffahrtswege sind, gibt es auch Eisenbahnkonkurrenz; der Eisenbahn selbst freilich verbleiben große Gebiete eines unbestrittenen Verkehrs.

Entscheidend für die Möglichkeiten des Wettbewerbs und der Zusammenarbeit zwischen beiden Verkehrsträgern sind die tiefgreifenden Unterschiede in ihrer Leistungserstellung, ihrer Struktur und ihrer Preisbildung. Es sind hier zunächst technische und sachliche Differenzierungen der Leistungen zu berücksichtigen, so die Gegensätze: Streckenverkehr — Flächenverkehr, verschiedener Schnelligkeitsgrad, Massengut — Stückgut, starres Fahrplanschema — freie Disposition, behördliche Lenkung — Privatinitiative und anderes mehr.

Aber auch Unterschiede in der ökonomischen Leistung wirken auf das Verhältnis Schiene—Wasserstraße ein. Aus technischen und natürlichen Gründen sind die Kosten je tkm in der Binnenschiffahrt im allgemeinen niedriger als bei der Eisenbahn. Andererseits ist die Wasserstraße in ihrer Leistungsfähigkeit den Naturgegebenheiten stärker ausgeliefert, und die gemeinhin längere Beförderungsdauer führt zu Zinsbelastungen, die ebenfalls irgendwie in der Kostenrechnung aufzufangen sind. Es liegt auf der Hand, daß so oder so den unterschiedlichen Kosten bei unterschiedlichen ökonomischen Leistungen unterschiedliche Preise gegenüberstehen müssen.

Weiter ist die organisatorische Struktur der beiden Verkehrsträger ganz verschieden: dem einzigen Staatsunternehmen, das einen letzten Rückhalt in den finanziellen Verpflichtungen des Bundes hat, steht eine Vielzahl von Einzelunternehmungen gegenüber, die vielfach ausschließlich unter dem Zwang der vollen Kostendeckung und der Notwendigkeit einer Rentabilität stehen; und auch daraus resultieren grundlegende Unterschiede in der Kostenrechnung, im Gewicht der Transportreserve und nicht zuletzt in dem grundsätzlich anderen Verhältnis zum Verkehrsweg, dessen Schaffung und Gestaltung bei der Eisenbahn ein organisches Stück ihrer gesamten Betriebsgebarung darstellt, bei der Wasserstraße aber von anderen Stellen als den Verkehrtreibenden, gegebenenfalls sogar gegen deren Wunsch und Interesse bestimmt wird.

Schließlich hat die Eisenbahn aus ihrer Stellung heraus, die heute noch als zum mindesten Teilmonopol zu bezeichnen ist, eine weitgehende Möglichkeit zu Preisdifferenzierungen, und sie sucht den internen Kostenausgleich über die Globalkostendeckung. Die Binnenschiffahrt dagegen ist mangels ökonomischer Voraussetzungen für eine Monopolstellung auf eine marktmäßige Frachtenbildung angewiesen, soweit sie nicht — vgl. oben 5a — im Verfahren der Frachtenausschüsse mit tendenziell nach Selbstkosten orientierten Festfrachten operieren muß. Sie ist dabei mit ihrem gebrochenen Verkehr weitestgehend von der frachtlichen Einstellung der Eisenbahn im Parallel- und im Zu- bzw. Ablaufverkehr abhängig geworden, da dié Eisenbahntarife den Wasserfrachten eine obere Grenze setzen. Die Auswirkungen bestimmter Ausnahmetarife der Eisenbahn auf dem Wasserstraßenverkehr zeigen dies deutlich, wie das System immer expansiver ausgestalteter Ausnahmetarife ja überhaupt einen solchen Druck auf die Frachten der Binnenschiffahrt auslöst, daß die daraus erwachsenen Belastungen stärker wiegen als die Vorteile, die ihr etwa aus den "gemeinwirtschaftlich" ausgerichteten Regeltarifen der Bundesbahn zukommen können.

Wenn trotz alledem, wie an anderer Stelle ausreichend dargetan, die deutsche Binnenschiffahrt alles in allem genommen ihr Terrain hat behaupten können, so bezeugt das die innere Kraft des von privatwirtschaftlicher Initiative erfüllten Verkehrsgewerbes, wobei freilich die Frage nach ausreichender Deckung einer selbst durch sinnvollste Rationalisierung nicht voll aufzufangenden Kostensteigerung vielfach offen bleibt, ganz besonders für etwaige Perioden weichender Konjunktur.

Auf dieser Grundlage ist ganz allgemein seit 1920 eine wesentliche Verstärkung des Wettbewerbs zwischen Eisenbahn und Binnenschiffahrt festzustellen, doch beschränkte sich dieser bis zum Auftreten des Kraftwagens auf einige wenige Verkehrsbeziehungen. Die neue Situation aber, in der sich die Eisenbahn nach dem zweiten Weltkrieg befindet, führte zu Wettbewerbsmaßnahmen, die nachteilige Wirkungen auf die Binnenschiffahrt zeitigten.

b) Kraftwagen

Auch das Verhältnis zwischen Binnenschiffahrt und Kraftwagen hat sich mit der Zeit vielfach unter das Zeichen des Wettbewerbs gestellt, seitdem der LKW sich in zunehmendem Maße über den ihm in erster Linie wesenseigenen Flächenverkehr hinaus dem Langstrecken- und Massenverkehr zugewandt hat. Als gewichtiger und zukunftsträchtiger aber muß auch hier die Frage nach Zusammenarbeit angesehen werden. Noch ist sie weitgehend ungelöst, und doch liegen unzweifelhaft in der Kombination Binnenschiffahrt — Binnenhäfen — Lastkraftwagen große Möglichkeiten für den Zubringer- und Verteilerverkehr, besonders da, wo das Binnenschiff bis auf nahe Entfernung an

Konsum- und Produktionszentren heranfahren kann. Auf Grund der differenzierenden Sammel- und Verteilerfähigkeit des LKW sollte sich eine gegenseitige Befruchtung mehr als bisher herbeiführen lassen; zumal da das moderne Binnenmotorschiff hinsichtlich seiner Beweglichkeit und Schnelligkeit den Anforderungen der Güter, die den Straßenverkehr wegen seiner individuellen Vorteile bevorzugen, wesentlich besser gerecht zu werden vermag, als dies früher möglich gewesen ist.

Grundlinien solcher Zusammenarbeit zeichneten sich schon in den dreißiger Jahren ab. So betrug der Anteil des Lastkraftwagens an der Verkehrsbedienung der Häfen Berlin, Breslau, Dresden, Magdeburg, Dortmund und Duisburg zusammen in der ersten Hälfte des Jahres 1939 bereits 12% (1,8 Mio t). Im Gefolge der strukturellen Wandlungen des deutschen Binnenverkehrs nach 1945 und der mit ihnen verbundenen tiefgreifenden Anderungen in der Zusammensetzung der Binnenverkehrsleistungen hat sich der Straßenverkehr in der Verkehrsbedienung der Binnenhäfen eine bemerkenswerte Position gesichert. Beispielsweise gingen 1955 allein in den Häfen Duisburg-Ruhrort 1,3 Mio t, in Neuß 0,3 Mio t, in Heilbronn 1,6 Mio t, in Würzburg 0,2 Mio t vom Gesamtumschlag über den LKW. In der Hauptsache betrifft dieser Umschlag Baustoffe aller Art, dann Treibstoffe, Getreide und Mehl, Schrott, Eisen und Eisenwaren, NE-Metalle, Zellulose, Rohzucker, Schnittholz und selbst Kohle. Diese wenigen Angaben zeigen schon, wie sehr der Straßenverkehr heute eine kontinuierliche Verbindung mit der Binnenschiffahrt eingegangen ist.

Zu einer Intensivierung des Zusammenwirkens dieser beiden Verkehrsträger müssen allerdings verschiedene Voraussetzungen noch geschaffen bzw. verbessert werden. Es handelt sich dabei um Voraussetzungen organisatorischer, rechtlicher und tarifarischer, finanzieller und technischer Art, wobei letzteren, d. h. der zweckentsprechenden Ausgestaltung der Kai- und Umschlagsanlagen in den Binnenhäfen, besondere Bedeutung zukommt.

c) Seeschiffahrt

Die Seehäfen sind die Knotenpunkte, in denen das Zusammenwirken zwischen Binnen- und Seeschiffahrt am stärksten in Erscheinung tritt. Es handelt sich dabei um eine Verbindung zwischen zwei Verkehrsträgern, die sich im Unterschied zu den zuvor besprochenen ausschließlich als organische Ergänzung manifestiert.

Nicht zufällig sind alle großen Industriestaaten der Welt auch von jeher große Seeschiffahrtsländer gewesen. Auch die deutsche import- und exportorientierte Wirtschaft hat in den Seehäfen der Nordsee den notwendigen Anschluß an das weltweite Verkehrssystem gefunden. Alle diese Seehäfen aber verdanken der kombinierten Lage an der See und der Binnenwasserstraße ihre Entstehung und Entwicklung. Umgekehrt hat die Binnenschiffahrt vom Meer her, von der seewärtigen Ein- und Ausfuhr gewaltige Impulse, entscheidende Grundlagen ihres Lebens und die für die Volkswirtschaft so wichtige Aufgabe erhalten, in geschlossenem oder gebrochenem Verkehr, unmittelbar oder mittelbar auch weit abgelegenes Hinterland an den wirtschaftlichen Vorteilen der Seeverbundenheit teilnehmen zu lassen, und dies um so stärker, je mehr zweckmäßige Hafenanlagen die Billigkeit und Schnelligkeit des Umschlags von Schiff zu Schiff erhöhten, und andererseits, je weitverzweigter das Binnenwasserstraßennetz und je weiter flußaufwärts befahrbar die einzelne Binnenwasserstraße, je besser schließlich der Zu- und Ablauf zu und von den Binnenhäfen geregelt wurde.

Aber das Gesicht dieser Schicksalsverbundenheit hat sich, abgesehen von den Folgen politischer Abschnürung vom Hinterland, gewandelt, seitdem Eisenbahn und Kraftwagen in verstärktem Maße in den Wettbewerb mit der Binnenschiffahrt getreten sind. Sowohl die wesenseigentümlichen Fazilitäten dieser beiden Verkehrsmittel wie auch die tarifpolitischen Maßnahmen des Schienenverkehrs haben hierzu beigetragen. Diese "Dreispurigkeit" des der Seeschiffahrt angeschlossenen Binnenverkehrs stellt sich in ihrer Entwicklung folgendermaßen dar (jeweils ohne LKW-Werkverkehr):

Verkehr vom Hinterland zu den Seehafenplätzen *):

1936: Binnenschiffahrt 39 $^{0}/_{0}$, Eisenbahn 60 $^{0}/_{0}$, LKW 1 $^{0}/_{0}$

1953: Binnenschiffahrt 31 %, Eisenbahn 60 %, LKW 9 %

Hinterlandverkehr insgesamt (von und zu den Seehafenplätzen):

1936: Binnenschiffahrt 45 $^{0}/_{0}$, Eisenbahn 54 $^{0}/_{0}$, LKW 1 $^{0}/_{0}$

1953: Binnenschiffahrt 35 %, Eisenbahn 51 %. LKW 13 %

Schaltet man freilich Hamburg wegen seiner Sondersituation aus, so zeigt sich für die dargestellte Zeit ein leichter Anstieg des die Zubringer- und Verteilerfunktion in diesen Seehäfen ausübenden Binnenschiffsverkehrs. Die Binnenschifffahrt hat danach an der deutschen Ausfuhr über die deutschen Seehäfen noch heute einen Anteil von wohl mindestens 25%. Rechnet man auch ihre unmittelbare Ausfuhrleistung (über den Rhein) hinzu, so ergibt sich ein Gesamtanteil, der etwa 45 % betragen dürfte. Diese letztere Zahl läßt gleichzeitig erkennen, in welchem Ausmaß die deutsche Binnenschiffahrt bei ihrem natürlichen Drang zum Meer zweiseitig ausgerichtet ist; wie die deutschen Nordseehäfen so üben auch die Welthäfen Hollands und Belgiens eine starke Anziehungskraft auf sie aus. Aus diesem Umstand haben sich mannigfache verkehrspolitische Probleme ergeben, die schließlich in der Abstimmung der deutschen Seehafentarifpolitik auf die in der Duisburger Frachtenkonvention festgelegten grenzüberschreitenden Rheinfrachten gipfelten. Mehr denn je ist somit auch hier der Verkehrspolitik der Bundesrepublik die Aufgabe gestellt, Interessengegensätze auszugleichen und deren Träger zusammenzuführen.

d) Spedition

Früher benutzten fast alle Stückguttransporte auf lange Entfernungen den Wasserweg. Heute hat sich infolge des Wettstreits zwischen Binnenschiffahrt, Straße und Schiene der Stückgutumschlag weitgehend verschoben. Nach wie vor ist aber ein billiger Beförderungsweg für das Massengut die Voraussetzung einer wirtschaftlichen Großentwicklung, und diesen billigen Beförderungsweg schafft in erster Linie die Binnenschiffahrt. Solches, auf Wasserstraßen befördertes Massengut muß mehrere Male, zumindest aber zweimal, umgeschlagen werden. Hieraus erwachsen die Aufgaben für das Speditions- und Lagereigewerbe.

Die Binnenwasserstraße ist in weitem Umfang Teilstück eines größeren Gesamtbeförderungsweges. Diese Tatsache läßt dem Spediteur besondere Bedeutung zukommen. Die Umschlagtätigkeit, die Zwischenlagerung im Binnenhafen, die Zolldeklarierung u.a.m. sind Arbeitsgebiete, die zum typischen Bereich des Speditionsgewerbes führen. Diese enge Koppelung zwischen der Binnenschiffahrt und dem Speditionsgewerbe brachte es mit sich, daß letzteres in weitem Umfang Werber und Zubringer der Schiffahrt wurde.

^{*)} einschließlich Eigenbedarf bzw. Eigenerzeugung der in Betracht kommenden Seehäfen.

Umgekehrt hat die Entwicklung aber die Reedereien in starkem Maße auch wieder zu Spediteuren gemacht, die sich als solche anfänglich zwar nur in der Umschlagsspedition und in der Lagerei betätigten, sich allmählich und besonders mit dem Auftreten des Kraftwagens aber auch auf alle anderen speditionellen Tätigkeitsfelder ausdehnten. Will die Binnenschiffahrt rentabel sein, so muß sie Wert auf die Verkürzung des Schiffsumlaufs legen. Das hat sie erreicht durch Verbesserung ihres Materials und ihrer Schleppkraft. Zur Verkürzung des Schiffsumlaufs ist aber Hand in Hand damit auch das Speditionsgewerbe eingesprungen durch Verbesserung und Vermehrung seiner eigenen Umschlagseinrichtungen.

Auch diese Bemühungen beider Gruppen haben dazu verholfen, daß die Binnenschiffahrt trotz der gestiegenen Kosten ihren Platz im Kampf der Verkehrsträger behauptet hat und weiterhin behaupten kann. In Erkenntnis dessen hat die Regierung der Bundesrepublik bei der Neuordnung der gesetzlichen Grundlagen des binnenländischen Verkehrs wie bei den internationalen Verhandlungen über Regelung des grenzüberschreitenden Verkehrs Wert darauf gelegt, die Belange des Speditionsgewerbes in seinem Verhältnis zu den Verkehrsträgern zu wahren.

Die Binnenwasserstraßen, namentlich der Rhein als Hauptausfallweg der deutschen Wirtschaft nach den Benelux-Häfen, nach den Niederlanden, nach Belgien und Frankreich, aber auch die Donau als der verbindende Wasserstraßenweg zwischen Süd-Ost-Europa und den nordeuropäischen Seehäfen und ebenso Ems, Weser und Elbe und die diese Flüsse verbindenden Querkanäle sind, wie wir wissen, Wegbereiter für den internationalen Verkehr. Auch hier fallen wegen der Schwierigkeiten und der erforderlichen Fachkenntnisse dem Spediteur bedeutende Betätigungsmöglichkeiten zu.

Früher wurde das Schiff vielfach auch als Lagerraum benutzt. Die Löschfristen haben sich jedoch verkürzt, die Gestehungskosten pro t Schiffsraum sind dauernd gestiegen. Darum muß der Spediteur mit seinen Lagerhäusern die Güter zur Umschlagslagerei vermehrt aufnehmen. Insofern haben diese Lagerhäuser für den Schiffsumlauf der Binnenschiffahrt eine erhöhte Bedeutung gewonnen. Anders als bei den Verkehrsträgern der Schiene und der Straße kann der Empfänger nicht immer zur Stelle sein, um die Ware aus dem Schiff in Empfang zu nehmen. Die prompte und zuverlässige Tätigkeit des Spediteurs sichert in diesem Fall einen reibungslosen Ablauf des Umschlages. So ist denn auch das Speditionsgewerbe aus dem Leben der Binnenschiffahrt nicht wegzudenken. Es hat seinen festen und notwendigen Platz in ihm, zum Nutzen der Schiffahrt wie der Verladerschaft.

10. Binnenschiffahrtrechtliches

Zum Schluß noch einige Sätze zum Privat-, Offentlichen und Wirtschaftsrecht der deutschen Binnenschiffahrt unter teilweiser Zusammenfassung einzelner bereits im Laufe der Darstellung gebrachter Hinweise.

1. Privatrecht

Das Reichsbinnenschiffahrtsgesetz vom 15. 6. 1895 ist noch heute in Kraft. Es behandelt in sieben Abschnitten den Schiffseigner und seine Haftung gegenüber Dritten, die Rechtsstellung des Schiffers und der Schiffsmannschaft, das Frachtgeschäft, die Haverie, den Zusammenstoß von Schiffen und die Rechte der Schiffsgläubiger. Das Gesetz lehnt sich teils an das Land-, teils an das Seefrachtrecht an. Seine Anpassungsfähigkeit beruht hauptsächlich darauf, daß es weitgehend auf dem Grundsatz der Vertragsfreiheit aufgebaut ist.

Die sachenrechtliche Behandlung (Eigentumsübertragung, Belastung) derjenigen Binnenschiffe, die in einem deutschen Schiffsregister eingetragen sind, findet sich in dem Gesetz über Recht an eingetragenen Schiffen und Schiffsbauwerken, dem sog. Schiffsrechtegesetz aus dem Jahre 1940. Für nicht eingetragene Schiffe gelten die Vorschriften des Bürgerlichen Gesetzbuchs. Die Eintragung in das Schiffsregister richtet sich nach der Schiffsregisterordnung (ebenfalls von 1940).

2. Offentliches Recht

Abgesehen von dem Gesetz über das gerichtliche Verfahren in Binnenschiffahrtsund Rheinschiffahrtssachen (1952), das in der Bundesrepublik wieder eine einheitliche Schiffahrtsgerichtsbarkeit hergestellt hat), dienen die hier einschlägigen Vorschriften fast ausschließlich der Verkehrssicherheit. Es sind
dies, um nur die wichtigsten aufzuzählen, die Binnenschiffahrtstraßen-Ordnung
und die Rheinschiffahrtpolizeiverordnung, beide von 1954, sowie die Donauschiffahrtpolizeiverordnung von 1935, welche die auf den Binnenwasserstraßen
des Bundes geltenden Verkehrsregeln enthalten, welche die Binnenschiffs- und
Rheinschiffsuntersuchungsordnungen (1956 bzw. 1949), welche die Anforderungen
an die Fahrtauglichkeit der Schiffe zusammenfassen; schließlich die Verordnungen
über Befähigungszeugnisse in der Binnenschiffahrt, über die Erteilung von
Rheinschifferpatenten (beide aus dem Jahre 1956) sowie über Elbeschifferzeugnisse (1926), welche die Voraussetzungen für die Berechtigung zur Führung
bestimmter Binnenschiffe festlegen

Die mit der Schiffsuntersuchung in engem Zusammenhang stehende Schiffseich ung wird auf Grund der auf dem Internationalen Eichabkommen aus dem Jahre 1925 beruhenden Eichordnung (1928) durchgeführt. Gleichfalls international vereinbart (1939) sind die in der Nachkriegszeit erlassenen Vorschriften über die Beförderung brennbarer Flüssigkeiten auf Binnenwasserstraßen.

3. Wirtschaftsrecht

Von überragender Bedeutung für die wirtschaftliche Ordnung der Binnenschiffahrt ist das Gesetz über den gewerblichen Binnenschiffsverkehr (1953). Wie tief es auf den verschiedensten Gebieten in die Rechtsverhältnisse und Wirtschaftsbelange der Binnenschiffahrt sowie ihrer Nutzer eingreift, ist vorstehend mehrfach dargetan worden. Ein nochmaliges Eingehen auf Einzelheiten erübrigt sich deshalb.

Anmerkung

Mitarbeiter von Prof. Dr. h. c. Otto Most:

Prof. Dr. K. Förster, Dr. W. Geile, Regierungsbaudirektor F. Hartung, Dr. H. Herker, Ministerialrat G. Kählitz, Oberstadtdirektor Dr. J. Nagel, Prof. Dr. E. Otremba, Dr. Wolfh. Schlichting, Prof. Dr. A. Schmitt, Dipl.-Volkswirt E. Schreiber, D. F. Schroiff, Dr. H. Seidenfus, Regierungsbaudirektor E. Seiler; redaktionelle Hilfe von Dr. H. Seidenfus, Köln, und Dr. D. Wulf, Beuel.

^{*)} Z. Z. 15 Schiffahrtsgerichte und 7 Schiffahrtsobergerichte, als welche an den Sammelpunkten des Schiffsverkehrs gelegene Amts- oder Oberlandesgerichte fungieren.

Abteilung I — Binnenschiffahrt

Frage 2

Entwicklung der Arten von Antrieb und Steuerung der einzeln fahrenden Schiffe und der Schleppzüge auf Flüssen und Kanälen. — Vergleich der Selbstfahrer mit den übrigen Schiffen.

Von Kurt Helm, Oberingenieur der Hamburgischen Schiffsbauversuchsanstalt und der Versuchsanstalt für Binnenschiffbau, Duisburg.

Thema: "Der Stand der technischen Entwicklung im Binnenschiffsbau".

Zusammenfassung:

Die vorliegende Arbeit gibt einen Überblick über den Einfluß der unterschiedlichen Fahrwasserverhältnisse in der Binnenschiffahrt auf die Form und Größe der Schiffe, ihre Antriebsart und die Größe der Antriebsleistungen, sowie über die Steuerorgane der Binnenschiffe,

Die einzelnen Faktoren werden für die hauptsächlichen Schiffstypen der deutschen Wasserstraßen näher erläutert und an Hand von Modellversuchsergebnissen Angaben über ihre Größe gemacht:

- 1. Beeinflussung des Widerstandes
 - a) durch die Schiffslänge,
 - b) für gegebene Hauptabmessungen (Länge, Breite, Tiefgang) durch die Spantform, durch die Völligkeit, durch die Lage des Verdrängungsschwerpunktes.
- 2. Beeinflussung des Widerstandes
 - a) durch die Fahrwassertiefe, bei verschiedenen Tiefgängen,
 - b) durch die Unebenheiten des Flußbodens,
 - c) durch die Stromgeschwindigkeit,
 - d) durch das Oberflächengefälle.
- Beeinflussung des Widerstandes von Schleppzügen durch die Lage der Kähne zueinander.
- 4. Antriebsarten:

Besprechung der einzelnen hauptsächlichen Antriebe (Radantrieb, Tunnel-, Düsen- und Voith-Schneider-Propeller), ihrer hydraulischen Vor- und Nachteile.

- 5. Hydraulischer und wirtschaftlicher Vergleich der verschiedenen Schiffstypen:
 - a) Seitenrad- und Zweischrauben-Düsenschlepper bei gleicher Leistung,
 - b) freifahrende und schleppende Selbstfahrer verschiedener Größe und Antriebsleistung,
 - c) Zweischrauben-Düsenschlepper und schleppender Selbstfahrer.
- 6. Vergleich des üblichen Schleppens und der amerikanischen Schubschleppmethode.
- Besprechung der bei Binnenschiffen verwendeten Steuerorgane und der Beeinflussung der Manövrierfähigkeit durch die Fahrwasserverhältnisse.

Literatur:

[1] Helm, K.: Über den Einfluß von Form und Größe des Wasserquerschnittes sowie der Schiffsform, der Geschwindigkeit und der Art des Antriebes auf die Gestaltung eines künstlichen Wasserlaufes. Studien zu Bau- und Verkehrsproblemen der Wasserstraßen, Sept. 1949 (Herausg. Bundesverkehrsministerium).

- [2] Helm, K. und Wöltinger: Untersuchungen der Beziehungen zwischen einerseits der Querschnittsgestalt, der Bodenbeschaffenheit, der Art der Auskleidung und der Verteilung der Strömungsgeschwindigkeiten in einem Wasserlauf (Fluß, Kanal), und andererseits dem Fahrwiderstand, dem Wirkungsgrad der Schrauben und den zulässigen Geschwindigkeiten der Schiffe in bezug auf die Unterhaltungskosten des Wasserlaufes. XVIII. Intern. Schiffahrtskongreß Rom 1953, Abt. I, Mitt. 1
- [3] Koch, Foerster, Kempf: Wirtschaftliche Binnenschiffe. WRH 1929, H. 3, S. 41
- [4] Helm, K.: Vergleich der Transportleistung der neuen Donau-Kähne einzeln und im Schleppzug. Schiff und Werft 1944, H. 5/6 und H. 11/12
- [5] Seiler, E.: Die Klasseneinteilung der europäischen Wasserstraßen und ihre Bedeutung für die Binnenschiffahrt. Wasserwirtschaft 45. Jahrg. Nr. 10, Juli 1955, S. 245 bis 258
- [6] Helm, K.: Der Einfluß von Unebenheiten des Flußbodens bei der Fahrt auf flachem Wasser. WRH 1937, H. 14, S. 218
- [7] Zilcher: Leistung und Wirtschaftlichkeit von Flußschleppern verschiedener Antriebsarten, WRH 1927, H. 24, S. 556
- [8] Helm, K.: Selbstfahrer-Güterboote mit eigenem Antrieb. Zeitschr. für Binnenschiffahrt, vermutlich 1942
- [9] Helm, K.: Modellversuchsergebnisse mit einem Flußschiff in strömendem Wasser im freien Flußlauf. WRH 1934, H. 12, S. 146
- [10] Kempf, G.: Uber den Einfluß von Strombrückenpfeilern auf die Leistung und Wirtschaftlichkeit der Schiffahrt. WRH 1934, H. 19, S. 265

					,	S	eit
Gliederung:	Vorbemerkung	 					34
	Fahrzeugtypen	 	,				3.
	Antriebsarten	 		,.,			4
Variable Company	Steuerorgane	 					5

Vorbemerkung

Wenn man die Entwicklung der Binnenschiffahrt nach der Einführung des Dampfantriebes betrachtet und feststellt, in welchem Maße die Größe der Antriebsleistungen und die Schiffsabmessungen seither zugenommen haben, dann muß man berücksichtigen, daß diese Entwicklung nicht allein durch die technischen Fortschritte im Schiffs- und Maschinenbau und durch die wirtschaftliche Entwicklung des Transportwesens ermöglicht wurde, sondern daß erst der Ausbau der Wasserstraßen eine Schiffahrt mit den heute gebräuchlichen Schiffstypen ermöglicht hat.

Obgleich auf den einzelnen Stromgebieten die durchschnittlichen Abflußmengen noch heute praktisch die gleichen sind wie vor etwa 100 Jahren, ist es im Laufe des letzten Jahrhunderts gelungen, die Mindestwassertiefen auf den deutschen Strömen etwa zu verdoppeln, während in örtlich begrenzten Engpässen, wie sie in Felsstrecken mehrfach vorhanden sind, noch wesentlich größere Erfolge erzielt werden konnten.

Im Zusammenhang mit dieser Entwicklung nahm naturgemäß auch der Umfang der Binnenschiffahrt zu, und es traten Probleme auf, an deren Lösung sich die Hamburgische Schiffsbau-Versuchsanstalt (HSVA) seit etwa 1926 maßgebend beteiligt hat. Die dort gewonnenen Erkenntnisse sowie die Ergebnisse der Untersuchungen der seit 1954 arbeitenden Versuchsanstalt für Binnenschiffbau in Duisburg (VBD) bilden die Grundlage für die vorliegende Abhandlung, deren Ziel ist, einen Überblick darüber zu vermitteln, wie die unterschiedlichen Fahrwasserverhältnisse auf den Strömen und Kanälen und deren Ausbau und Verbesserungen die Form und Größe der Schiffe und ihrer Steuerorgane, ihre

Antriebsart und die Größe der Antriebsleistungen beeinflußt hat. Weiter wird gezeigt, wie durch Anpassung der Schiffe an ihre Hauptreisestrecke ("Regelschiffe") die Wirtschaftlichkeit der Binnenschiffahrt gesteigert wurde.

Über den gegenseitigen Einfluß von Kanal- und Schiffsgröße sowie der Querschnittsform der Kanäle wurde von Helm und Wöltinger bereits eingehend früher berichtet [1], [2], so daß diese Fragen hier nur soweit behandelt zu werden brauchen, wie zum Verständnis unbedingt erforderlich ist.

Fahrzeugtypen

Die Binnenschiffe — Schleppkähne, Schlepper und Selbstfahrer (Frachtschiffe mit eigenem Antrieb) — müssen in ihren Hauptabmessungen selbstverständlich ihren Hauptfahrgebieten angepaßt sein. Für gleiche Fahrgebiete sind die Hauptabmessungen, die Formen und die Völligkeiten der Regel-Frachtfahrzeuge nahezu gleich. (Unterschiede bestehen vor allem in der Hinterschiffsform und bei freifahrenden Selbstfahrern wegen der höheren Reisegeschwindigkeiten auch geringfügig in der Völligkeit.) Aus diesem Grunde können Kähne und Selbstfahrer zunächst gemeinsam behandelt werden und zwar in bezug auf ihre Hauptabmessungen, ihre Formgebung und die Beeinflussung ihres Widerstandes durch die Fahrwasserverhältnisse.

In früheren Jahren hatte jedes Fahrgebiet seinen eigenen Schiffstyp, so daß als allgemeine Richtlinie nur gesagt werden kann, daß auf den flachen Strömen wie Weser, Elbe und vor allem Oder den breiteren, flachgehenden Fahrzeugen mit Holzböden der Vorzug gegeben wurde, während auf den tieferen Strömen (Rhein und Donau) schon damals Eisenkähne liefen, die wegen der größeren Wassertiefen auch mit entsprechend größeren Tiefgängen und geringeren Breiten gebaut werden konnten.

Mit der Schaffung der Querverbindungen zwischen den Strömen ergab sich dann die Notwendigkeit, die Kahnabmessungen auch den Schleusenabmessungen und den Kanalbreiten anzupassen, wobei der durch die Fahrwasserverhältnisse der Ströme gegebene größte Tiefgang auf den meisten Kanälen voll ausgenutzt werden konnte, so daß in dieser Beziehung keine Umstellung erforderlich war. Damit lagen aber die Hauptabmessungen für alle die Kanäle befahrenden Fahrzeuge fest, und ihre Tragfähigkeit konnte nur noch durch Variation der Völligkeit beeinflußt werden.

Da aber die Schleppgebühren nicht nach dem tatsächlich erforderlichen Leistungsaufwand, sondern nach den beförderten Ladungstonnen, der Länge und der Beschaffenheit der Reisestrecke berechnet werden, ist es natürlich für die Kahnhalter am günstigsten, möglichst völlige Kähne zu bauen; der Mehraufwand an Schlepplohn wird durch die höheren Frachteinnahmen leicht ausgeglichen.

Diese Tatsachen führten zum Bau sehr ungünstiger Kähne mit einem außergewöhnlich hohen Schleppwiderstand, die außerdem wegen ihrer zumeist übermäßig völligen Hinterschiffe schlecht steuerten und daher stark gierten, also auch in ihren nautischen Eigenschaften unzureichend waren. Im Laufe der Zeit machten sich diese schlecht schleppenden Kähne vor allem auf den Kanalstrecken so unangenehm bemerkbar, daß man sich (um 1928) entschloß, für die damals auf den mitteldeutschen Wasserstraßen üblichen Kahntypen durch systematische Modellversuche festzustellen, wie groß die Widerstandsunterschiede sind, die durch Verschiedenheiten der Form und der Völligkeit auftreten können. Dieses in der HSVA durchgeführte Versuchsprogramm zeigte (Bild 1), daß bei Einhaltung glei-

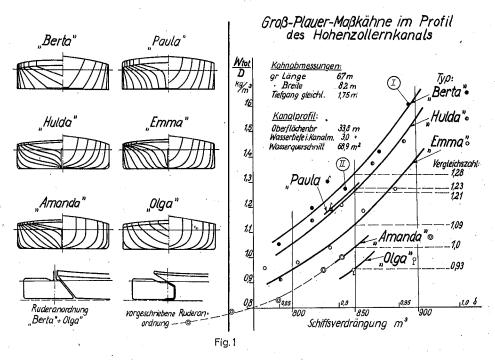


Bild 1 Einfluß von Schiffsform und Völligkeit auf den Schleppkraftbedarf bei einer Schleppgeschwindigkeit von 5 km/h.

cher Verdrängung die Veränderung der Form den Widerstand bis zu $30\,\%$ beeinflußt, während bei gleichem Spantcharakter eine Erhöhung der Völligkeit von ca. 0.86 auf ca. 0.96 den Widerstand um mehr als $50\,\%$ ansteigen läßt.

Diese Untersuchungen waren für die Gestaltung der Binnenschiffe von maßgebender Bedeutung; ihr Endergebnis war die Schaffung des sogenannten "Amanda"-Typs, dessen höchstzulässige Völligkeit auf 0,88 beschränkt wurde. Dieser Typ hat sich in der Praxis dann sowohl in bezug auf die erforderliche Schleppkraft als auch auf die Kursstetigkeit im Schleppverband und auf Steuerfähigkeit so gut bewährt, daß er mit geringen Abwandlungen noch jetzt als Standardform für Schleppkähne gelten kann [3].

In einem späteren Programm wurde dann die in bezug auf den Widerstand günstigste Lage des Verdrängungsschwerpunktes ermittelt (Bild 2) und festgestellt, daß bei der "Amanda"-Form mit einer Völligkeit von ca. 0,88 der Schwerpunkt bei Flußkähnen ungefähr 1 % der Länge und von reinen Kanalkähnen etwa 1,5 % der Länge vor Mitte Schiff liegen sollte. Bei schärferen Kähnen, die z.B. auf der Donau wegen der höheren Stromgeschwindigkeiten der Kataraktenstrecke und des Oberlaufes gebräuchlich sind, muß der Verdrängungsschwerpunkt noch weiter vorn (ca. 1,5 bis 1,75 % der Länge vor Mitte Schiff) angeordnet sein. Die bei der Vorverlagerung des Schwerpunktes entstehende zusätzliche Hinterschiffsverschärfung ergab eine weitere Verbesserung der Steuerfähigkeit [4].

Bisher wurde der Einfluß des Spantcharakters, der Völligkeit und der Schwerpunktslage besprochen, als nächstes wäre zu untersuchen, welchen Einfluß die Größe der Schiffe auf ihre Widerstand hat.

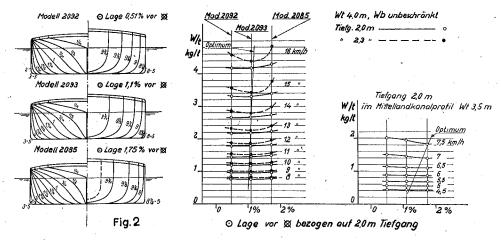


Bild 2 Einfluß der Lage des Verdrängungsschwerpunktes auf den Schleppkraftbedarf. (Schiffsabmessungen: 80 m \times 9 m \times 2 m, Verdrängung 1222 m³, Völligkeit 0,87)

Seiler [5] hat in seiner Arbeit über die Klasseneinteilung der europäischen Wasserstraßen für jede Klasse der Wasserstraßen auch das zugehörige größte zulässige Typschiff angegeben.

Klasse I umfaßt etwa 42,5 % des insgesamt 19760 km langen europäischen Wasserstraßennetzes und kann nur von dem kleinsten Schiffstyp, den Penischen (Länge 38,5 m, Breite 5,0 m, größter Tiefgang 2,2 m, größte Tragfähigkeit 300 t), befahren werden, die ihrerseits das gesamte Wasserstraßennetz befahren könnten.

Das Regelschiff für die Wasserstraßen der Klasse II ist der Kempenaar-Kahn (Länge 50,0 m, Breite 6,6 m, gr. Tiefgang 2,5 m, gr. Tragfähigkeit 600 t), der 57,5% aller Wasserstraßen befahren kann.

Der Dortmund-Ems-Kanal-Kahn (Länge 67,0 m, Breite 8,2 m, gr. Tiefgang 2,5 m, gr. Tragfähigkeit 1000 t) kann noch auf Wasserstraßen der Klasse III verkehren, er ist damit über 44 % des Gesamtnetzes einsetzbar.

Das Regelschiff für Klasse IV, der Rhein-Herne-Kanal-Kahn (Länge 80,0 m, Breite 9,5 m, gr. Tiefgang 2,5 m, gr. Tragfähigkeit 1350 t) kann noch $30,5\,^0/_0$ des Wasserstraßennetzes befahren.

Die größten Binnenschiffe, die sogenannten Rheinkähne (Länge 95,0 m, Breite 11,5 m, gr. Tiefgang 2,7 m, gr. Tragfähigkeit 2000 t) können nur noch die Wasserstraßen der Klasse V befahren (im wesentlichen die Rheinstrecke bis etwa Koblenz aufwärts und das Mündungsgebiet des Rheins mit Juliana- und Albert-Kanal).

Da nun diese 5 Regelschiffe alle auf der größten Wasserstraße (Klasse V) anfallen können und hier für eine mittlere Schleppergeschwindigkeit von 12 km/h, wie sie z.B. auf dem Rhein üblich ist, nahezu unbeschränkte Fahrwasserverhältnisse vorliegen, läßt sich unter Voraussetzung gleicher Völligkeit für alle Fahrzeuge aus Mittelwerten von Modellversuchsergebnissen mit Kahnformen der angenäherte Einheitswiderstand (W_{tot}/L ; L=Ladungstonnen) feststellen. Danach ergibt sich folgender Vergleich:

Vergleich der Einheitswiderstände der Regelkähne für die Wasserstraßen der Klassen I bis V

bei Fahrt mit 12 km/h gegen Wasser auf unbegrenztem Fahrwasser (Kahnvölligkeit ~ 0.88)

Eigenes Gesamtes Fahrgebiet	Kahntyp	Länge m	L/B	Einheits- widerst.
V	Rheinkahn	95,0	8,25	100
IV IVV	Rhein-Herne-Kanal-Kahn	80,0	8,4	105
III III V	Dortmund-Ems-Kanal-Kahn	67,0	8,2	120
и и v	Kempenaar-Kahn	50,0	7,6	215
I IV	Penische	38,5	7,7	360

Abgesehen davon, daß die kürzeren Kähne ungünstigere L/B-Werte haben, ist der höhere Einheitswiderstand im wesentlichen eine Funktion der Länge. Es zeigt sich deutlich, daß bei der gewählten Geschwindigkeit von 12 km/h der Widerstand enorm ansteigt, wenn eine Schiffslänge von 65 m unterschritten wird. Diese Tendenz verstärkt sich noch bei höheren Geschwindigkeiten, wie sie für freifahrende Selbstfahrer gewählt werden.

Da der Völligkeitsgrad der Penischen wesentlich höher liegt als bei den modernen deutschen Kahntypen, ist der tatsächliche Einheitswiderstand dieses Schiffstyps noch ungünstiger, als die Tabelle zeigt.

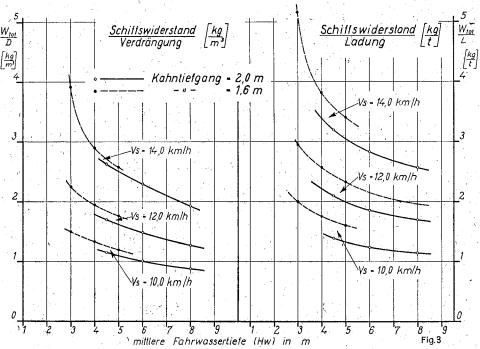


Bild 3 Einfluß von Fahrwassertiese und Schiffstie gang aus den Schleppkraftbedarf. (Schiffsabemessungen: 67 m × 8,16 m × 2 m, Verdrängung 934 m³, Völligkeit 0,88)

Der Einfluß von Wassertiefe, Tiefgang und Geschwindigkeit auf den Einheitswiderstand wird für das Beispiel des Dortmund-Ems-Kanal-Kahnes nach Versuchsergebnissen der VBD auf Bild 3 wiedergegeben.

a) Einfluß der Fahrwassertiefe; mittlere Schleppgeschwindigkeit 12 km/h

	mittlere	,	g 2,0 m	Tiefgang 1,6 m		
	Fahrwassertiefe		erstand W/L	Einheitswiderstand W/L		
	m	kg/t	0/0	kg/t 0/0		
			1			
	8	1,70	100	1,96		
	6	1,85	109	2,14 109		
	4	2,20	129	2,56 131		
	3		<u>'</u>	2,95 151		
-		l a tart				

Für die mittlere Schleppgeschwindigkeit von 12 km/h ist also der Schiffswiderstand ziemlich unabhängig vom Tiefgang um etwa 30 % höher, wenn die Fahrwassertiefe von 8,0 m auf 4,0 m, also auf die Hälfte absinkt. Dieser Prozentsatz nimmt bei geringeren Wassertiefen zu, z.B. bei einer Wassertiefenverminderung von 6,0 m auf 3,0 m (fast 40%).

b) Einfluß des Tiefgangs; mittlere Schleppgeschwindigkeit 12 km/h

Tief-	mittl Fahrwasse		mitt Fahrwasse		mittlere Fahrwassertiefe 4 m	
gang	W/L kg/t	W/L 0/0	W/L kg/t	W/L 0/0	W/L kg/t	W/L º/o
2,0 1,6	1,70 1,96	100 115	, 1,85 2,14	100 115,5	2,20 2,56	100 116

Bei einer mittleren Schleppgeschwindigkeit von 12 km/h erhöht sich der Einheitswiderstand ziemlich unabhängig von der Wassertiefe um ca. 15%, wenn der Schiffstiefgang von 2,0 m auf 1,6 m vermindert wird.

c) Einfluß der Schleppgeschwindigkeit; Kahntiefgang 2,0 m:

1	//L kg/t \	W/L º/o	W/L kg/t	W/L 0/0	W/L kg/t	W/L 0/0
10	1,15	100	1,24	100	1,47	100
12 / 14	1,70 2,56	148 223	1,85 2,83	149 229	2,20 3,39	150 231

Kahntiefgang 1,6 m:

Vs km/h	mit Fahrwass W/L kg/t	tlere ertiefe 5 m W/L º/o	mittlere Fahrwassertiefe 4 m W/L kg/t W/L %		mittlere Fahrwassertiefe 3 m W/L kg/t W/L ⁰ / ₀	
10	1,60	100	1,74	100	2,00	100
12	2,33	146	2,56	147	2,95	148
14	3,40	212	3,82	220	5,16	258

Innerhalb der normalen Schleppgeschwindigkeitsgrenzen (10 km/h bis 12 km/h) schwankt die Widerstandszunahme unabhängig vom Tiefgang und von der Wassertiefe um ca. 50 %; bei höheren Geschwindigkeiten aber nimmt der Widerstandszuwachs mit abnehmender Wassertiefe stark zu (zwischen 75 %0 und 110 %0 über die Widerstände bei 12 km/h hinaus).

Im Schleppverband ergibt sich noch eine weitere Beeinflussung der Kahnwiderstände, die von der Art der gewählten Schleppmethode abhängig ist.

Für die Bergfahrt ist auf dem Rhein üblich, die Kähne gestaffelt zu schleppen, wobei der Abstand zwischen Schlepper und erstem Kahn zwischen 120 m und 150 m beträgt, während die Abstände zwischen den Kähnen bei ungefähr 1 Kahnlänge liegen. Hierbei ist der vom Schlepper zu überwindende Gesamtwiderstand des Schleppzuges praktisch gleich der Summe der Einzelwiderstände der geschleppten Kähne.

Auf den anderen Strömen werden die Kähne jedoch in einer Reihe hintereinander geschleppt (auf der Donau u.U. in zwei nebeneinander fahrenden Reihen). Dabei sind die Abstände zwischen den einzelnen Kähnen z. T. nur gering. Die Kähne fahren also praktisch in der Kiellinie des vorausfahrenden Fahrzeuges. Modellversuche der HSVA zeigten, daß der Gesamtwiderstand von 4 mit Zwischenräumen von ¹/₂ bis 1 Kahnlänge in Kiellinie hintereinander fahrenden Kähnen nur etwa 83 % der Summe der Einzelwiderstände ausmacht. Wird der Abstand zwischen den Kähnen auf das geringst mögliche Maß vermindert, dann geht der Gesamtwiderstand auf etwa 70 % der Widerstandssumme zurück. Eine Verkleidung der Übergänge zwischen den Vor- und Hinterschiffen (Anbringung von Boden- und Seitenplatten) vermindert den Widerstand weiter auf etwa 65 % der Summe der Einzelwiderstände. (Dieser Fall entspricht ungefähr der in Amerika üblichen Schleppmethode mit "integrated towboats".) Bei größeren Schleppverbänden kann nach Versuchsergebnissen der VBD und nach Aussagen amerikanischer Schiffahrtssachverständiger der Widerstand so gekoppelter Fahrzeuge sogar bis auf ca. 50 % der Summe der Einzelwiderstände zurückgehen.

Bei Talfahrt ist es mit Rücksicht auf gute Manöveriereigenschaften notwendig, die Schleppzüge möglichst kurz zu halten, weshalb die Kähne z.B. auf der Donau zu 2 bis 4 Fahrzeugen nebeneinandergekoppelt an zwei kurzen Kreuzseilen geschleppt werden. Auf dem Rhein werden wegen der großen Verkehsrdichte nur jeweils 2 Kähne nebeneinandergelegt und insgesamt 3 bis 4 Kähne in kurzem Abstand hintereinander geschleppt.

Der Widerstand zweier nebeneinander geschleppter Kähne erhöht sich auf das 1,5fache und bei 3 Kähnen, wenn der dritte Kahn eng aufgeschlossen hinter den beiden nebeneinander fahrenden Kähnen liegt, auf das 1,15fache der Summe der Einzelwiderstände.

Der auf den Bug des ersten Kahnes treffende Propellerstrahl des Schleppers erhöht ebenfalls noch den Widerstand des Schleppzuges; diese Frage wird später gesondert behandelt.

Zum Abschluß des ersten Teiles dieser Arbeit soll noch auf einen weiteren Faktor hingewiesen werden, der den Schleppwiderstand beeinflußt, und zwar sind dies die Unebenheiten des Flußbodens. Zur Klärung dieser Frage wurden in der HSVA Versuche bei verschieden großen, quer zur Fahrtrichtung liegenden Unebenheiten durchgeführt; die ungünstigsten Stellen lagen dabei 160 m bis 320 m für die Großausführung auseinander, die Höhenunterschiede betrugen \pm ½ bis 1 m. Aus den auf der oberen Hälfte von Bild 4 wiedergegebenen Versuchsergeb-

nissen geht hervor, daß die auf unebenem Boden erreichbare mittlere Fahrgeschwindigkeit nicht der mittleren Wassertiefe, sondern einer etwas geringeren Wassertiefe zugeordnet ist. Will man also Modellversuche für unebenen Boden (Flußfahrt) wie üblich über ebenem Boden durchführen, dann muß statt der arithmetisch gemittelten Wassertiefe die "wirksame Wassertiefe" verwendet werden. Diese "wirksame Wassertiefe" ist dem arithmetischen Mittel der auf der kleinsten und der größten Wassertiefe des entsprechenden Fahrgebietes erreichbaren Geschwindigkeiten zugeordnet und kann aus diesen, aufgetragen über den zugehörigen Wassertiefen, konstruiert werden (Bild 4, unter Hälfte) [6].

Bei Unebenheiten, die parallel zur Fahrtrichtung verlaufen, entspricht dagegen die "wirksame Wassertiefe" dem arithmetischen Mittel der Querschnittstiefen, wie Vergleichsversuche in der VBD mit einem seitlich etwas (i. M. etwa 0,25 m entsprechend) abfallenden Tankprofil und einem ebenen Profil zeigten.

Diese Ergebnisse sind von grundsätzlicher Bedeutung für den Vergleich zwischen Modell- und Großversuch. Sie zeigen, daß das von Helm schon etwa 1930 vorgeschlagene Verfahren, bei Flachwasserversuchen, die ja allgemein auf ebenem Boden unternommen werden, eine "wirksame Wassertiefe" einzusetzen, die etwas kleiner ist, als dem arithmetischen Mittel aus dem Längenprofil der Flußstrecke entsprechen würde, richtig ist.

Nach den Ergebnissen der neuen Versuche der VBD wäre dieses Verfahren vollständig korrekt, wenn statt der Mittelwerte aus dem Längenprofil in der Fahrrinne zunächst ein Mittelwert der mittleren Wassertiefen innerhalb der Fahrrinne (etwa für 100 bis 120 m Strombreite oder, bei schmaleren Strömen, im Bereich zwischen den Buhnenköpfen) gebildet und dieser Wert dann nach Bild 4 korrigiert würde.

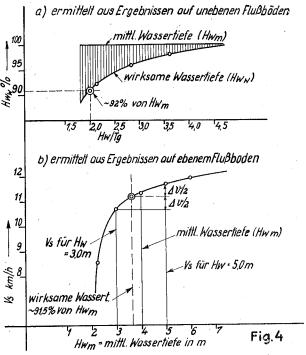


Bild 4 Einfluß der Unebenheiten des Flußbodens auf die Schiffsgeschwindigkeit. Ermittlung der wirksamen Wassertiefe.

Dieses kombinierte Verfahren wäre jedoch viel zu zeitraubend, auch fehlen oft die hierzu erforderlichen hydrographischen Unterlagen. Außerdem hat sich bereits mehrfach gezeigt, daß auch die bisher gewählte Methode zufriedenstellende Ergebnisse für den Vergleich von Modell- und Großversuch hat.

Antriebsarten

Bis zur Einführung des Dieselmotors (etwa in den Jahren 1924 bis 1926) wurde in der Binnenschiffahrt überwiegend geschleppt und nur mit wenigen sogenannten "Eildampfern" ein Stückgutverkehr durchgeführt.

Als Antriebsmittel diente in dieser Zeit hauptsächlich das Schaufelrad, und zwar wurde auf den großen, breiten Strömen wie Rhein, Donau und Elbe durchweg der hydraulich günstigere Seitenradantrieb bevorzugt, bei dem die Gesamtbreite über Radkasten je nach der Stärke des Schleppers das Doppelte bis 2,5fache der eigent-lichen Schiffsbreite beträgt. Auf schmalen Flußläufen mit starken Krümmungen und engen Brückendurchfahrten und auf kanalisierten Flußstrecken wurde der schmalere Heckantrieb gewählt. Hierbei bewährte sich am besten die Bauart mit 2 seitlich am Heck angeordneten Rädern von je etwa ½ Schriffsbreite, wobei das Hinterschiff schwanzartig zwischen den Rädern ausläuft.

Die Schriffsschraube als Antriebsmittel für Flußschlepper wurde etwa 1910 eingeführt, jedoch wegen des notwendigen größeren Tiefgangs zunächst nur auf den unteren Stromstrecken mit größeren Wassertiefen. Wirklich wirksam eingesetzt werden konnte aber der Propellerantrieb erst nach Einführung der Dieselmotoren, die es durch ihr wesenflich geringeres Maschinengewicht ermöglichten, kleinere Schlepper mit geringeren Tiefgängen zu bauen, die auch auf den oberen Stromstrecken einsetzbar waren. Gleichzeitig hatten diese Maschinen Drehzahlen, die bei Wahl von Tunnelschrauben auch im Binnenschiffbau optimale Propellerdurchmesser zuließen, so daß die Antriebskraft wirtschaftlich ausgenutzt werden konnte.

Grundsätzlich muß gesagt werden, daß derjenige Antrieb am günstigsten ist, der die auf ihn übertragene Energie möglichst verlustfrei dem Wasser mitteilt. Je größer die beschleunigte Wassermasse und je kleiner die erteilte Beschleunigung, d.h. aber, je geringer die Belastung PS pro m² Strahlfläche bei gleicher Schiffsgeschwindigkeit ist, um so günstiger ist der Antrieb. Auf dieser Tatsache beruht die hydrauliche Überlegenheit des Randantriebes, vor allen Dingen bei stark beschränkter Wassertiefe, wo der Zustrom des Wassers zu den Antriebsorganen stark behindert ist. Hinzu kommt noch, daß der Sog durch den von ihm erzeugten Unterdruck am Hinterschiff eine steuerlastige Vertrimmung des Fahrzeuges hervorruft, die wiederum eine Widerstandserhöhung zur Folge hat; gleichzeitig wird die Gefahr für eine Grundberührung vergrößert.

Ein in den Jahren 1926 bis 1928 durchgeführtes größeres Versuchsprogramm der HSVA bestätigte diese Erkenntnisse, zeigte aber gleichzeitig, daß ein Vierschraubenschlepper mit Tunnelschrauben dem Seitenradschlepper hydraulich nur noch um etwa 12 % unterlegen ist, während der wirtschaftliche Vergleich zwischen Seitenradschlepper mit Dampfantrieb und Vierschrauben-Tunnelschlepper mit Dieselmaschine schon eine 5% üge Überlegenheit des Schraubenschleppers nachwies [7].

Eine beachtliche Verbesserung des Schraubenantriebes — vor allem beim Schleppen — stellte die Einführung von Schraubenummantelungen (Kort-Düsen) dar, die je nach der Schraubenbelastung im Bereich der üblichen Schleppgeschwindigkeiten zwischen 10 und 12 km/h Verbesserungen von 10 bis $20\,\mathrm{^6/6}$ bringen

können, wie durch Modellversuche einwandfrei nachgewiesen werden konnte. Man kann jetzt also Schraubenschlepper konstruieren, die einem Seitenradschlepper hydraulisch gleichwertig sind.

Auch der Seitenradantrieb könnte bei den hochbelasteten schweren Radschleppern noch um 10 bis 15% verbessert werden durch die Verwendung von Süberkrüb-Leitflächen hinter den Rädern, doch konnten sich diese Leitflächen in der Praxis trotz ihrer nachweislichen Vorzüge bisher nicht durchsetzen, weil verstärkte Vibrationen auftraten.

Eine weitere Antriebsart, die sich in den letzten Jahrzehnten auch in der Binnenschiffahrt eingeführt hat, ist der Voith-Schneider-Propeller (VSP), bei dem wie beim Randantricb eine rechteckige Strahlfläche die Möglichkeit bietet, auch bei kleinstem Tiefgang noch sehr günstige Strahlflächen unterzubringen. Außerdem ist der VSP ein Umsteuerpropeller, er kann also bei allen Belastungsfällen (Pfahlzug, Schleppfahrt und Freifahrt) die zur Verfügung stehende Motorleistung voll ausnutzen, und sämtliche Manöver können ohne Umsteuerung der Hauptmaschine durchgeführt werden.

Ganz besondere Vorteile bietet der VSP aber durch seine ausgezeichneten Manövrier- und Stoppeigenschaften, die diese Antriebsart besonders für Bugsierschlepper geeignet macht. Zu diesem Zweck wurde ein eigener Schiffstyp, der "VSP-Trecker", entwickelt (z. B. Typ "Biene" und "Hornisse"). Aber auch bei Fähren, Fahrgastschiffen und Streckenschleppern hat sich der VSP wegen seiner guten Manövriereigenschaften und der sehr geringen Vibrationen gut bewährt.

Mit der Einführung des Dieselmotors in der Binnenschiffahrt wurde ein neuer Schiffstyp — der sogenannte Selbstfahrer — ins Leben gerufen, der wie die Eildampfer zunächst nur im Stückgutverkehr eingesetzt wurde. Diese Selbstfahrer erhielten Antriebsleistungen, die sie befähigten, die unteren Stromgebiete mit höheren Geschwindigkeiten als ein Schleppzug zu befahren (etwa 15 km/h gegen Wasser). Auf den Kanalstrecken ist diese Leistung wegen der meist begrenzten Kanalgeschwindigkeit und des Überholungsverbotes schon nicht mehr voll ausnutzbar, während sie zur Überwindung von Stromhindernissen nicht ausreicht.

Dieser Schiffstyp bewährte sich jedoch sehr gut und wurde deshalb in immer größerer Anzahl gebaut, wobei vielfach vorhandene Kähne nachträglich motorisiert wurden. Da man bei der Motorisierung von Kähnen in den meisten Fällen das alte Kahnheck beibehielt und nur die Schraube durch einen zylindrischen Schirm abdeckte, um auch ein Fahren bei geringeren Tiefgängen zu ermöglichen (später wurden die Schirme nach vorn divergierend gebaut, um den Wasserzustrom zur Schraube zu verbessern), sind diese Fahrzeuge nicht so günstig wie die von vornherein als Selbstfahrer mit eingebautem Tunnel konstruierten Fahrzeuge.

Mit zunehmender Zahl wurden die Selbstfahrer später auch im Massengutverkehr eingesetzt und ihr Fahrgebiet immer mehr ausgeweitet. Hierdurch ergab sich die Notwendigkeit, die Antriebsleistungen zu erhöhen, um auch die oberen Stromgebiete mit ihren geringen Wassertiefen, höheren Stromgeschwindigkeiten und größeren Oberflächengefällen und Stromhindernissen mit eigener Kraft überwinden zu können.

Für Schleppzüge, die im Mittel etwa 12 km/h gegen Wasser zurücklegen, ist auf den unteren Stromgebieten ein Leistungsaufwand von etwa 0,2 PSe/Ladungstonne erforderlich. Zur Überwindung der kurzen Stromhindernisse auf dem Rhein (meist nur 1 Kahnlänge) können bei der dort üblichen Schleppmethode, bei der jeder Kahn seinen eigenen Strang hat, die Kähne durch Verlängerung der Schlepp-

trossen einzeln durch die Stromhindernisse befördert werden. Da sich der Schleppwiderstand innerhalb des Hindernisses bei der Überwindung der örtlich höheren Stromgeschwindigkeit und des sehr großen Gefälles etwa verdoppelt, beträgt der Leistungs-Mehraufwand z.B. bei einem 4-Kahn-Schleppzug etwa 25 %; im Mittel müssen ca. 0,25 bis 0,3 PSe/Ladungstonne aufgewendet werden. Ein Schleppzug kann also ein Stromhindernis ohne Leistungsreserve überwinden, wenn der Anhang um etwa 25 % vermindert wird oder aber ein Vorspannschlepper mit einer Antriebsleistung von ca. 250 bis 300 PSe verwendet wird. Zur Überwindung der ungünstigsten Durchfahrt auf der Donau, des Eisernen-Tor-Kanals, dessen ungünstige Stelle etwa 600 m lang ist (es liegt also für kurze Zeit der gesamte Schleppzug innerhalb der Stromschnelle), ist ein Leistungsaufwand von etwa 1,6 PSe/t erforderlich. Hierfür werden die sehr starken Kataraktenschlepper gebaut und außerdem auch eine Treidel-Lokomotive eingesetzt.

Für die mittleren Fahrgeschwindigkeiten der Selbstfahrer (ca. 15 km/h) ist auf den unteren Flußstrecken ein Leistungsaufwand von etwa 0,5 PSe/Ladungstonne erforderlich. Zur Überwindung des Binger Lochs und der Baselstrecke wird etwa 1,0 PSe/t und für die Kataraktenstrecke der Donau etwa 1,6 PSe/t erforderlich.

Die bei Selbstfahrern zur Überwindung der Stromhindernisse erforderliche Leistung kann aber auf dem größten Teil der Flußstrecken für Freifahrt nicht mehr wirtschaftlich voll ausgenutzt werden, und man kam gewissermaßen zwangsläufig auf den Gedanken, die überschüssige Leistung dazu zu verwenden, auf diesen Normalstrecken einen Anhang mitzunehmen, also zusätzlich zu schleppen. Diese Tendenz hat sich im Laufe der letzten Jahre immer weiter verstärkt, so daß die modernen Selbstfahrer im allgemeinen fast selbstverständlich zusätzlich Schleppanhang mitnehmen; ihre Leistungen wurden sogar wegen des Schleppens mehr erhöht, als zur Überwindung der Stromhindernisse notwendig wäre.

Es wurde eingangs schon darauf hingewiesen, daß die hydraulische Wirkung eines Antriebsmittels um so günstiger wird, je geringer die Flächenbelastung (PSe/m² Strahlfläche) gewählt werden kann. Bild 5 zeigt einen Vergleich zwischen Radschleppern, Tunnelschraubenschleppern und Düsenschraubenschleppern für eine mittlere Schleppgeschwindigkeit von 12 km/h, und zwar den spezifischen Trossenzug Z/WPS, aufgetragen über der Flächenbelastung WPS/m² Strahlfläche. Um die Sogvergrößerung der eingetunnelten Schrauben zu berücksichtigen, wurde bei den Propellern nur die Strahlfläche eingesetzt, die in Ruhelage eintaucht, beim Schaufelrad wurde die in Ruhe eintauchende projizierte Schaufelfläche gewählt. Dieses Diagramm entstand etwa 1947 durch systematische Auswertung von Modellversuchsergebnissen der HSVA, wobei jeweils die Optimalwerte zur Auftragung gelangten. Die Kurven stellen auch heute noch Optimalwerte dar.

Die schweren Radschlepper auf dem Rhein haben etwa eine Flächenbelastung von 100 WPS/m². Aus diesem Diagramm ist zu ersehen, daß der gleiche spezifische Trossenzug, also hydrauliche Gleichwertigkeit, mit einem Tunnelschraubenschlepper dann erreicht werden kann, wenn die Flächenbelastung 175 WPS/m² beträgt, während bei Düsenschrauben noch eine Strahlflächenbelastung von 300 WPS/m² zulässig ist; oder, anders ausgedrückt, kann die Strahlfläche beim Tunnelschraubenschlepper auf 56 % und beim Düsenschraubenschlepper auf 26 % vermindert werden, um noch den gleichen spezifischen Trossenzug zu erreichen. Aus diesem Vergleich geht die große Überlegenheit von Düsenschrauben für das Schleppen eindeutig hervor. Dabei wird jedoch vorausgesetzt, daß für die Schraubenfahrzeuge Drehzahlen gewählt werden können (ev. durch geeignete Untersetzungsgetriebe), die für den jeweiligen Propellerdurchmesser optimal sind.

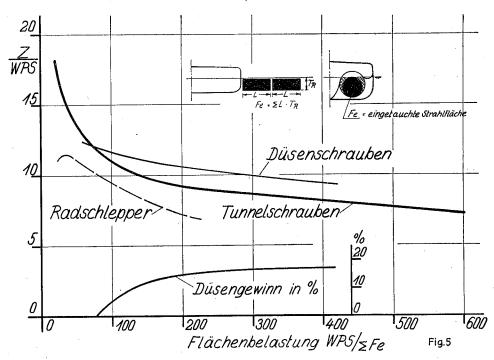


Bild 5 Maximale spezifische Trossenzüge von Flußschleppern bei einer Schlepp-geschwindigkeit von 12 km/h.

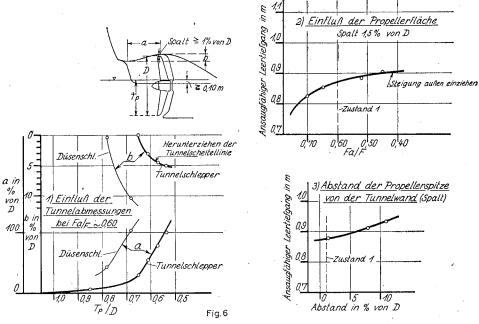


Bild 6 Konstruktionswerte für gutes Ansaugen von Propellern in Tunneln.

Bei stärkeren Schleppern müssen zur Unterbringung der erforderlichen Strahlflächen meist mehrere eingetunnelte Schrauben eingebaut werden, da der ausführbare Propellerdurchmesser durch die geringen Tiefgänge der Fußschlepper beschränkt ist. Das Maß der Propelleraustauchung in Ruhelage darf nicht übertrieben werden, weil sonst der Tunnel bzw. die Düse nicht mehr zuverlässig vollgesaugt werden können. Bild 6 zeigt (in Abhängigkeit vom Propellertiefgang) die möglichen Maßnahmen zur Verbesserung der Ansaugfähigkeit der Schrauben, wie Verlängerung des Tunnelüberstandes, Herunterziehen der Tunnelscheitellinie, Vergrößerung des Flächenverhältnisses (Fa/F) der Schrauben und Verminderung des Spaltes zwischen Propeller und Tunnel oder Düse. Diese Maßnahmen dürfen aber nicht übertrieben werden, da sonst die Wirkungsgradverbesserung durch den größeren Schraubendurchmesser durch Erhöhung des Schleppwiderstandes und des Schraubensogs nicht nur aufgehoben, sondern eventuell ins Gegenteil verkehrt wird, auch ist die Gefahr des Auftretens von Vibrationen bei zu geringem Spalt zwischen Tunnel und Propeller stärker.

Nach Erfahrungswerten aus Modell- und Großversuchen sollte bei Tunnelschleppern der Propellertiefgang nicht kleiner als 0,6 D und bei Düsenschleppern nicht geringer als 0,75 D sein, das Flächenverhältnis der Schrauben nicht über 0,6 betragen und der Spalt zwischen Propellerflügelspitzen und Tunnel bzw. Düse nicht kleiner als 0,015 D gewählt werden.

Bei Selbstfahrern, die nur gelegentlich auf Leertiefgang fahren, kann der Propellertiefgang noch auf etwa 0,55 D bei Tunnelschrauben und auf 0,7 D bei Düsenschrauben vermindert werden.

Der Propellerdurchmesser von Düsenschrauben muß also stets etwas geringer gewählt werden als bei gleichen Fahrtverhältnissen für Tunnelschrauben; zusätzlich vermindert sich der Schraubendurchmesser bei Düsenschiffen noch dadurch, daß die Unterkante Düse im allgemeinen nicht unter den Kiel hinausragen darf (Gefahr der Grundberührung). Im allgemeinen ist bei gleichwertigen Ansaug-Verhältnissen der Durchmesser von Düsenschrauben etwa 150 mm kleiner als bei Tunnelschrauben, wodurch natürlich ein Teil der oben angegebenen Überlegenheit der Düsen verloren geht.

Auf die gegenseitige Beeinflussung der Kähne im Schleppverband wurde bereits im ersten Abschnitt hingewiesen. Darüber hinaus wird aber der erste dem Schlepper folgende Kahn noch vom Abstrom der Antriebsmittel beeinflußt, vor allem, wenn er im Kielwasser des Schleppers liegt. Wie Modellversuche von Gebers [8] gezeigt haben, ist dieser Einfluß bei Radschleppern wegen der geringeren Strahlbeschleunigung kleiner als bei Schraubenschleppern. Ahnliche Versuche, die in der HSVA mit Kanal- und Flußschleppern durchgeführt wurden, zeigten, wie dieser Einfluß mit zunehmender Schlepptrossenlänge zurückgeht. Neuere Versuche in der VBD mit schleppenden Selbstfahrern zeigten weiter, daß dieser Einfluß mit der Wassertiefe abnimmt, da die Strahlenergie um so früher vernichtet wird, je näher der Flußboden ist.

Aus all diesen Ergebnissen wurde Bild 7 zusammengestellt. Aufgetragen wurde hier die Erhöhung der Fließgeschwindigkeit des am ersten Kahn vorbeiströmenden Wassers abhängig von der Schlepptrossenlänge für verschiedene Wassertiefen-Tiefgangsverhältnisse. Für die Praxis ergibt sich aus dieser Darstellung, daß die üblichen Schlepptrossenlängen von 120 m bis 150 m für den Unterlauf der Ströme mit ihren großen Wassertiefen unbedingt erforderlich sind. Dagegen kann auf dem Oberlauf, wo wegen der geringen Wasserbreiten und Krümmungsradien und der dadurch bedingten Unübersichtlichkeit lange Schleppzüge unerwünscht sind,

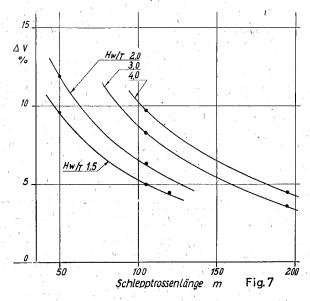


Bild 7 Erhöhung der mittleren Strömungsgeschwindigkeit am ersten Schleppkahn durch den Propellerstrahl des schleppenden Fahrzeuges (Schleppgeschwindigkeit ca. 12,5 km/h).

die Trosse vom schleppenden Fahrzeug zum ersten Kahn unbedenklich kürzer gewählt werden. Hinzu kommt noch, daß in der Praxis die Kähne etwas seitlich versetzt dem Schleppfahrzeug folgen, dem Strahleinfluß also nicht so stark ausgesetzt sind wie beim Modellversuch, bei dem die Kähne in der Kiellinie des Schleppers liegen. Andererseits wird der Widerstand seitlich versetzt geschleppter Kähne wieder erhöht durch das dauernd gelegte Ruder und die Schräglage der Kähne zur Fahrtrichtung.

Bei den bisherigen Betrachtungen blieb ein letzter Einfluß außer Ansatz, der für die Flußschiffahrt von Bedeutung ist: der Einfluß des strömenden Wassers, also Stromgeschwindigkeit und Stromgefälle.

Modellversuche in strömendem Wasser wurden erstmalig 1934 in dem 3 m breiten Strömungsgerinne der alten HSVA-Gebäude unternommen, bei denen ein Selbstfahrer gegen einen und mit einem Strom von 7 km/h (Großausführung) und in stehendem Wasser, bei gleicher Fahrwassertiefe fahrend, untersucht wurde (Bild 8) [9]. Auch wurden Untersuchungen über die Durchfahrtverhältnisse bei engen Brücken angestellt, die ergaben, daß durch Regulierung des Oberflächengefälles (durch Veränderung der Form der Brückenpfeiler) mehr an Antriebsleistung erspart werden kann als durch Veränderung der Schiffsformen [10]. In den letzten Jahren wurde ein größeres Versuchsprogramm für einen Selbstfahrer vom Typ "Gustav Koenigs" (Frei- und Schleppfahrt bei zwei Tiefgängen auf verschiedenen Wassertiefen und bei verschiedenen Stromgeschwindigkeiten) in dem etwa 10 m breiten Strömungskanal der VBD durchgeführt. Als Stromgeschwindigkeit wurde bei allen Versuchen die Höchstgeschwindigkeit im Stromstrich, also die Wassergeschwindigkeit angenommen, die etwa 20 % der Wassertiefe unterhalb der Wasseroberfläche in Kanalmitte auftrat.

Bei Fahrt gegen strömendes Wasser muß zunächst der Gefälleeinfluß überwunden werden, der sich dadurch ergibt, daß das zu Berg fahrende Schiff bildlich

gesprochen eine schiefe Ebene hinauffahren muß. Dieser Widerstand kann rechnerisch erfaßt werden, er ist gleich dem Schiffsgewicht, multipliziert mit dem Tangens des Neigungswinkels der Wasseroberfläche gegen die Horizontale. In Gebieten

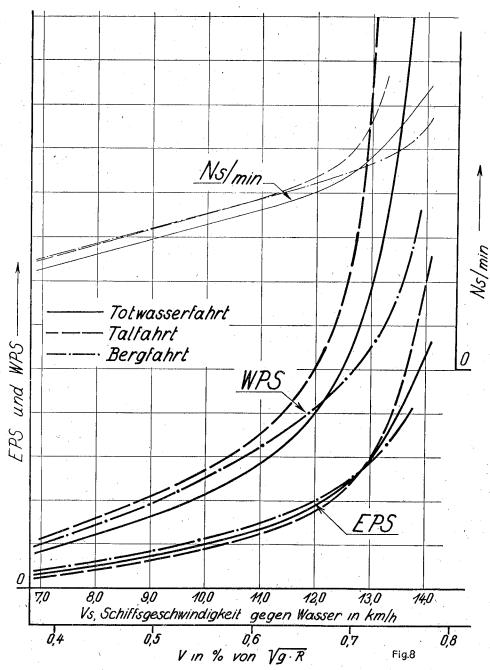


Bild 8 Einfluß der Stromgeschwindigkeit und des Oberflächengefälles auf den Leistungsbedarf eines Selbstfahrers.

mit hoher Stromgeschwindigkeit kann dieser Zusatzwiderstand mehr als 1/1000 des Gewichts betragen, also bei einem Schiff mit 1000 t Wasserverdrängung mehr als 1000 kg. Bei der Talfahrt wirkt der Gefälleeinfluß in gleicher Größe als Schubkraft, wodurch ein zu Tal treibendes Schiff eine größere Geschwindigkeit erreicht als der Strom.

Neben, diesem statischen Einfluß ist noch ein dynamischer Einfluß wirksam, nämlich eine Veränderung der Strömung am Schiff durch die Einwirkung der Flußströmung. Diese Veränderung wird erst bei höheren Stromgeschwindigkeiten und geringen Wassertiefen und in verstärktem Maße bei größerer Schiffsgeschwindigkeit wirksam. In extremen Fällen, z.B. beim Durchfahren von Stromhindernissen, kann dieser Einfluß die Schiffsgeschwindigkeit bis zu etwa 0,75 km/h einschließlich der Überwindung des Gefälles erhöhen. Auf den normalen Stromstrecken dagegen kommt der dynamische Einfluß noch nicht zu Auswirkung, und für die Überwindung des Gefälles ist eine entsprechend größere Leistung nötig.

Die Strömungsversuche sind so ausgewertet worden, daß für jede gewünschte Schiffsgeschwindigkeit, Wassertiefe und Stromgeschwindigkeit der erforderliche Korrekturfaktor aus einem Diagramm abgegriffen werden kann, so daß, ausgehend von Modellversuchen in stehendem Wasser, die Geschwindigkeit ermittelt werden kann, die sich für freifahrende Selbstfahrer durch den Einfluß von Stromgeschwindigkeit und Oberlächengefälle in der Praxis ergeben würde.

Unter Verwendung aller in der vorliegenden Arbeit angegebenen Unterlagen und Korrekturen sind Vergleichsrechnungen zwischen Schlepper, freifahrenden und schleppenden Selbstfahrern unternommen worden, deren Ergebnisse im folgenden mitgeteilt werden.

Bild 9 zeigt eine solche Rechnung aus dem Jahre 1950 für einen Seitenradschlepper von 1350 PSi (entspr. 1200 PSe) für die übliche Probefahrtstrecke auf dem Rhein zwischen Ruhrort und Köln bei 3 verschiedenen Wasserständen. Dabei wurden für zwei verschiedene Kahntypen (Rheinkahn und Kanalkahn) abhängig von der Anzahl der voll abgeladenen Kähne die Schleppgeschwindigkeit zu Berg gegenüber Land, die je PSi geschleppten Ladungstonnen und der zugehörige Transportgütegrad (tkm/PSi h) aufgetragen. Da die Einnahmen eines Schleppers von den stündlich geleisteten tkm abhängig sind, gibt der Transportgütegrad nicht nur einen Bezugswert für die hydrauliche Güte des Schleppers, sondern er läßt auch den wirtschaftlichsten Schleppzug und den wirtschaftlichsten Wasserstand der zu befahrenden Strecke erkennen.

Die Ergebnisse auf Bild 9 zeigen:

- 1. Der in der Schiffahrt für den Streckenabschnitt zwischen Ruhrort und Köln übliche Schleppanhang von etwa 4,1 t/PSi liegt für Mittelwasser nahezu am ermittelten Optimum. Die empirisch von der Praxis ermittelten Anhangstärken kommen also dem möglichen Bestwert sehr nahe.
- 2. Je höher der Wasserstand für ein bestimmtes Gebiet, um so kürzer muß der Schleppzug gewählt werden, weil der Widerstandsgewinn auf größerer Wassertiefe geringer ist als der Geschwindigkeitsverlust durch die höhere Stromgeschwindigkeit. (Das Gefälle wird nur so wenig erhöht, daß es auf die Fahrtergebnisse keinen merklichen Einfluß ausübt.)
- 3. Der Transportgütegrad steigt bei gleichwertigen Kahnformen mit der Tragfähigkeit der Schleppkähne.

4. Der höchste Transportgütegrad wird bei dem kleinsten untersuchten Wasserstand erreicht, woraus gefolgert werden kann, daß der für die Schiffahrt wirtschaftlichste Wasserstand derjenige ist, bei dem noch eben vollschiffig gefahren werden kann.

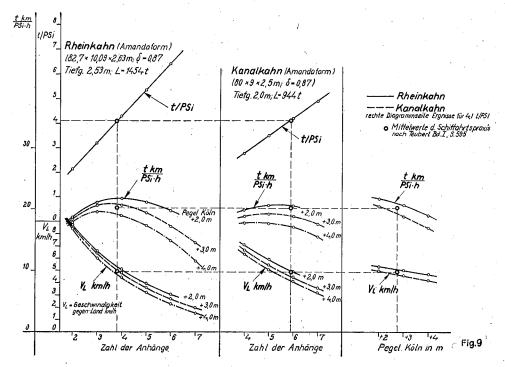


Bild 9 Bergfahrt auf der Rheinstrecke Duisburg—Köln mit einem Seitenradschlepper von 1350 PSi.

(Trossenlänge zwischen Schlepper und erstem Kahn ca. 120 m, Abstand zwischen den Kähnen ca. 80 m).

Der Vergleich zwischen einem Seitenradschlepper von 1350 PSi (1200 PSe) und einem gleichstarken modernen Zweischraubendüsenschlepper (Leistung 1200 PSe) ergibt bei Wahl eines Schleppzuges von 5660 t folgende Transportgütegrade:

- a) Streckenabschnitt Ruhrort—Köln, Wasserstand Pegel Köln (MW + 0,35 m)
 Radschlepper 18,8 tkm/PSih, bzw. 21,2 km/PSeh
 Düsenschlepper 22,0 km/PSeh
- b) Streckenabschnitt Ruhrort—Mannheim bei MW Radschlepper 21,5 tkm/PSih, bzw. 24,2 km/PSeh Düsenschlepper 25,2 km/PSeh

Für beide Reisestrecken ist also der Düsenschlepper dem Radschlepper bereits hydraulisch um etwa $4\,^{0}$ /o überlegen, was, wie schon früher ausgeführt, durch den Düseneffekt bedingt ist. (Flächenbelastung bei dem Radschiff ca. 100 WPS/m² Fe, beim Düsenschiff ca. 300 WPS/m² Fe, Fe = eingetauchte Strahlfläche; vgl. auch Bild 5).

Da sich die Neubauwerte beider Fahrzeuge etwa wie 1,7 (Radschiff) zu 1 (Düsenschiff) verhalten und auch die Besatzungskosten beim Radschiff höher sind, ist das Düsenschiff dem Radschiff wirtschaftlich beachtlich überlegen. Als Vorteil für das Radschiff verbleibt nur die wesentlich stärkere Überlastbarkeit der Dampfmaschine, die diesen Schleppertyp für das Durchfahren von Stromengen geeigneter macht.

Aus den bereits erwähnten Modellversuchen der VBD für einen Düsenselbstfahrer vom Typ "Gustav Koenigs" (Frei- und Schleppfahrt) sind für den Streckenabschnitt Ruhrort—Mannheim die Werte für Leistung/Ladungstonne, der Transportgütegrad und, als angenähertes Maß für die Wirtschaftlichkeit, die Einnahmen (aus Eigenfracht und Schlepplohn) errechnet worden. Als Frachtrate wurde hierbei 7,75 DM/Eigenladungstonne und als Schlepplohn 3,50 DM/geschleppte Tonne eingesetzt. Um den Einfluß durch die höhere Motorleistung nach Möglichkeit auszugleichen, wurden von den Gesamteinnahmen (Frachtrate + Schlepplohn) die Brennstoffkosten (0,055 DM/PSe h für Brennstoff und Schmierölverbrauch) abgesetzt ("Netto"-Einnahmen) und außerdem berücksichtigt, daß die Tragfähigkeit entsprechend dem höheren Maschinengewicht und dem größeren Brennstoffverbrauch mit steigender Antriebsleistung zurückgeht.

Einfluß der Leistung auf die Wirtschaftlichkeit bei Frei- und Schleppfahrt für einen Selbstfahrer vom Typ "Gustav Koenigs"

I Streckenabschnitt Ruhrort-Mannheim bei MW (Mittelwasser)

Tiefgang von Selbstfahrer und Kähnen 2,0 m

- a) Freifahrt,
- b) Schleppfahrt mit 1 Dortmund-Ems-Kanal-Kahn im Anhang,
- c) Schleppfahrt mit 2 Dortmund-Ems-Kanal-Kähnen im Anhang

	Leistung 300 PSe		Leistung 500 PSe			Leistung 700 PSe			
Fahrt- zu- stand	PSe/t	r km PSeh	Netto- einn. DM/h	PSe/t	t km PSeh	Netto- einn. DM/h	PSe/t	t km PSeh	Netto- einn. DM/h
a)	0,438	18,5	104,00	0,742	13,3	116,50	1,050	10,6	122,00
b)	0,208	21,8	85,50	0,349	19,0	118,00	0,500	16,0	134,50
c)	0,136	20,9	68,50	0,228	21,9	118,00	0,330	19,6	146,00

II. Streckenabschnitt Ruhrort—Mannheim bei NW (Niedrigwasser) Tiefgang von Selbstfahrer und Kähnen 1.6 m

1,000	a)	0.640	15,8	85,50	1,080	10,6	87.00	1,530	7,8	80,50
	1 ′				i i	,		· '	14,5	115,50
c) 0,190 27,7 95,00 0,320 22,6 122,00 0,450 18	c)	0,190	27,7	95,00	0,320	22,6	122,00	0,450	18,9	137,00

Der für MW angestellte Vergleich zeigt:

- 1. Bei Freifahrt bringt die Leistungssteigerung von 300 PSe auf 700 PSe noch eine klare Zunahme der Nettoeinnahmen (Gesamteinnahmen Brennstoffkosten).
- 2. Bei 300 PSe Antriebsleistung ist die Freifahrt günstiger als die Schleppfahrt,

bei 500 PSe Antriebsleistung sind Frei- und Schleppfahrt nahezu gleichwertig,

bei 700 PSe Antriebsleistung ist das Schleppen eindeutig günstiger.

Bei Niedrigwasser muß wegen der Tiefgangsbeschränkung mit verminderter Ladung gefahren werden, und die Ergebnisse verändern sich grundlegend:

- 1. Für die Freifahrt sind Leistungen über 500 PSe unwirtschaftlich.
- 2. Das Schleppen ist jetzt schon bei 300 PSe etwas günstiger, während es bei 500 PSe und 700 PSe eindeutig besser ist.
- 3. Bei Freifahrt werden bei NW wesentlich geringere Nettoeinnahmen erzielt als bei Fahrt auf MW mit voller Abladung; die prozentuale Unterlegenheit nimmt mit steigender Leistung zu.
- 4. Bei Schleppfahrt mit 300 PSe sind die Nettoeinnahmen bei Fahrt auf NW etwas größer als bei Fahrt auf MW,
 - bei Schleppfahrt mit 500 PSe sind die Nettoeinnahmen bei beiden Wasserständen fast gleichwertig,
 - bei Schleppfahrt mit 700 PSe werden auf MW etwas (ca. 6 bis 15%) geringere Nettoeinnahmen erzielt als bei MW, wobei die Unterlegenheit beim 2-Kahn-Schleppzug am geringsten ist.

Unberücksichtigt blieb bei diesen Vergleichen, daß die Liegezeiten für das Löschen und Laden des Selbstfahrers prozentual zur Fahrzeit beim freifahrenden Schiff höher sind als beim schleppenden Schiff. Außerdem nehmen auch die Gestehungskosten und die laufenden Unkosten mit der Größe der Antriebsleistung zu. Die in der Tabelle angegebenen Nettoeinnahmen stellen also keine absoluten Vergleichswerte für die Wirtschaftlichkeit dar.

Die folgende Tabelle zeigt einen Vergleich zwischen drei Selbstfahrern, und zwar werden verglichen ein Einschrauber vom Typ "Gustav Koenigs" mit einer Nennleistung von 500 PSe mit dem größten Selbstfahrertyp "Johann Welker" einmal als Einschrauber mit einer Nennleistung von 700 PSe und einmal als Zweischrauber mit einer Nennleistung von 2×500 PSe; alle 3 Schiffe sind mit Kort-Düsen ausgerüstet.

Vergleich verschiedener Selbstfahrer bei Freifahrt und Schleppfahrt auf dem Streckenabschnitt Ruhrort—Mannheim bei MW

- a) "Gustav Koenigs" Einschrauber mit Kortdüse, Leistung 500 PSe, Anhang Dortmund-Ems-Kanalkähne;
- b) "Johann Welker" Einschrauber mit Kortdüse, Leistung 700 PSe. Anhang Rhein-Herne-Kanalkähne;
- c) "Johann Welker" Zweischrauber mit Kortdüse, Leistung 2×500 PSe, Anhang Rhein-Herne-Kanalkähne.

ĺ	Freifahrt			Schleppf, mit 1 Kahn			Schleppf, mit 2 Kähnen			
		PSe/t	t km PSeh	Netto- einn. DM/h	PSe/t	t km PSeh	Netto- einn. DM/h	PSe/t	t km PSeh	Netto- einn. DM/h
	a)	0,742	13,30	116,50	0,349	19,00	118,00	0,228	21,90	119
	b)	0,750	15,05	191,50 (151,5)	0,354	21,85	198,00 (153,3)	0,232	24,35	191 (155)
A	c)	1,120	11,72	173,00 (175,0)	0,515	18,15	222,00 (177,0)	0,335	22,60	247 (179)

Aus dem Vergleich der Netto-Einnahmen ergibt sich:

- 1. Sowohl bei Freifahrt als auch bei Schleppfahrt sind die größeren Selbstfahrer dem kleineren überlegen.
- 2. Bei Freifahrt ist von den großen Selbstfahrern der Einschrauber am günstigsten.
- 3. Bei Schleppfahrt erzielt der Zweischrauber "Johann Welker" die höchsten Einnahmen.

Bei diesem Vergleich ist nicht berücksichtigt, daß die Baukosten und damit die Tageskosten der Fahrzeuge mit der Schiffsgröße und der Stärke und Antriebsleistung ansteigen. Setzt man voraus, daß die Tageskosten etwa proportional mit den Baukosten ansteigen, sich also wie 1 ("Gustav Koenigs") zu 1,3 (Einschrauber "Johann Welker") zu 1,5 (Zweischrauber "Johann Welker") verhalten, so müßten zur Erreichung gleichen Nutzens die stündlichen Nettoeinnahmen sich ebenfalls wie 1:1,3:1,5 verhalten (vgl. eingeklammerte Zahlen der Tabelle). Unter dieser Voraussetzung ergibt sich dann folgender Vergleich:

- 1. Bei Freifahrt sind der Einschrauber "Gustav Koenigs" und der Zweischrauber "Johann Welker" nahezu gleichwertig, während der Einschrauber "Johann Welker" ca. 30 % wirtschaftlicher ist.
- 2. Beim Schleppen ist der Zweischrauber "Johann Welker" um 25% bis 38% und der Einschrauber "Johann Welker" um 29% bis 23% wirtschaftlicher als "Gustav Koenigs", wobei die zweitgenannten Prozentzahlen für den Zweikahn-Schleppzug gültig sind.
- 3. Für Freifahrt und Schleppfahrt mit einem Kahn ist also der Einschrauber "Johann Welker" der bisher wirtschaftlichste Selbstfahrer.
- 4. Bei starken Schleppanhängen ist der Zweischrauber vom Typ "Johann Welker" überlegen.

Daß diese an Hand von Modellversuchsergebnissen und einigen Angaben aus der Schiffahrtspraxis entwickelten Erkenntnisse durch die Tatsachen bestätigt werden, zeigt die ständig wachsende Anzahl der Selbstfahrer vom Typ "Johann Welker".

Unter den gleichen Annahmen wie bei den vorhergehenden Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen für die Selbstfahrer soll jetzt ein Vergleich zwischen dem früher behandelten Zweischrauben-Düsenschlepper von 1200 PSe mit dem besten Selbstfahrertyp "Johann Welker" mit 700 PSe angestellt werden.

Bei etwa gleichwertigem Schleppanhang (0,21 PSe/t beim Schlepper und 0,23 PSe/t beim Selbstfahrer) erzielt der Schlepper Nettoeinnahmen von 230 DM/Fahrstunde gegenüber 232 DM/h beim Selbstfahrer. Da sich die Baukosten etwa wie 1,3 für den Schlepper zu 1 beim Selbstfahrer verhalten, müßte der Schlepper 1,3mal 232 DM/h = 300 DM/h einbringen, um mit dem Selbstfahrer gleichwertig zu sein. Dieser Vergleich ist aber für den Schlepper etwas zu ungünstig angestellt, weil bei ihm die Liegezeiten für Laden und Löschen wegfallen. Er kann also im Vergleich zum Selbstfahrer höhere Reisezeiten erreichen, wodurch die Wirtschaftlichkeit entsprechend zunimmt. Je kürzer die Reisestrecken sind, um so günstiger wird der Vergleich für den Schlepper, da die Liegezeiten je Reise gleich bleiben. Andererseits wird der Selbstfahrer um so günstiger, je längere Reisen vorgesehen sind. Dieses Ergebnis entspricht durchaus den Erfahrungen der Binnenschiffahrtspraxis.

Abschließend soll noch ein Vergleich der in Amerika üblichen Schubschleppmethode mit dem auf dem Rhein üblichen Schleppen angestellt werden. Wie schon im ersten Abschnitt dieser Arbeit mitgeteilt, ist der Gesamtwiderstand eng hintereinandergekoppelter Fahrzeuge geringer als die Summe der Einzelwiderstände, wobei der Widerstandsgewinn mit der Anzahl der Einzelfahrzeuge zunimmt. Außerdem vermindert sich der Widerstand des Schleppers hinter dem Schleppzug erheblich, weil er im Nachstrom der von ihm gestoßenen Fahrzeuge liegt.

Andererseits ist der Schleppgütegrad bei Schubschleppern ungünstiger als bei Zugschleppern, und zwar aus zwei Gründen: Erstens liegt, wie schon erwähnt, der Schubschlepper im Nachstromfeld der gestoßenen Einheit, wodurch die Propeller bei einem ungünstigeren Fortschrittsgrad arbeiten; ihr Propellerwirkungsgrad ist kleiner. Zweitens müssen bei Schubschleppern wegen der größeren Anforderungen an ihr Rückwärts-Manövriervermögen die Schraubentunnel hinter den Propellern bis etwas unter die Schwimmwasserlinie heruntergezogen und außerdem zusätzliche Rückwärtsruder eingebaut werden; durch diese Maßnahmen geht der Schleppgütegrad weiter zurück.

Nach Modellversuchen mit 2 verschieden langen Schubschleppzügen vor einem Zweischrauben-Düsenschubschlepper von 2×500 PSe ergeben sich für den Streckenabschnitt Ruhrort—Mannheim bei MW folgende Werte:

a) Schubschlepper mit 2mal 2 Finheiten:

Gesamt- Schleppzug- länge	PSe/t	t km PSeh	Nettoeinnahmen .DM/h
ca. 135 m	0,43	16,3	104,00

b) Schubschlepper mit 3mal 2 Einheiten:

	· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·		
- 1				
	: aa 105 ma	0.20	10.6	137 00
	Cd. 183 III	0,29	19,0	1.37.00 I

Die Ergebnisse zeigen erwartungsgemäß, daß die Schubschleppmethode sowohl hydraulisch als auch wirtschaftlich mit der Gesamtlänge des Schleppzuges zunimmt. Der Transportgütegrad beträgt 19,6 tkm/PSeh bei dem günstigsten angegebenen Schubschleppzug, während mit einem Normalschleppzug aus sechs 80 m langen Kähnen hinter einem 1200 PSe-Düsenschlepper ein Gütegrad von 25,2 erreicht wird. Dieser Schubschleppzug ist also einem auf dem Rhein üblichen Schleppzug aus 6 großen Kähnen um ca. 20 % unterlegen.

Nun ist aber aus einem umfangreichen Vergleichsprogramm mit gestoßenen und geschleppten Fahrzeugen bekannt, daß bei Zugrundelegung gleich großer Transportfahrzeuge (Länge und Tragfähigkeit) das Stoßen hydraulich bis zu 50 % günstiger sein kann als das Schleppen. Da außerdem die beim Stoßen üblichen Transportfahrzeuge einfacher gebaut und deshalb billiger sind als die bei uns üblichen Kähne gleicher Tragfähigkeit, und man noch dazu mit weniger Personal auskommt, wäre das Stoßen schon dann günstiger, wenn der Schubschleppzug mit dem üblichen Zugschleppzug hydraulich gleichwertig wäre. Das wäre aber auf dem Rhein etwa dann der Fall, wenn die Länge der einzelnen gestoßenen Einheiten ungefähr 60 m betragen würde. Ein Stoßschleppzug aus 6 dieser Einheiten hätte dann zusammen mit dem Schubschlepper eine Länge von

3 Fahrzeugpaaren von 60 m + Schubschlepper von 40 m = 220 m.

Bei diesem Vergleich sind für das Stoßen Leichter mit parabolisch hochgezogenen Enden zugrundegelegt worden. Wählt man dagegen Schleppzüge, bei denen nur das Bug- und Heckstück parabolisch aufgekrümmt sind, die aber sonst aus kastenförmigen Einheiten bestehen (integrated towboat), so daß die Übergangswiderstände zwischen den Leichtern vermieden werden, dann kann die Schubmethode noch etwas günstiger sein.

Ob sich die Schubmethode für europäische Verhältnisse einführen läßt, hängt im wesentlichen davon ab, ob Schubschleppzüge der erforderlichen Längen bei der sehr großen Verkehrsdichte, z.B. auf dem Rhein, noch eine ausreichende Manövrierfähigkeit besitzen.

Die Manövrierfähigkeit könnte durch einen kombinierten Bug- und Heckantrieb beachtlich verbessert werden (Westphal-Floß). Der Nachteil dieser Antriebsart besteht neben den höheren Baukosten darin, daß er in seinen Propulsionseigenschaften ungünstiger ist als ein reiner Heckantrieb. Immerhin haben die mit dieser Antriebsart durchgeführten Modellversuche und die mit der Großausführung gemachten Erfahrungen für ein Floß von 120 m Länge und einem L/B von ca. 23 gezeigt, daß eine vorzügliche Manövrierfähigkeit auch auf Kanalstrecken erreicht wurde. Im Modell war sogar eine Konstruktion geprüft worden, die den Kanalschleppzug hydraulich um fast 20 % übertraf. Da diese Konstruktion jedoch schlechter manövrierte als die Ausführungsform und man gerade in bezug auf Manövrierfähigkeit absolut sicher gehen wollte, wurden für die Erstausführung die ungünstigeren hydraulichen Eigenschaften in Kauf genommen.

Aus den angestellten Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen folgt als grundsätzliche Erkenntnis für den Wasserbau, daß für die Durchführung einer wirtschaftlichen Binnenschiffahrt die Wasserstraßen weitgehend für die größten Binnenschiffstypen ausgebaut werden müßten, wobei ein möglichst unveränderter Wasserstand für die einzelnen Fahrgebiete anzustreben ist, da nicht nur die niedrigen, sondern auch zu hohe Wasserstände ungünstig sind. Das Optimum liegt etwa bei einem Wasserstand, der gerade eben ausreicht, um eine volle Abladung der Fahrzeuge für die gesamte Fahrstrecke zu gewährleisten. Diese Idealforderung wird sich zwar nie in vollem Umfange befriedigen lassen, man sieht aber, daß der in den letzten Jahrzehnten auch mit Rücksicht auf andere wasserbauliche Gesichtspunkte beschrittene Weg für Flußregulierungen, wie Anlage von Staustufen und künstlichen Stauseen, durchaus auch im Interesse der Binnenschiffahrt liegt.

Steuerorgane

Bei den kleineren Kähnen waren Fahnenruder üblich, die mit einem Drehzapfen am Deck gelagert waren und mit einer Ruderpinne betätigt wurden (Hackebeilruder) (vgl. auch Bild 1, Ruderanordnung für "Berta" und "Olga"). Mit zunehmender Kahngröße mußten die Ruder wegen der Tiefgangsbeschränkung immer länger ausgeführt werden, so daß die zum Legen der Ruder erforderlichen Kräfte so groß wurden, daß sie nicht mehr direkt mit einer Ruderpinne beherrscht werden konnten. Deshalb wurden die Ruderkräfte mit einer Untersetzung auf ein Steuerrad übertragen. Um diese Untersetzung in vernünftigen Grenzen halten zu können, wurden die Ruder balanciert und später, bei weiter anwachsenden Schiffsgrößen und Geschwindigkeiten von Kähnen und Motorschiffen auf 2, 3 und mehr Ruderflächen aufgeteilt. Für die Balancierung der Ruder hat sich als günstigstes Verhältnis eine Balancierung von etwa 20 % der Fläche erwiesen. Bei höheren Balancierungen ergibt sich der Nachteil, daß das gelegte Ruder nicht selbsttätig in die Nullage zurückläuft, also vom Rudergänger zurückgedreht werden muß. Gerade bei Einfahrten in Schleusen haben sich die Mehrflächenruder bei Schraubenschiffen als sehr günstig erwiesen, weil bei stillstehender Schraube das Mittelruder wirkungslos wird und nur noch die seitlichen, in gesunder Strömung liegenden Ruder, wirken.

In neuerer Zeit sind auch verschiedene sogenannte Strahlruder entwickelt worden. Hierzu gehören die Kort-Drehdüse und das "Pleuger-Aktiv-Ruder". Die

extremsten Lösungen stellen die Kort-Steuerdüse und der Voith-Schneider-Propeller dar, bei denen der Propellerstrahl in jede beliebige Richtung gelenkt und zum Steuern verwendet werden kann.

Für die Binnenschiffahrt kommt hier als beste Lösung der VSP in Frage, in zweiter Linie (wegen der geringeren Propellerstrahlfläche) die Kort-Steuer- oder Drehdüse.

Die von einem normalen Ruder ausgeübten Steuerkräfte und die zum Legen des Ruders erforderlichen Ruderdrehmomente steigen mit zunehmendem Ruderwinkel und daneben noch mit dem Quadrat der Anströmgeschwindigkeit an. Bei völligen Hinterschiffen, die einen großen Nachstrom haben, ist daher die Steuerkraft kleiner als bei schärferen Hinterschiffen. Am größten sind diese Kräfte bei selbstangetriebenen Fahrzeugen, bei denen das Ruder zum überwiegenden Teil im austretenden Propellerstrahl liegt.

Bei Fahrt auf beschränkter Wassertiefe wird die Ruderkraft außerdem durch die Stauwelle beinflußt. Die Geschwindigkeit der Stauwelle beträgt bei Flußfahrt, wo mit praktisch unbeschränkter Wasserbreite gerechnet werden kann, $v_{kr} = \sqrt{g \cdot H}$, worin $g = Erdbeschleunigung in m/sec^2$ und H = Wassertiefe in m. (Bei Kanälen tritt neben der Wassertiefenbeschränkung auch die zusätzliche Breitenbeschränkung auf, und statt der Wassertiefe muß bei der Errechnung der Stauwellengeschwindigkeit der sogenannte hydrauliche Radius eingesetzt werden, wodurch die Stauwellengeschwindigkeit entsprechend kleiner wird.)

Bei einem selbstangetriebenen Fahrzeug, bei dem das Ruder hauptsächlich durch den Propellerstrahl beaufschlagt wird, kann sich dieser Stauwelleneinfluß zwar nicht so stark auswirken, bei einem Schleppkahn dagegen kann er dazu führen, daß die Steuerfähigkeit zunächst stark nachläßt, während bei noch höheren Geschwindigkeiten das Fahrzeug dem Ruder gar nicht mehr gehorcht, das Schiff also nicht mehr zu steuern ist.

Wie Modellversuche der VBD gezeigt haben, kann der Beginn dieses physikalisch bedingten Einflusses durch Wahl eines Hitzler-Ruders (Dreiflächen-Ruder) etwas hinausgezögert werden; völlig ausschalten läßt er sich durch keine der üblichen Ruderkonstruktionen (Bild 10). Die einzige Möglichkeit hierzu würde ein Strahlruder bieten, doch müßte die für den Strahlantrieb (Proppeller oder Voith-Schneider-Propeller) erforderliche Motorleistung so stark bemessen werden, daß der Kahn praktisch zum Selbstfahrer würde.

Die Wirksamkeit des Hitzler-Ruders in dieser Beziehung ist im wesentlichen darauf zurückzuführen, daß die beiden seitlich angeordneten Ruder außerhalb der Nachstromschleppe des Kahnes liegen. Sie werden also mit höherer Geschwindigkeit angeströmt, wodurch die Steuerkräfte erhöht werden.

Der größte Vorteil dieser Ruder liegt aber darin, daß die drei kurzen, gut ausbalancierten Ruder wesentlich geringere Drehmomente benötigen, der Steuermann also in der Lage ist, mit kleinstem Kraftaufwand schnelle und deshalb besonders wirksame Rudermanöver auszuführen, was mit einem normalen Kahnruder wegen des hier erforderlichen großen Kraftaufwandes oft nur unzureichend möglich ist.

Durch den Einfluß der Stauwelle ist der Schleppschiffahrt eine Geschwindigkeitsgrenze gesetzt, die mit Rücksicht auf ausreichende Steuerfähigkeit der Schleppkähne nicht überschritten werden kann. Nimmt man hierfür

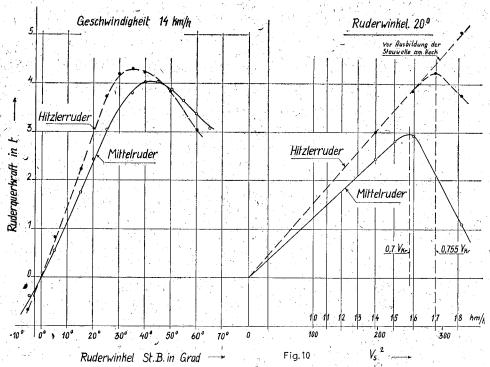


Bild 10 Ruderquerkraftmessungen an einem Schleppkahn (Wassertiefe 4,0 m; Tiefgang 1,75 m; $\delta=0.835$).

als höchstzulässigen Grenzwert etwa 70% der Stauwellengeschwindigkeit an, so ergeben sich für die Flußfahrt die folgenden, von der Fahrwassertiefe abhängigen Geschwindigkeiten:

Fahrwassertiefe	5,0	4,0	3,0	2,5	2,0
Grenzgeschwindigkeit km/h	17.7	15.8	13.7	12.5	11.1

Hieraus folgt, daß es nicht ratsam ist, bei Kähnen die Schleppgeschwindigkeit von 13 km/h zu überschreiten, da schon bei dieser Geschwindigkeit bei kurzfristigem Überfahren von seichten Stellen mit Wassertiefen unter 2,5 m die Gefahr besteht, daß der Kahn seinem Ruder nicht mehr gehorcht.

Zur Untersuchung der näheren Zusammenhänge zwischen Schiff, Ruder und beschränktem Fahrwasser ist in der VBD eine umfangreiche Untersuchung begonnen worden, die jedoch zur Zeit noch nicht abgeschlossen ist. Diese Untersuchung wird alle in der Binnenschiffahrt üblichen Ruderkonstruktionen erfassen.

Abteilung I — Binnenschiffahrt

Frage 3

Neue Verfahren für die Ausnutzung der Wasserkraft an Wasserstraßen. Ihre Rückwirkungen auf die Schiffahrt, auf den Entwurf und den Bau der wasserbaulichen Anlagen, insbesondere der beweglichen Wehre.

Von Prof. Dr. Ing. Heinrich Wittmann, Technische Hochschule Karlsruhe,

Direktor Dr.-Ing. Dr.-Ing. E. h. Heinz Fuchs, Vorstandsmitglied der Rhein-Main-Donau-A.G. München.

Zusammenfassung:

I. Für das Donaukraftwerk Jochenstein wurden an einem wasserbaulichen Modell die Einflüsse des Turbinenschnellschlusses auf die Schiffahrt untersucht. Im Schleusenbereich sind dabei weniger die absoluten Höhen, als die Neigungen der Schwallwellen maßgebend. Da ohne Gegenmaßnahmen die bei Vollabschluß auf ein Schiff wirkenden Kräfte untragbar für die Schiffahrt waren, wurden zahlreiche hydraulische Entlastungsmöglichkeiten untersucht, als deren zweckmäßigstes Ergebnis eine Vergrößerung der Leerlaufwassermenge von 8 und 30 % erscheint. Ferner empfiehlt es sich, den Turbinenschließvorgang von 7 auf 10 sec zu verändern (Schwallsteuerung) und gleichzeitig die Wehrverschlüsse mit der kleinstmöglichen Verzögerung abzusenken.

Durch Untersuchungen der Fa. Voith, Heidenheim, wurden die Druckschwankungen im Saugrohrkrümmer bei Abschaltung auf eine vergrößerte Leerlaufwassermenge ermittelt. Wird gleichzeitig eine Drehzahlvermehrung um 30 % zugelassen, dann wachsen die Druckschwankungen recht erheblich an. Obwohl bei einer ausreichenden Belüftung durch das Wasserführungsschild des Laufrades die Druckschwankungen gedämpft werden können, sollte eine länger dauernde wesentliche Drehzahlvermehrung nicht zugelassen werden. Durch Messungen im Bauwerk selbst wurde festgestellt, daß beim Leerlauf mit vergrößerter Überwassermenge und beim Abschalten auf eine vergrößerte Leerlaufwassermenge keine Schwankungen und Erschüttenungen auftreten, die den Eindruck machen, daß sie das Bauwerk ungünstig beanspruchen oder gar gefährden.

Bei einem weiteren Abschaltversuch konnten die am Modell ermittelten Zusammenhänge zwischen Wasserspiegelneigung, Schiffsneigung und Trossenkraft eines in der Schleuse verhefteten Schleppkahnes bestätigt werden. Demnach folgt ein Schleppkahn fast unmittelbar der Neigung der Schwallwelle und erfährt eine Belastung von der Größe $P=G\times J$. Wird die durchhängende Trosse durch die Schiffsbewegung gestrafft, dann kann die Trossenkraft ein Vielfaches dieses Wertes erreichen.

II. Bei der Mainstaustufe Gerlachshausen-Volkach wird eine größere Leistung dadurch erreicht, daß das Kraftwerk in eine Turbine neben dem Wehr im Fluß am Beginn der Mainschleife sowie in eine Turbine bei den Schleusen am Ende des Durchstichkanales getrennt wird.

Durch Modellversuche konnte eine Lösung gefunden werden, bei der der Kraftwerksbetrieb die Schiffahrt im Durchstich und insbesondere im Bereich der Schleusen nicht behindert. Dem zwischen den beiden Schleusen gelegenen Kraftwerk wird dabei die Triebwassermenge durch zwei seitliche Einläufe und unmittelbar durch den eigentlichen Kraftwerkseinlauf zugeführt. Bei Turbinenschnellschluß entstehen im Oberwasser Schwallhöhen von etwa 10 cm. Die zusätzliche Belastung, die dadurch ein in der Schleuse liegendes Schiff erfährt, ist unbedeutend; für ein ausfahrendes Schiff erreicht die Schwallkraft einen ohne Beeinträchtigung der Schiffahrt zulässigen Wert.

An einem Kraftwerksmodell wurden bei der Fa. Voith, Heidenheim, verschiedene Entlastungsanlagen untersucht. Ein Schütz oder eine Drehklappe in der Unterwasserseite der Spiralwand werden aus turbinentechnischen Gründen abgelehnt. Die besten Ergebnisse konnten mit einer horizontalen Drehklappe über dem Turbineneinlauf erzielt werden.

Literatur:

 "Schwall- und Sunkversuche für das Donaukraftwerk Jochenstein" Unveröffentlichter Versuchsbericht des Flußbaulaboratoriums der T. H. Karlsruhe

- [2] Wittmann: "The application of new electrical Measuring devices in hydraulic experimental work" Bericht B 5, Internationaler Kongreß für wasserbauliches Versuchswesen, Den Haag 1955
- [3] Wittmann: "Wirkung von Kraftwerksschwallen auf die Fahrwassertiefen" XVIII. Internationaler Schiffahrtskongreß, Rom 1953 Abt. I, Frage 1 b
- [4] "Leerlaufversuche für das Kraftwerk Jochenstein" Unveröffentlichter Versuchsbericht der Fa. Voith, Heidenheim
- [5] Voaden: "Runaway speed of Kaplan Turbines" Transactions of the ASME, 1952, Vol. 74, No. 6
- [6] "Schwall- und Sunkversuch am Donaukraftwerk Jochenstein am 8. Juni 1956" Beitrag des Flußbaulaboratoriums der T. H. Karlsruhe zu einem unveröffentlichten Bericht der Donaukraftwerk Jochenstein AG.
- [7] "Vorläufiger Bericht über den Schwall- und Sunkversuch am Donaukraftwerk Jochenstein am 8. Juni 1956". Unveröffentlichter Bericht der Donaukraftwerk Jochenstein AG.
- [8] "Abschaltversuche im Kraftwerk Jochenstein am 25. Januar 1956" Untersuchung des Bauwerks auf die Erschütterungen und Bewegungen. Unveröffentlichter Bericht des Material-Prüfungsamtes der T. H. München
- [9] Steinhauser: "Energieausnutzung an der Mainstrecke Würzburg—Bamberg der Großschiffahrtsstraße Rhein—Main—Donau" Bericht 209 H/33, Fünfte Weltkraftkonferenz Wien 1956
- [10] "Modellversuche für das Kraftwerk Gerlachshausen"

Unveröffentlichter Versuchsbericht des Flußbaulaboratoriums der T.H. Karlsruhe

[11] "Modellversuche Gerlachshausen" Unveröffentlichter Versuchsbericht der Fa. Voith, Heidenheim

*	Sei	te
Gliederung:	Vorwort	59
* .	I Donaukraftwerk Jochenstein	60
	1. Ergebnisse von wasserbaulichen Modellversuchen des Kraftwerkes(Flußbaulaboratorium der TH Karlsruhe)	60
	2. Versuchsergebnisse der Firma Voith, Heidenheim	65
	3. Messungen in der Natur	66
	4. Schlußfolgerung	72
	II Mainstaustufe Gerlachshausen	72
4	1. Energiewirtschaftliche Grundlagen	72
	Ergebnisse der wasserbaulichen Modellversuche (Flußbaulaboratorium der TH Karlsruhe)	7 3
	3. Versuchsergebnisse der Firma Voith, Heidenheim	76
	4. Bauausführung	79

Vorwort

Der ständig wachsende Bedarf an elektrischer Energie zwingt dazu, neben dem Ausbau der nichtschiffbaren Hoch- und Mittelgebirgsflüsse mehr und mehr auch Flüsse und Ströme heranzuziehen, die bisher im wesentlichen der Schiffahrt vorbehalten waren. Es beeinflussen sich in solchen Fällen Energieerzeugung und Schiffahrt, wobei die ältere Nutzung zwar zu gewährleisten, aber nicht als allein vorherrschend anzusehen ist. Die voneinander verschiedene Betriebsart der beiden Nutzungen erfordert jedoch besondere Anlagen und gegenseitige Rücksicht z.B. derart, daß die größten Füll- und Entleerungswassermengen der Schleusen so begrenzt werden, daß das Kraftwerk bei dem gegebenen Wasserdargebot noch wirkungsvoll betrieben werden kann. Andererseits braucht der Schiffahrtsverkehr, um reibungslos abzulaufen, an den Schleusen großzügige Vorhäfen, in denen ein-

und ausfahrende Schiffe und Schiffszüge durch die zu- oder abströmende Kraftwassermenge nicht behindert werden. Im allgemeinen und bei Beschränkung auf ein erprobtes Maß kann die Schiffahrt vom Anfahren der Turbinen auf Voll- oder zeitweise Überlast rechtzeitig unterrichtet werden. Ein Ausfall des Energienetzes dagegen, der an der Laufkraftstufe automatisch und plötzlich zu einschneidenden Veränderungen des Betriebszustandes von Kraftwerk und Wehr führt, trifft den Schiffahrtsbetrieb völlig unvorbereitet. Es müssen daher Maßnahmen getroffen werden, um in solchen Fällen die Schiffahrt vor Schäden zu bewahren.

Über die gegenseitigen Abhängigkeiten von Schiffahrts- und Kraftwerksbetrieb, über die Möglichkeiten ihrer Beeinflussung und über die Methodik des Betriebs soll an Hand zweier praktischer Beispiele berichtet werden.

I. Donaukraftwerk Jochenstein

1. Ergebnisse von wasserbaulichen Modellversuchen bei plötzlicher Entlastung des Kraftwerkes [1]

(Flußbaulaboratorium der Technischen Hochschule Karlsruhe)

Die Laufkräftstufe Jochenstein staut die Donau unterhalb von Passau durch ein Wehr mit 6 Offnungen von je 24,0 m lichter Weite auf, die durch 6 gleiche Doppelhakenschütze von 11,80 m Konstruktionshöhe verschlossen sind. Die Fallhöhe ($H_a=9,6$ m) wird im Kraftwerk durch 5 Turbinen mit einer Nenn-Schluckfähigkeit von zusammen $Q_a=1750$ m³/s ausgenutzt. Stau- und Kraftwerkskörper sind voneinander getrennt. Kraftwerks- und Wehrachse liegen auf einem Bogen vom Radius R=1500 m, wobei das Kraftwerk links vom Wehr am Innenbogen der Stromkrümmung angeordnet ist. Die Schiffahrt umgeht Wehr und Kraftwerk durch einen 1200 m langen Kanal, in dem die Fallhöhe durch 2 Schleusen von je 24 m lichter Breite und 230 m Länge überwunden wird (Bild 1):

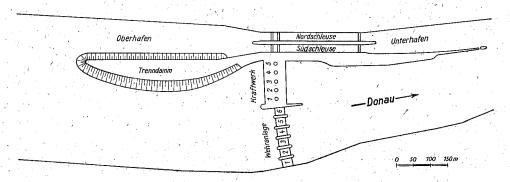


Bild 1 Donaukraftwerk Jochenstein, Grundriß.

Da die Schiffahrtsanlagen zweckentsprechend angeordnet und gebaut sind, beeinflussen sich Kraftwerks- und Schiffahrtsbetrieb solange nicht unmittelbar, als das Kraftwerk normal betrieben wird. Fällt jedoch ausnahmsweise das Energienetz aus, so sperren infolge der gleichzeitigen und plötzlichen Entlastung der Generatoren die automatischen Regler den Zufluß zu den Turbinen in kurzer Zeit auf 8—10 % der Vollwassermenge ab. Die plötzliche Verminderung der Durchflußmenge erzeugt im Oberwasser einen Stau- oder Absperrschwall, im Unterwasser einen Absperrsunk.

Beide Erscheinungen könnten bei den in Jochenstein vorhandenen Größenverhältnissen für die Schiffahrt gefährlich werden, wenn geeignete Gegenmaßnahmen nicht rasch zur Wirkung kämen. Als solche stehen für sich oder in Verbindung miteinander zur Wahl: Umsetzung der ausfallenden Energie in Wärme (Wasser- oder Metallwiderstände), Ableitung der überschüssigen Wassermenge in besonderen Entlastungskanälen, Vergrößerung der Leerlaufwassermenge oder Verlängerung der Schließzeit der Turbinen soweit dies die Massivbauteile des Kraftwerks zulassen, und endlich Schnellsenken der Wehrverschlüsse zur raschen Ableitung der Ausfallwassermenge.

Da die Schwall- und Sunkwellen durch Auflaufen am Ufer des gekrümmten Flußlaufes, durch Reflexionen und durch Querschnittsänderungen einen dauernden Wechsel an Höhe, Form, Richtung und Laufgeschwindigkeit erfahren, ist eine exakte Berechnung kaum möglich. Zu ihrer genaueren Erfassung wurden daher für das Donaukraftwerk Jochenstein — unter Beschränkung auf den Oberwasserbereich — Modellversuche im Maßstab 1:55 ausgeführt. Die Wasserspiegelbewegungen, die nach dem Froude'schen Ahnlichkeitsgesetz auf die Natur umgerechnet werden können, wurden an 40 über die ganze Modellstrecke verteilten Pegeln erfaßt [2]. Die Modellversuche sollten gleichzeitig dazu dienen, geeignete hydrauliche Maßnahmen zu finden, durch die schädliche Schwall und Sunkerscheinungen vermieden werden.

Die Ausbreitung und Verformung der von der Krafthausbucht ausgehenden Schwallwellen wurden für das Rheinkraftwerk Birsfelden in dem Beitrag "Wirkung von Kraftwerksschwallen auf die Fahrwassertiefen" des Schiffahrtskongresses 1953 in Rom ausführlich behandelt [3]. Da die Ausbreitungs- und Verformungsvorgänge beim Donaukraftwerk Jochenstein wegen des ähnlichen Grundrisses annähernd gleich sind, beschränken sich die folgenden Ausführungen im wesentlichen auf die Wasserspiegelbewegungen im Schiffahrtsbereich und die Möglichkeiten ihrer Verminderung.

Erreicht die stromauf laufende Schwallwelle die Einfahrt des oberen Vorhafens (Bild 1), so erzeugt die Wasserspiegeldifferenz zwischen Strom und Schleusenvorhafen eine in den Vorhafen einlaufende Hebungswelle, deren Front eine langgestreckte Neigung besitzt. In dem sich verengenden Vorhafen nehmen Höhe und Neigung der Hebungswelle zu, in verstärktem Maße an der fast plötzlichen Querschnittsverengung der Schleusenhäupter. Die vereinfachende Annahme einer sprunghaften Verdoppelung der Wellenhöhe am Unterhaupt ist nur theoretisch. In Wirklichkeit überlagert sich die Reflexion der langen, flach geneigten Wellenfront am Schleusenuntertor allmählich, so daß die Hebung des Wasserspiegels bis zur totalen Reflexion ein stetiger Vorgang ist (Bild 2). Infolge der Querschnitts-

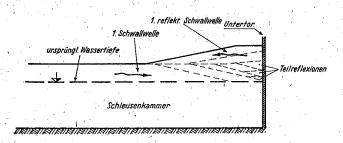


Bild 2 Überlagerung einer ersten Schwallwelle und ihrer Reflexion am Untertor.

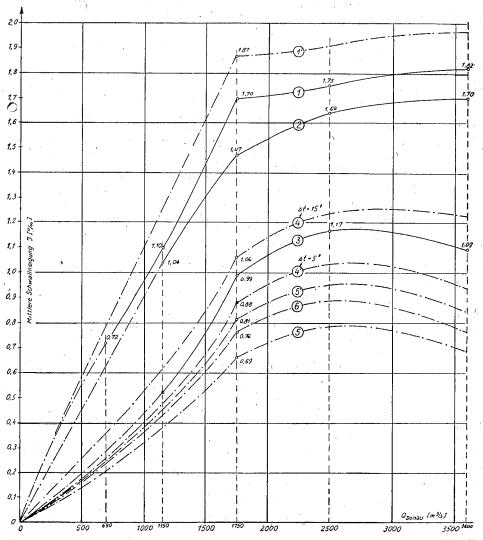


Bild 3 Donaukraftwerk Jochenstein. Im Modell ermittelte Verminderung der Schwallneigung in der Schleuse.

- Kurve (1) Abschluß der Turbinen auf $\rm Q_{L}=150~m^3/s$ in 7 sec; ohne Wehrbedienung.
- Kurve (2) Abschluß der Turbinen auf $Q_L=150~\rm{m}^3/\rm{s}$ in 7 sec; Senken der Oberschütze mit 15 sec. Verzögerung.
- Kurve (3) Abschluß der Turbinen auf 0,5 \times Q in 7 sec, von 0,5 \times Q auf Q_L = 150 m³/sec in 66 sec; Senken der Oberschütze mit 15 sec Verzögerung.
- Kurve (4) Abschluß der Turbinen auf 0,3 \times Q_a in 7 sec, von 0,3 \times Q_a auf Q_L = 150 m³/s in 66 sec; Senken der Oberschütze mit 5 bzw. 15 sec Verzögerung.
- Kurve (5) Abschluß der Turbinen auf 0,3 \times Q in 10 sec, von 0,3 \times Q auf Q_L = 150 m³/s in 66 sec; Senken der Oberschütze mit 5 sec Verzögerung.

Kurve (6) wie Kurve (5), jedoch Senkgeschwindigkeit C = 4.14 cm/s. Kurven (1') und (5'): nur ein Obertor geöffnet.

Kurven (1) bis (6) und (4'): beide Obertore geöffnet.

änderungen und Reflexionen entstehen in der Schleusenkammer abwechselnd Schwall- und Sunkwellen, die eine nur schwach gedämpfte Schwingung hervorrufen.

Nach den Modellversuchen nimmt ein vom Schwall getroffenes Schiff die gleiche Neigung ein wie der Wasserspiegel, wenn nur die Schwallwelle länger ist als das Schiff. Diese Voraussetzung ist hier gegeben. Dabei erfährt das Schiff bei einem Bruttogewicht G

die Längskraft $P = G \times \sin \alpha (t)$

oder, da für kleinere Werte von $\alpha \sin \alpha \approx \operatorname{tg} \alpha = J$,

$$P = G \times J(t)$$

wobei J = Wasserspiegelneigung = Schiffsneigung.

Für den Einfluß der Schwallwellen auf die Schiffahrt ist also nicht nur ihre absolute Höhe, sondern entscheidender ihr Gefälle maßgebend.

Bei Abschluß der 5 Turbinen in 7 sec auf eine Leerlaufwassermenge von $8\,^{0}/_{0}$ der Ausbauwassermenge nahm die im Modell gemessene Neigung der Schwallwelle in den Schleusenkammer bis $Q_{a}=1750~\text{m}^{3}/\text{s}$ annährend linear zu. Mit steigendem Abfluß in der Donau wächst die Neigung der Hebungswelle nur noch wenig an (Bild 3). Sind die Obertore beider Schleusenkammern geöffnet, dann hat die Schwallwelle in den Kammern für $Q_{a}=1750~\text{m}^{3}/\text{s}$ eine Neigung von 1,70 ‰ (Kurve 1). Ist nur eine Kammer offen, beträgt die Neigung sogar 1,87 $^{0}/_{00}$ (Kurve 1').

Ein mit oder gegen die Schwallfront fahrendes oder ein in der Schleuse liegendes Schiff erfährt somit eine Längskraft von $P=G\times 1,7/1000$ bzw. $G\times 1,87/1000$ (t). Für einen 1000 t-Kahn mit 1240 t Bruttogewicht ist diese Längskraft mit 2,11 bzw. 2,32 t weitaus größer als die bei Schleusenfüllungen zugelassene Längskraft von 1,6 t. Ist der vom Schwall getroffene Schleppkahn mit einer Trosse verheftet und die Trosse gestrafft, so hat sie die entsprechende Komponente der oben ermittelten Kraft aufzunehmen. Hängt dagegen die Trosse schlaff, dann bewegt sich das Schiff und erlangt dabei eine kinetische Energie von der Größe

$$P' \times s = m \times v^2/2$$

Bei Straffung der Trosse ist ihre Belastung P' wesentlich von der Geschwindigkeit v und dem Bremsweg s abhängig. Sie kann ein Vielfaches der Kraft $P=G\times J$ betragen. Ein lose in der Schleusenkammer liegendes Schiff wird so lange beschleunigt, bis es eine konstante Geschwindigkeit erreicht hat. Das Schiff bewegt sich dann, bis es entweder am Untertor anstößt, oder infolge Anderung der Wasserspiegelneigung seine Bewegungsrichtung ändert.

Um diese Einwirkungen der Schwallbewegungen auf die Schiffahrt zu vermindern, wurden im Modell folgende Möglichkeiten der Schwallentlastung untersucht:

- 1. Senken der Wehrverschlüsse mit und ohne Verzögerung,
- 2. Verlängerung der Turbinenschließzeit,
- Vergrößerung der Leerlaufwassermenge ohne und mit Senken der Wehrschlüsse.

Wird bei Ausfall der Turbinen lediglich eine entsprechende Anzahl von Wehrverschlüssen mit der vorgesehenen Verzögerung von 15 sec und einer Geschwin-

digkeit von 6,5 cm/s gesenkt, dann können die Schwallhöhen und -neigungen nur wenig verringert werden (Bild 3, Kurve 2). Auch wenn die Wehrverschlüsse gleichzeitig mit dem Beginn des Turbinenschließens gesenkt werden, ist die Abnahme der Schwallbewegungen nur gering. Ein wirksamer Einfluß auf Höhe und Form der Schwallwellen ist erst dann zu erwarten, wenn die nichtstationäre Wehrwassermenge fast ebenso rasch zunimmt wie die Turbinenwassermenge gedrosselt wird. Das läßt sich aber nur erreichen, wenn die Wehrverschlüsse, ähnlich wie beim Rheinkraftwerk Birsfelden, schnell gesenkt werden. Dort werden die Antriebsmotore ausgekuppelt und die mit 15 cm/s freifallenden Schütze durch Oldruckbremsen abgefangen.

Bei größerer oder kleinerer Turbinenschließzeit ändern sich hauptsächlich die Spitzenwerte und in ganz geringem Maße die Neigungen der Schwallwelle, dagegen bleibt die mittlere Schwallhöhe annähernd gleich, da auch die Wassermengenänderung ΔQ (Ausfallwassermenge) die gleiche bleibt.

Merklich vermindert wird die Schwallneigung, wenn die Leerlaufwassermenge vergrößert wird, wenn also nicht nur die gesamte Ausfallwassermenge $\triangle Q$, sondern auch die sekundliche Wassermengenänderung $\triangle Q/\triangle t$ vermindert wird. So konnte für die Ausbauwassermenge $Q_a=1750$ m $^3/s$ bei einem Abschluß aller Turbinen auf $0.3 \times Q_a$ in 7 sec ohne Senken der Wehrverschlüsse die Neigung der Schwallwelle auf 1.29 % reduziert werden. Bei Abschluß auf eine Leerlaufwassermenge von $0.5 \times Q_a$ nahm die Schwallneigung sogar auf 1.04 % ab. Wird zusätzlich bei einem Abschluß auf $0.3 \times Q_a$ die Turbinenschließzeit auf 10 sec verlängert, dann kann die Neigung der Hebungswelle in der Schleuse auf 1.09 % gegenüber 1.29 % bei 7 sec Schließzeit vermindert werden. Der Wasserspiegel hebt sich dabei um maximal 70 cm.

Werden bei der vergrößerten Leerlaufwassermenge auch noch die Wehrverschlüsse mit 15 sec Verzögerung und einer Geschwindigkeit von 6,5 cm/s gesenkt, so ist eine wesentliche Verminderung der Schwallneigung gegenüber den Versuchen ohne Wehrbedienung nicht festzustellen (Kurven 3 und 4). Dem Wehrsenken fällt dabei lediglich die Aufgabe zu, den Wasserspiegel in räumlichen und zeitlichen Mittel auf Höhe des Stauzieles zu halten. Der Einfluß des Wehrsenkens auf die Schwallneigung war bei den Modellversuchen erst zu erkennen, wenn die Wehrverschlüsse mit 5 sec oder weniger Verzögerung abgesenkt wurden (Bild 3, Kurve 4').

Als wichtigstes Ergebnis der Modellversuche ist folgender praktisch durchführbare Betriebsfall anzusehen (Bild 3, Kurve 5): Drosselung der Turbinen in 10 sec auf $0.3 \times Q_a$, in weiteren 66 sec auf $Q_L = 0.08 \times Q_a$ und Senken der Oberschütze 5 sec hach Beginn des Turbinenschließens mit c = 6.5 cm/s. Die hierfür bei $Q_a = 1750$ m³/s in den beiden Schleusenkammern gemessene Neigung der Schwallwelle von 0.69 % kann für die Schiffahrt als ungefährlich angesehen werden. Ist nur eine Schleusenkammer geöffnet, so nimmt die Schwallneigung auf 0.81 % zu (Kurve 5').

Werden bei sonst gleichen Betriebsbedingungen die Oberschütze anstatt mit 6.5 cm/s mit c=4.14 cm/s abgesenkt, so beträgt die Neigung der Hebungswelle in beiden geöffneten Schleusenkammer $0.76 \, \text{\%}$ (Kurve 6). Auch dieser Wert kann als noch ungefährlich für die Schiffahrt gelten.

Im Unterwasser ist eine Verminderung der Sunkbewegungen im gleichen Maße zu erwarten.

2. Versuchsergebnisse der Fa. Voith, Heidenheim [4]

Durch die Untersuchungen der Fa. Voith sollten von der turbinentechnischen Seite die Möglichkeit einer vergrößerten Leerlaufwassermenge und eine zu erwartende Belastungssteigerung im Saugrohrkrümmer überprüft werden.

Bei einer Kaplanturbine ist für eine bestimmte Drehzahl außer dem Leerlauf mit dem Wassermengenminimum von $8\,^0/_0$ der Vollwassermenge auch noch bei jedem Laufradwinkel ein Leerlaufbetrieb möglich. Die erforderliche Leerlaufwassermenge ist um so größer, je größer der Laufradwinkel ist, dem jeweils eine bestimmte Leerlaufstellung des Leitrades zugeordnet ist.

Theoretisch könnte ein Schwall völlig vermieden werden, wenn bei voller Laufradöffnung und vergrößerter Drehzahl die Vollwassermenge im Leerlaufbetrieb durch die Turbine abgeführt würde. Bei einem derartigen Betriebszustand treten jedoch wegen der geringen Laufschaufelbelastung in der Austrittsströmung des Laufrades sehr große Rotationskomponenten auf. Die Folge davon ist, daß sich in der Austrittsströmung ein Totwasserkern und einzelne Wirbelschläuche bilden, die sich mit einer bestimmten Frequenz um diesen Kern drehen. Diese Wirbel, die unter Umständen in ihrem Innern Dampfkavernen enthalten, verursachen heftige Schläge gegen die Saugrohrwand und periodische Schwankungen der Durchflußmenge, die zu schweren Erschütterungen des ganzen Bauwerks führen können [5]. Ganz besonders gefährdet erscheint die schräg angeströmte Saugrohrstützwand.

Durch geeignete Belüftung gelingt es, die Wucht dieser Schläge und die Erschütterungen wesentlich zu dämpfen. Bei der großen Durchflußmenge einer Kaplanturbine ist für eine ausreichende Dämpfung auch eine relativ große Luftmenge erforderlich. Deshalb sind die Einlaßöffnungen für die Zusatzluft an solche Stellen zu legen, an denen gegenüber der Atmosphäre Unterdruck herrscht, so daß die Belüftung ohne eine umfangreiche Kompressoranlage bewerkstelligt werden kann.

Für eine Luftzufuhr in die Turbinenströmung bestanden 2 Möglichkeiten:

- a) Luftzufuhr am Wasserführungsschild vor dem Laufrad,
- b) Zentrale Belüftung des Raumes hinter dem Laufrad durch die Welle.

Die Messungen an einer Modellturbine im Maßstab 1:10,3 ergaben, daß an der Lufteinlaßstelle am Wasserführungsschild für den ganzen Fallhöhenbereich und bis zum größten Laufradwinkel-ausreichender Unterdruck herrscht, um die notwendige Luft zu fördern. Die erforderlichen Querschnitte für die Einlaßlöcher sind an dieser Stelle leicht unterzubringen. Für eine zentrale Belüftung durch die Turbinenwelle wurden Druckmessungen am Zentrum der Laufradnabe vorgenommen. Die Unterdrucke waren aber dort nur halb so groß wie am Wasserführungsschild. Außerdem wäre es bei der augenblicklichen Bauweise auch nicht möglich, in der Turbinenwelle die Querschnitte für die großen Luftmengen zu schaffen.

Druckmessungen an den Seitenwänden, an der Innenkrümmung und an der Sohle des Saugschlauches zeigten, daß bei allen untersuchten Fallhöhen und Laufradwinkeln noch Überdruck herrscht. Den mittleren Drücken sind dabei recht beträchtliche Druckschwankungen überlagert, deren Größe mit der Einheitsdrehzahl und der Wassermenge anwächst. Auch an der Saugrohrsohle konnten während des Leerlaufbetriebes keine Strömungen mit hohen Unterdrücken, die zu einer Zerstörung der mit Platten belegten Sohle Anlaß geben könnten, festgestellt werden.

Besonders beansprucht erscheint dagegen beim Leerlaufbetrieb die Stützwand im Saugrohr. Bei der linksdrehenden Turbine wurden bei einer Drehzahlerhöhung um 30 % am oberen Ende der rechten Stützwandseite (in Strömungsrichtung gesehen) die größten Unterdrücke gemessen. Ihnen sind Schwankungen im Betrage von etwa \pm 14 % der Fallhöhe überlagert. Durch Luftzufuhr konnten die Druckschwankungen auf etwa die Hälfe vermindert werden. Da jedoch nicht mit Sicherheit bekannt ist, ob für diesen Fall die Modellgesetze noch volle Gültigkeit haben, läßt sich nicht abschätzen, ob am Naturbauwerk ein gleich großer Effekt erzielt wird. Die ohne Luftzufuhr am Modell gemessenen Werte lassen sich dagegen unmittelbar auf, die Großausführung übertragen.

Die Frequenz der Druckschwankungen, die mit der Drehzahl des Laufrades gekoppelt ist, beträgt etwa ½ der Laufraddrehungen. Bei einer Laufraddrehzahl von 65,2 U/min entspricht dies einer Frequenz der Druckschwankungen von etwa 0,4 Hz. Diesen Druckschwankungen, deren Amplitude etwa 14% der Fallhöhe beträgt, sind Schwingungen höherer Frequenz (Drehzahl × Schaufelzahl), aber kleinerer Amplitude überlagert.

Zusammenfassend läßt sich über die Druckmessungen bei Leerlaufbetrieb folgendes sagen:

Solange Überdrehzahlen nicht zugelassen werden, bleiben die Druckschwankungen im Saugkrümmer kleiner als $1.0 \times H$ (H = Fallhöhe), an der Stützwand kleiner als $0.1 \times H$. Die Leerlaufwassermenge bewegt sich dabei zwischen 40 und 55 % der Vollwassermenge, je nach Wahl des Laufradwinkels. Bei 30 % Überdrehzahl wachsen die Druckschwankungen im Saugkrümmer auf $1.5 \times H$, an der Stützwand auf $0.6 \times H$ an.

Die Messungen an der Stützwand ergaben als Mittelwert von Druck und Sog auf Vorderseite umd Rückseite maximal 5,70 t/m² einschließlich Schwankung. Auf Grund dessen wurde für die statische Berechnung der Stützwand eine maximale Querbelastung von 10 t/m² angenommen.

Die eigene Frequenz der Stützwand wurde zu 284 Hz ermittelt, so daß gegenüber der Frequenz der Druckschwankungen von 0,4 Hz eine erhebliche Sicherheit gegen Resonanzwirkungen vorhanden ist. Die konstruktive Gestaltung und die Bewehrung der Stützwand und ihres besonders beanspruchten oberen Endes (Stützwandkopf) bereitete keinerlei Schwierigkeiten.

3. Messungen in der Natur [6] [7] [8]

Am 25. Januar 1956 erfolgten im Donaukraftwerk Jochenstein die ersten Abschaltversuche. Dabei waren die von der Fa. Voith gelieferten landseitigen Turbinen 3 bis 5 so geregelt, daß sie in 7 sec auf die normale Leerlaufwassermenge schlossen. Bei der Abschaltung der Maschinen wurde am Turbineneinlauf ein Absperrschwall von etwa 70 cm beobachtet.

Am gleichen Tag wurden am Turbinenblock 5 auch die Bewegungen und Erschütterungen des Bauwerks bei verschiedenen Leerlaufwassermengen und beim Abschalten auf erhöhten Leerlaufdurchfluß untersucht. Im einzelnen wurde das Verhalten von Turbinenblock 5 beobachtet:

- 1. bei leerlaufender Turbine und konstanter Drehzahl, wobei die Stellung der Turbinenschaufeln von $\phi=0$ bis $\phi=32^\circ$ in Stufen von je 4° variiert und nach Einregelung auf n=65 U/min gemessen wurde,
- , 2. bei Netzabschaltung mit automatischem Schnellverschluß, wobei die Turbine bei $\phi=20^\circ$ und bei $\phi=32^\circ$ und belastetem Generator gefahren und nach

Abwurf der Last das Verhalten des Bauwerks während des Regelvorgangs beobachtet wurde.

Die Messungen erstreckten sich auf die Relativbewegungen des Blockes 5 gegen Block 4 sowohl parallel als auch senkrecht zur Flußrichtung und auf die Erschütterungen der Saugschlauchwand zwischen Turbine 5 und 4 quer zur Flußrichtung.

Für die Leerlaufversuche sind die Verschiebungen zwischen Block 5 und 4 in Abhängigkeit von der Laufradstellung und damit von der Leerlaufwassermenge in Bild 4 aufgetragen. Meßwerte sind die jeweiligen Maximalamplituden. Die Bild 4 zugrunde liegenden Oszillogramme zeigten sehr deutlich, daß den lang-

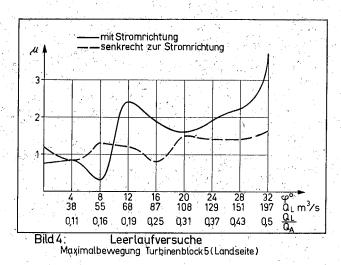


Bild 4 Leerlaufversuche. Maximalbewegung Turbinenblock 5 (Landseite)

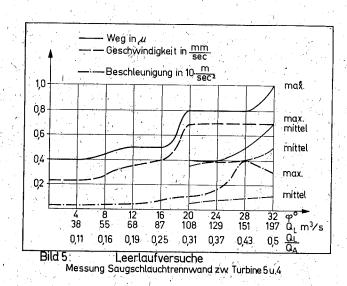


Bild 5 Leerlaufversuche, Messung Saugschlauchtrennwand zwischen Turbine 5 und 4.

samen Blockbewegungen noch höher frequente Schwingungen überlagert waren, deren Frequenz bei den Bewegungen in Flußrichtung bei etwa 50 Hz lag, während die Schwingungen quer zur Flußrichtung eine Frequenz von 200 bis 250 Hz aufwiesen. Die Grundschwingung des Blockes lag bei etwa 5 Hz. Eine gewisse Unsicherheit bei den Messungen ergibt sich aus der Verwendung von Block 4 als ruhendem Punkt, da dieser ja ebenfalls gewisse Eigenbewegungen ausführte.

Bei den Abschaltversuchen ergab sich eine max. Bewegung des Blockes 5 in Flußrichtung von 30 μ , bei einer Leerlaufwassermenge von 177 m³/s = 0.5 \times Qa (ϕ = 32°). Die Schwallwelle, die zur Erreichung einer max. Amplitude etwa 2,2 sec benötigte und die damit verbundenen langsamen Blockbewegungen waren nach etwa 15 sec soweit abgeklungen, daß sie in der Amplitude der Blockerschütterungen nicht mehr erkennbar waren. Dabei hatte der Block etwa drei ganze Schwingungen ausgeführt, woraus sich eine Periodendauer von etwa 5 sec ergibt.

Die Messungen an der Saugschlauchseitenwand (Bild 5) zeigten während der Leerlaufversuche außer annähernd regelmäßig auftretenden Ausschlägen auch schlagartige und sehr unregelmäßig erscheinende Spitzenwerte. Da die Beobachtung solcher Spitzenwerte einer gewissen Unsicherheit unterliegt, wurden in Bild 5 auch noch die Werte der regelmäßig auftretenden mittleren Amplituden aufgenommen. Ein ausgeprägter Unterschied zwischen Spitzenwert und regelmäßiger Amplitude ergab sich erst bei $\phi \geq 20^\circ$.

Bei den Abschaltversuchen konnte an der Saugschlauchseitenwand nur der Größtwert der Geschwindigkeit v_{max} beobachtet werden. Er ergab sich zu 0,77 und 1,8 mm/sec bei $\phi=20$ bzw. $32^{\circ}.$ Aus den Werten der Leerlaufversuche läßt sich schließen, daß die Abschaltung bei $\phi=20^{\circ}$ im Saugschlauch etwa dieselbe Beanspruchung verursacht wie der Leerlauf bei $\phi=32^{\circ}.$ Es entspricht dies einer maximalen Auslenkung der Trennwand von ca. 1 $\mu.$ Bei der Abschaltung von $\phi=32^{\circ}$ dürfte die Auslenkung der Seitenwand den Wert von 3 μ nicht überschritten haben.

Bei allen Versuchen wurden neben dem Saugschlauch knallartige Geräusche wahrgenommen. Es war jedoch nicht jeder akustische Stoß als Trennwandbewegung feststellbar. Die größte Stoßhäufigkeit trat bei $\phi=16^\circ$ auf. Bei noch größerem ϕ nimmt die Häufigkeit ab und die Intensität der Stöße zu. Bei $\phi=32^\circ$ gingen die Stöße in ein mehr tosendes Geräusch über, dessen Intensität akustisch nur schwer beurteilbar war.

Zusammenfassend läßt sich über die Zulässigkeit der beobachteten Bewegungen und Erschütterungen mangels eines objektiven Maßstabes lediglich sagen, daß der Eindruck bestand, daß sie für das Bauwerk weder unzuträglich groß noch gefährlich sind. Risse, Sprünge oder sonstige Schäden sind bei den Versuchen in keinem Bauteil eingetreten.

Am 8. Juni 1956 wurde am Donaukraftwerk Jochenstein ein weiterer Abschaltversuch ausgeführt. Zu diesem Zeitpunkt war folgender Bauzustand der Staustufe vorhanden:

Sämtliche 6 Wehrfelder waren fertig montiert und installiert. Wehrfeld 3 befand sich in Reparatur und war mit Dammbalken abgeschlossen. Das Wehrfeld 1 konnte wegen Beschädigungen nur begrenzt bewegt werden. Im Kraftwerk standen die Maschinen 1, 3, 4 und 5 in Dauerbetrieb (Bild 1).

Die Wasserführung der Donau betrug am Versuchstag 2326 m³/s, von denen etwa 1460 m³/s in den 4 Turbinen verarbeitet wurden. Die Restwassermenge wurde über die Wehrfelder 1 und 2 geleitet.

Während des Versuches wurde der Generator 4 getrennt von den übrigen Maschinen auf eine Sammelschiene geschaltet und diente zur Versorgung des Eigenbedarfs. Die Generatoren 1, 3 und 5 wurden durch Auslösen eines Schalters gleichzeitig entlastet. Die Turbinen 3 und 5 (Voith, Heidenheim) schlossen dabei wie bei den Versuchen vom 15. 1. 1956 in 7 sec. Eine vergrößerte Leerlaufwassermenge war noch nicht eingestellt. Die Turbine 1 (Escher Wyss) schloß nach dem von dieser Firma normal angewendeten Schließvorgang mit verzögertem Abschluß des Leitrades. In einem gesonderten Abschaltversuch war für diese Turbine am Einlauf ein Absperrschwall von nur 6 cm beobachtet worden.

Eine Sekunde nach der Auslösung des Freileitungsschalters erhielten die Wehrverschlüsse 4, 5 und 6 den Senkbefehl. Sie wurden dabei in 90 sec um 3.75 m, einschließlich 0.30 m Freibord, gesenkt, um die Ausfallwassermenge von etwa 1000 m³/s abzuführen.

In Bild 6 ist die Charakteristik des Abschlußvorganges (Anderung der Drehzahl und des Durchflusses) und die geplante Schwallsteuerung (Vergrößerung der Leerlaufwassermenge) für die beiden Turbinensysteme in ihrem ungefähren

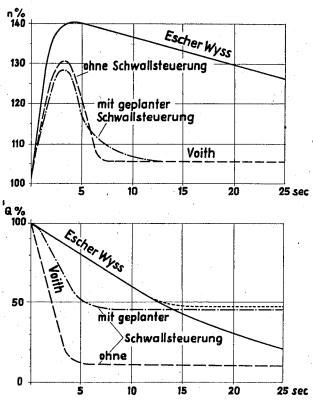


Bild 6: Charakteristik des Abschlußvorganges der Turbinen des Donaukraftwerkes Jochenstein.

Bild 6 Charakteristik des Abschlußvorganges der Turbinen des Donaukraftwerkes Jochenstein.

Verlauf skizziert. Die endgültige Ausführung der Schwallsteuerung soll die Forderung erfüllen, daß bei einem möglichst langsamen Übergang vom Ausbaudurchfluß zum erhöhten Leerlaufdurchfluß mit Rücksicht auf den Antrieb des Wehres eine unzulässig hohe und lange andauernde Überdrehzahl der Turbine vermieden wird.

Eine gewisse Störung des Versuchs trat dadurch ein, daß nach Lastabwurf die langsamer schließende Maschine 1 zunächst die bereits geschlossenen Turbinen,3 und 5 unter Lastaufnahme hochzog, so daß sich die Laufräder dieser Turbinen in der Leerlaufwassermenge etwas schneller als im normalen Leerlauf drehten. Die Wirkung dieser Störung auf die beoboachteten Schwall- und Sunkerscheinungen ist jedoch so unwesentlich, daß sie bei der Beurteilung des Versuchsergebnisses vernachlässigt werden kann.

Die Wasserspiegelbewegungen wurden im Oberwasserbereich, einschließlich Vorhafen und Südschleuse an 11 Pegeln, im Unterwasserbereich an 5 Pegeln in Zeitintervallen von 10 sec abgelesen. Gleichzeitig war in der Nähe des Oberhauptes der geöffneten Südschleuse ein Schleppkahn von etwa 720 t Bruttogewicht verheftet. Die Höhenlagen von Bug und Heck des Schleppkahnes wurden ebenfalls in Zeitintervallen von 10 sec ermittelt, während die Belastung der Trossen mit Hilfe von Dehnungsmeßstreifen kontinuierlich registriert wurde [2].

Um die Auswirkungen des Schwalles in der Schleuse beurteilen zu können, sind in Bild 7 über dem gleichen Zeitmaßstab aufgetragen:

- 1. Die Wasserspiegeldifferenz zwischen den Pegeln am Mittelmauerkopf und in Schleusenmitte (vor und hinter dem Schleppkahn). Bei einem Pegelabstand von etwa 200 m gibt diese Kurve unter Verwendung der rechten Skala gleichzeitig die Wasserspiegelneigung.
- 2. Die Neigtung des Schleppkahnes (linke Skala) und die Schiffskräfte in Längsrichtung aus $P = G \times J$ mit G = 720 t (rechte Skala).
 - 3. Die gemessene Trossenkraft.

Ein Vergleich der drei Kurven zeigt, daß die Schiffsneigung fast unmittelbar der Wasserspiegelneigung der ersten Schwallwelle folgt und daß zur gleichen Zeit die oberstromige Trosse beansprucht wird. Für die am Untertor reflektierte Welle trifft diese zeitliche Übereinstimmung nicht mehr so gut zu. Dies liegt vermutlich daran, daß die Wasserspiegelbewegungen am Mittelmauerkopf nicht die gleichen sind wie unmittelbar vor dem Schleppkahn. Die Kurve 1 in Bild 7 ist demnach nicht die tatsächliche Wasserspiegelneigung längs des Schiffes, sondern kann nur näherungsweise als Anhalt dazu dienen.

Während die Schwallwelle am Untertor aufläuft und dabei ihre Höhe annähernd verdoppelt, sinkt der Wasserspiegel am Oberhaupt infolge eines natürlichen Schwingungsvorganges und verstärkt durch die vom Wehrsenken erzeugte Sunkwelle erheblich unter den Ausgangswasserspiegel ab. Dadurch wird die Neigung der zum Oberhaupt zurücklaufenden Welle annähernd doppelt so groß wie die Neigung der ersten, einlaufenden Schwallwelle. Diese Feststellung ist insofern beachtenswert, als bisher angenommen wurde, daß die primäre, in die Schleuse einlaufende Welle die größte Neigung hervorruft. Allerdings konnte bei den entsprechenden Modellversuchen für das Donaukraftwerk Jochenstein und auch bei ähnlichen Versuchen für andere Anlagen wegen der begrenzten Modellänge nur die erste Hebungswelle erfaßt werden. Weitere Beobachtungen waren dann bereits durch die am Modelleinlauf reflektierten Wellen verfälscht.

Da die Trossen mit der Schiffsachse einen Winkel α einschließen, müssen die theoretischen Schiffskräfte P mit 1/cos α multipliziert werden, um daraus auf die theoretischen Trossenkräfte P_{Tr} schließen zu können. Vergleicht man die theoretischen (Kurve 2) mit den tatsächlich gemessenen Trossenkräften (Kurve 3), dann zeigt sich, daß die gemessenen maximalen Trossenkräfte zum Unterhaupt um ≈ 40 %, zum Oberhaupt um ≈ 20 % größer sind. Der Grund hierfür ist wohl darin zu suchen, daß die Trossen nicht vollständig gestrafft waren und daher auch noch eine Kraft zur Abbremsung der Bewegung aufzunehmen hatten.

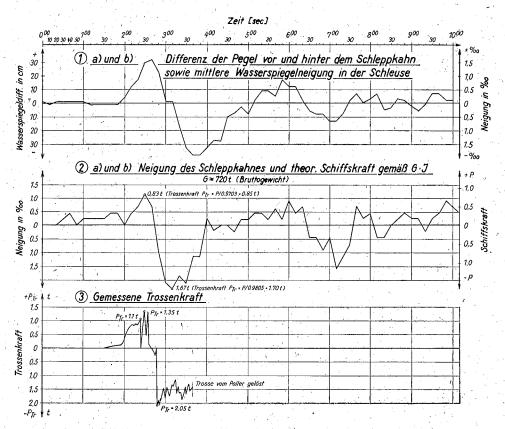


Bild 7 Donaukraftwerk Jochenstein. Zeitlicher Verlauf der Wasserspiegelneigung, der Schiffsneigung und der Trossenkräfte in der Südschleuse während des Abschaltversuches am 8. 6. 1956.

Diese Annahme scheint insofern berechtigt, als in der registrierten Trossenkraftkurve (3) kurzzeitige Entlastungen zu erkennen sind. Sie haben zur Folge, daß die Trossen nicht gleichmäßig zunehmend, sondern ruckartig belastet werden.

Ein zahlenmäßiger Vergleich der beim Großversuch ermittelten Wellenhöhen mit denen des Modellversuches ist nicht unmittelbar möglich, da für den am 8. 6. 1956 herrschenden Betriebszustand Modellversuche nicht ausgeführt wurden. Sehr gute Übereinstimmung mit den Modellversuchen zeigt jedoch der zeitliche Verlauf der Schwallwelle sowohl im Stauraum, als auch im Schiffahrts-

bereich. Auch das Verhältnis der Wellenhöhe vor dem Krafthaus zur Wellenhöhe in der Schleuse, sowie die Abnahme der Wellenhöhe entlang dem Trenndamm entsprechen ziemlich gut den Ergebnissen der Modellversuche. Ebenso waren die gemessenen Schwall- und Schiffsneigungen der ersten in die Schleuse einlaufenden Welle auf Grund der Modellversuche in der beobachteten Größenordnung zu erwarten.

4. Schlußfolgerung

Die Modellversuche und die Messungen in der Natur haben eine einfache und offenbar ungefährliche Möglichkeit aufgezeigt, um auf rein hydraulischem Weg durch eine geeignete Kombination von Turbinen-Schwallsteuerung (Bild 6) und Schützabsenkung die bei Netzzusammenbrüchen auftretenden Schwall- und Sunkerscheinungen auf ein unschädliches Maß zu vermindern.

II. Mainstaustufe Gerlachshausen

1. Energiewirtschaftliche Grundlagen [9]

Die am Durchstich der Mainschleife Gerlachshausen-Volkach gelegene Staustufe weicht in ihrer gesamten Anordnung von den übrigen Staustufen des Mains erheblich ab.

Das für die Stauerzeugung notwendige Wehr liegt kurz unterhalb der Abzweigung des Durchstiches vom Main bei Volkach, die Schleuse am unteren Ende des Durchstiches bei Gerlachshausen. Für die im Main übliche Ausbauwassermenge von 110 m³/s ergibt sich am Wehr eine Fallhöhe von 2,45 m, die durch natürliche Eintiefung oder Baggerung noch auf 2,80 m vergrößert werden kann. Dagegen steht in Gerlachshausen bei der gleichen Ausbaugröße eine Fallhöhe von rund 6 m zur Verfügung. Vom energiewirtschaftlichen Standpunkt aus wäre es daher erwünscht gewesen, das Kraftwerk am Ende des Durchstiches bei der Schleuse anzuordnen. Dem stand jedoch entgegen, daß die Anlieger der Mainschleife im Interesse der Bodennutzung eine weitgehende Beibehaltung der natürlichen Wasserführung im Mainbett forderten.

Die endliche, die verschiedenen Nutzungen berücksichtigende Lösung beließ in der Mainschleife eine Pflichtwasserführung von mindestens 40 m³/s, die nach Abzug der Schleusenverluste an 286 Tagen im Jahr zur Verfügung steht und in einem einturbinigen Kraftwerk genutzt wird. Dabei ist der größte Teil der Mainschleife mit Wasser überdeckt und das Standortklima des Tales bleibt erhalten. Die Ausbaugröße des Kraftwerkes bei Gerlachshausen mit der großen Fallhöhe wurde mit Rücksicht auf die Schiffahrt und die dafür im Kanal zulässigen Wassergeschwindigkeiten auf 50 m³/s beschränkt. Dadurch fällt die Leistungsdauerlinie dieses Kraftwerkes zur Hochwasserseite hin nur langsam ab und hat bei den größten Abflüssen des Mains noch einen Wert von 1500 kW, während die Mehrzahl der übrigen Mainkraftwerke bei diesen Wasserführungen erheblich zurückgehen und manchmal sogar tageweise stillgelegt werden. Die größte Leistung von 2440 kW wird bei 130 Tagen erreicht. Im Hinblick auf den Verbundbetrieb mit den anderen Kraftwerken sind diese Vorteile so groß, daß der Stillstand bei Wasserführungen zwischen 18 und 50 m³/s, also während der Niedrigwasserzeit nur eine unbedeutende Rolle spielt.

Für die Zusammenarbeit mit dem Werk am Wehr in Volkach ergibt sich der in Bild 8 dargestellte Werkleistungsplan.

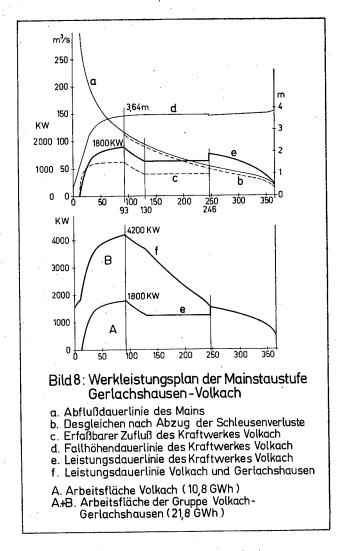


Bild 8 Mainstaustufe Gerlachshausen. Werkleistungsplan.

2. Ergebnisse der wasserbaulichen Modellversuche [10]

(Flußbaulaboratorium der Technischen Hochschule Karlsruhe)

Für die Grundrißanordnung des Kraftwerkes Gerlachshausen war der Gedanke maßgebend, Kraftwerk und Schleusen mit möglichst geringem baulichem Aufwand so zu kombinieren, daß sich Schiffahrt und Energieerzeugung gegenseitig nicht behindern.

Bei dem Ausgangsvorschlag war das Kraftwerk von den beiden Schleuseneinfahrten durch Pfeilerköpfe abgetrennt, zwischen denen die Ausbauwassermenge von 50 m 3 /s der Turbine zugeführt werden sollte. An den beiden Uferseiten schloß sich an die Oberhäupter je eine unter 1:4 gegen die Kammerachse verschwenkte Leitwand an, die nach etwa 40 m in die Böschung 2:3

überging. Diese Böschungen gingen im Grundriß mit einer leichten Krümmung auf die größte Vorhafenbreite von etwa 85 m über.

Im Modell waren die Baumaßnahmen zu untersuchen, die für eine ungefährdete Ein- und Ausfahrt aus der Schleuse bei gleichzeitigem Kraftwerksbetrieb notwendig sind. Für den Ausführungsvorschlag sollten außerdem die Schiffskräfte bei einem Turbinenschnellschluß in 7 sec ermittelt werden.

Bei der vorgegebenen Lage des Kraftwerkes zwischen den Schleusen bedingte der Zufluß der Triebwassermenge zum Krafthaus im oberen Vorhafen sich zunächst widersprechende Strömungsverhältnisse. Das Triebwasser sollte mit möglichst geringen Verlusten dem Kraftwerk zugeführt werden, es durfte jedoch auch der Schiffsverkehr im oberen Vorhafen nicht beeinträchtigt werden. Als besonders gefährdet war hierbei der letzte Kahn eines dreischiffigen Schleppzuges anzusehen, der nach Beobachtungen in der Natur in 100 m Entfernung vom Obertor noch eine Absolutgeschwindigkeit von 0,4 m/s hat, Die Steuerfähigkeit des Kahnes bleibt solange gewahrt, als in allen zeitlichen Phasen des Einfahrens in die Schleusenkammer eine positive Relativgeschwindigkeit zum Erzeugen eines Rudermomentes vorhanden ist. Die Schiffsgeschwindigkeit muß also größer als die Strömungsgeschwindigkeit sein.

Nach Berechnungen und Vorversuchen genügte der Ausgangsvorschlag nicht diesen Bedingungen. Es wurde daher zunächst versucht, unter Beibehaltung der Begrenzung des oberen Vorhafens und nur durch Anderung der Triebwasserzuführung die Einfahrt zu verbessern. Bei sämtlichen untersuchten Abänderungsentwürfen bewirkte der bis auf Schleusenbreite stetig abnehmende Vorhafenquerschnitt eine vergrößerte Stnömungsgeschwindigkeit im Einfahrtsbereich. Es mußte jedoch ein Strömungsbild angestrebt werden, bei dem die Strömungsgeschwindigkeit kleiner bleibt als die vorgegebene Schiffsgeschwindigkeit. Die Entnahmestelle des Triebwassers war daher in einen möglichst großen Querschnitt mit geringer Strömungsgeschwindigkeit zu legen. Bei der ursprünglichen Vorhafenform würde dies einen Einlaufschlitz über die gesamte Sohlenbreite etwa 140 oberhalb des Kraftwerkes erfordern. Diese Lösung schied wegen ihres verhältnismäßig großen Bauaufwandes aus.

Einfacher war eine Veränderung des bisherigen Grundrisses in der Art, daß die Querschnittsfläche des oberen Vorhafens in gleichbleibender Größe möglichst nahe an die Oberhäupter und das Kraftwerk herangeführt wird. Dieser Grundriß bietet die Möglichkeit, der Turbine das Triebwasser durch zwei seitliche, außerhalb der Kammerachsen mündende Kanäle von $F=2\times(5,4\times3,2)=34,8$ m² und unmittelbar in der Krafthausachse über den Kanälen mit $F=2\times(2,75\times5,60)=30,8$ m² zuzuführen. Der Mund der seitlichen Einläufe ist nach oben frei. Seine Sohle steigt 1:4 auf die Vorhafensohle an. Er dreht sich dabei um 90° unter Verbreiterung seiner Grundfläche in die Anströmrichtung hinein. Die Innenkrümmungen der Kanäle im Bereich des Kraftwerkseinlaufes entsprechen den Krümmungen der Pfeilerköpfe, die in jedem Falle ein gutes Anliegen der Strömung gewährleisten. Der obere und der untere Zulaufquerschnitt sind durch eine horizontale Trennwand, die in Höhe der Vorhafensohle liegt, voneinander getrennt (Bild 13).

Bei dieser Anordnung ließen sich wegen der geringen Werte weder Größe noch Drehrichtung der an einem Schiff wirkenden Momente so einwandfrei erfassen, daß sie als Kriterium für die Anordnung angesehen werden konnten. Als maßgebend wurden daher die Strömungsgeschwindigkeiten und -richtungen angesehen, die in Beziehung zur Schiffsgeschwindigkeit gesetzt werden konnten.

Die in Bild 9 wiedergegebenen Geschwindigkeitsmessungen lassen deutlich erkennen, daß das Triebwasser bis 37,5 m oberhalb der Flügelwand auf der ganzen Breite mit einer mittleren Geschwindigkeit von 0,17 m/s zuströmt. Während

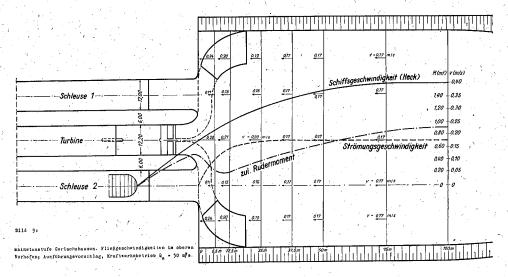


Bild 9 Mainstaustufe Gerlachshausen. Fließgeschwindigkeiten im oberen Vorhafen; Ausführungsvorschlag, Kraftwerksbetrieb $Q_a=50\ m^3/s$.

dann in der Kraftwerksachse und über den seitlichen Einläufen die Geschwindigkeiten langsam ansteigen, nehmen sie in den Fahrstraßen stetig ab.

Die aus den Geschwindigkeitsmessungen beöbachtete Tendenz wirkt sich auf den Schiffahrtsbetrieb günstig aus, da die Abnahme der Strömungsgeschwindigkeit oberhalb der Kammern mit dem Bereich der verminderten Fahrgeschwindigkeit einlaufender Schiffe zusammenfällt. Im gesamten Bereich der Einfahrstrecke verbleibt stets eine positive Relativgeschwindigkeit für ein erzeugbares Rudermoment. Die Strömungsrichtungen sind bis nahe an die Oberhäupter parallel zur Fahrtrichtung der Schiffe. Anschließende geringe Ablenkungen können sich als Drehmoment auf ein einfahrendes Schiff nicht mehr bemerkbar machen.

Bei einem Turbinenschnellschluß in 7 sec breitet sich eine Schwallwelle von ihrem Entstehungsort, dem Kraftwerkseinlauf unmittelbar und durch die seitlichen Einläufe mittelbar nach allen Richtungen der freien Wasserfläche in die Schleuseneinfahrt und kanalaufwärts aus. Die größte Wasserspiegelhebung im Vorhafen wurde in Krafthausachse 10 m oberhalb der Trennpfeilerköpfe mit 12,5 cm gemessen. Im übrigen Bereich stieg der Wasserspiegel kaum über 10 cm an.

Unter den gleichen Versuchsbedingungen wurden die auf einen naturähnlichen 1000-t-Kahn wirkenden Kräfte gemessen. Die Versuche zeigten deutlich, daß selbst scheinbar geringfügige Schwallhöhen durch die Neigung von Wasserspiegel und Schiff recht beachtliche Schiffskräfte hervorrufen. Die verschiedenen untersuchten Schiffslagen und die zugehörigen Meßkurven sind in Bild 10 dargestellt.

Die größten Schiffskräfte wurden in Lage II (Bug 40 m oberhalb des Oberhauptes) durch den am Untertor reflektierten Schwall erzeugt. Da die Lauf-

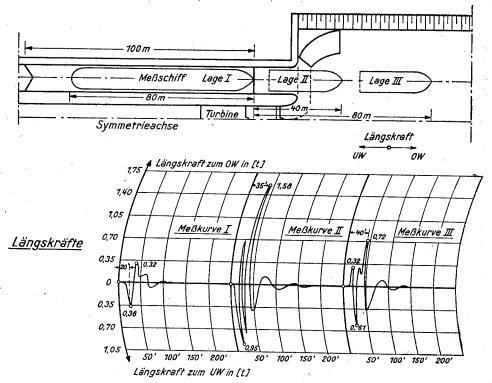


Bild 10 Mainstaustufe Gerlachshausen. Schiffskräfte für verschiedene Schiffslagen bei Turbinenschnellschluß.

geschwindigkeit des Schwalles in der Kammer infolge der Wassertiefe größer ist als im Vorhafen, trifft der Reflexionsschwall bei einem ausfahrenden Schiff (Lage II) zu einer Zeit ein, zu der der Ausgleich zwischen der Schwallausbreitung von den mittleren und seitlichen Triebwasserzuläufen noch nicht beendet ist.

Die gemessene Schiffskraft von 1,58 t liegt knapp unterhalb der zulässigen Grenze und könnte sich deshalb bei einem ausfahrenden Schleppzug bemerkbar machen. Sie bedeutet jedoch keine Gefährdung oder Störung des Schifffahrtsbetriebes.

3. Versuchsergebnisse der Fa. Voith, Heidenheim [11]

Bei den Untersuchungen der Fa. Voith sollte festgestellt werden, ob es möglich ist, beim plötzlichen Abschalten der Maschine die Turbinenwassermenge über einen Nebenauslaß zu leiten und damit den Durchfluß bei abgestellter Maschine aufrechtzuerhalten. Dabei sollten die Vor- und Nachteile von verschiedenen Anordnungen eines Nebenauslasses und die dafür nötigen Einbauten zur Energievernichtung untersucht und Unterlagen für eine Baukostenschätzung gewonnen werden.

Da die Untersuchungen des Flußbaulaboratoriums Karlsruhe gezeigt hatten, daß die bei der Abschaltung auftretenden Schwall- und Sunkwellen die Schifffahrt zwar nicht stören, aber doch beeinflussen könnten, war in einer weiteren Versuchsreihe zu untersuchen, welche Anordnung in dieser Hinsicht die größten Vorteile bietet. Hierfür wurden nur die Schwall- und Sunkwellen in Krafthausnähe gemessen und nicht der Einfluß auf die Schiffahrt selbst.

Am Modell der Firma Voith, Heidenheim, im Maßstab 1:30 wurden folgende 4 Vorschläge untersucht: (Bild 11)

- 1. Schütz in Spiralmitte (Vorschlag 1, Bild 11),
- 2. Schütz auf der offenen Spiralseite,
- 3. Klappe mit senkrechter Welle in der Turbinenspirale (Vorschlag 3, Bild 11),
- 4. Horizontale Drehklappe über dem Einlauf (Vorschlag 4, Bild 11).

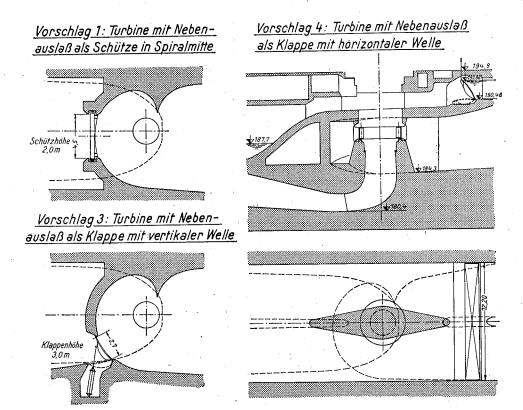


Bild 11 Mainstaustufe Gerlachshausen. Im Modell untersuchte Entlastungsanlagen.

Mit Ausnahme von Vorschlag 2 mit seitlicher Schützöffnung wurden bei allen Versuchen verschiedenen konstanten Leitradschließzeiten (11, 14, 16,5, 19 und 27,5 sec) in mehrfachen Variationen verschiedene Offnungszeiten des Nebenauslasses zugeordnet und die entstehenden Schwall- und Sunkhöhen gemessen. Zusätzlich wurden noch Versuche ausgeführt, bei denen die Kaplan-Turbine als Propellerturbine abgeschaltet wurde. Für diesen Fall konnte man annehmen, daß nach Abschaltung der Turbine noch 50 % der Vollwassermenge, also etwa 25 m³/s bei Normaldrehzahl abgeführt werden können. Die Beanspruchung des Bauwerks durch die dabei notwendige Energieumwandlung wurde dabei nicht untersucht.

Im folgenden wird ein kurzer Überblick über die Vor- und Nachteile der einzelnen Vorschläge gegeben:

Vorschlag 1: Mit Rücksicht auf eine geringe Schwall- und Sunkbildung beim Abschaltvorgang muß das Schütz breit sein, damit bereits bei geringer Hubhöhe eine größere Wassermenge abgeleitet werden kann. In hydraulischer Hinsicht wirkt sich diese Forderung ungünstig aus, da damit die Höhe des geöffneten Schützes geringer wird und entlang der über dem Schütz befindlichen Spiralwand eine größere Wassermenge strömt, die in Spornnähe unter großer Wirbelbildung nach dem Schütz umgelenkt werden muß. Die Auswirkungen auf die Turbine und die Erschütterung auf das Bauwerk konnten bei dem vorliegenden Modellmaßstab nicht erfaßt werden. In gleicher Weise wird der Betrieb bei Abschaltung mit erhöhter Leerlaufwassermenge, der Schwall und Sunk günstig beeinflussen würde, kritisch, da durch das geöffnete Schütz das Leitrad sehr ungleichmäßig beaufschlagt wird. Dadurch werden wiederum zusätzliche Wirbelbildungen angeregt, die in einem Zusammenwirken mit der Energieumwandlung im Saugrohr die Beanspruchung des Bauwerks erhöhen:

Vorschlag 2: Bei dieser Anordnung müssen die Abmessungen des Schützes bei gleichem Querschnitt quadratisch gewählt werden. Die größere Schützhöhe wirkt sich dabei in hydraulischer Hinsicht günstiger aus. Der Vorschlag ist aber wegen der größeren Schwall- und Sunkhöhen gegenüber Vorschlag 1 nicht zu empfehlen.

Vorschlag 3: Die Querschnitte der Klappe können gegenüber der Schützanordnung etwas vermindert werden, da die Offnung strömungstechnisch günstiger liegt. Die Beanspruchung der Turbine ist wahrscheinlich geringer als bei den Schützen. Bei der Ausführung lassen sich vermutlich auch kürzere Offnungszeiten erreichen als bei einem Schütz, da die Klappe durch den Wasserdruck selbsttätig öffnet. In konstruktiver Hinsicht wird die Abdichtung und die Freihaltung des unterwasserseitigen, von der Klappe überfahrenen Raumes Schwierigkeiten bereiten.

Vorschlag 4: Die Lösung mit einer horizontalen Klappe bringt zwar in bezug auf die notwendige tiefere Gründung der Turbinenanlage Nachteile, jedoch ist eine Regulierung mit übersichtlichen Maschinenelementen ohne Störung des Turbinenbetriebes möglich.

Zur Energieumwandlung wird für die Anordnungen 1 bis 3 eine Tauchwand hinter der Saugschlauchdecke vorgeschlagen, auf die bei Wahl der Anordnung 4 unter Umständen verzichtet werden kann.

In hydraulischer Hinsicht ist Vorschlag 4 mit einer über dem Einlauf liegenden Drehklappe vorzuziehen, da hierbei der normale Turbinenbetrieb und damit die Betriebssicherheit der Turbine ih keiner Weise beeinträchtigt wird. Sofern man auf eine Offnung in der Turbinenspirale zurückgreifen will, ist in hydraulischer Hinsicht die Anordnung 3 — Drehklappe mit vertikaler Welle — vorzuziehen, da der damit verbundene Nachteil bei der Energieumwandlung geringer wiegt als die mit den anderen Spiralenöffnungen verbundene größere Beanspruchung der Turbine.

Für die Beurteilung der günstigsten Gesamtanordnung sind jedoch nicht allein die hydraulischen Verhältnisse maßgebend, sondern auch die dabei vorhandenen Einflüsse auf die Schwall- und Sunkhöhen. Bild 12 gibt für die 3 charakteristischen Vorschläge einen Überlick über die Meßwerte bei gleichen Versuchsbedingungen. Daraus ist zu ersehen, daß die Anordnung mit horizontaler Drehklappe die günstigsten Ergebnisse liefert. Allerdings ist bei der Beurteilung zu fragen, ob es überhaupt gelingt, in der Großausführung den Nebenauslaß in der verhältnismäßig kurzen Zeit von 15 bis 28 sec zu öffnen.

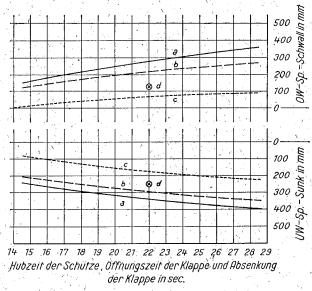


Bild 12 Mainstaustufe Gerlachshausen. Schwall- und Sunkvergleich bei den drei verschiedenen Anordnungen in Abhängigkeit von der Verschlußbewegung in sec.

- a) Schütz in Spiralmitte, Schaltverzögerung 3 sec.
- b) Klappe mit vertikaler Welle, Schaltverzögerung 5,5 sec.
- c) Klappe mit horizontaler Welle, Schaltverzögerung 0 sec. d) Klappe mit horizontaler Welle, Schaltverzögerung 5,5 sec.

Leitradschließzeit konstant 16,5 sec.

4. Bauausführung [9]

Bei der Bauausführung wurde die aus den Modellversuchen ermittelte Grundrißgestaltung im wesentlichen beibehalten (Bild 13 und 14).

Das Kraftwerk liegt zwischen der vor der Vollendung stehenden Westschleuse und der später zu errichtenden Ostschleuse nahe bei den Oberhäuptern, so daß die Kammer- und Häuptermauern zur seitlichen Einfassung des Werkgebäudes dienen. Um vom Schleusensteuerhaus aus die Übersicht nicht zu behindern, wurde auf ein Maschinenhaus verzichtet und die Flachbauweise mit Außenkran gewählt. Der Maschinensatz, bestehend aus Kaplanturbine und direkt gekuppeltem Asynchrongenerator wird durch eine Blechhaube abgedeckt. Der Transformator und der Leitungsabzweig für 20 kV mit Meßwandlern und Schutzeinrichtungen sind in Freiluftausführung auf der Unterstromseite des Kraftwerkes so tief eingebaut, daß die Höhe der Schleusenmauer nicht überschritten wird.

Da die beiden Werke Volkach und Gerlachshausen wasser- und energiewirtschaftlich eine Einheit darstellen, können sie auch als ein Werk mit zwei räumlich getrennten Maschinensätzen angesehen werden. Der Umstand, daß Gerlachshausen im Regeljahr 119 Tage, im Trockenjahr 215 Tage stillsteht, sprach dafür, die gemeinsame Betriebsführung nach Volkach zu legen und das Kraftwerk Gerlachshausen durch Fernsteuerung zu bedienen.

Auf den Einbau einer Entlastungsanlage für den Fall des Turbinenschnellschlusses wurde verzichtet, da er sich als ziemlich kostspielig herausstellte und angesichts der Schwallkräfte von 0,38 t auf einen in der Schleuse liegenden Schleppkahn und von 1,58 t auf einen ausfahrenden Schleppkahn nicht zwingend notwendig war.

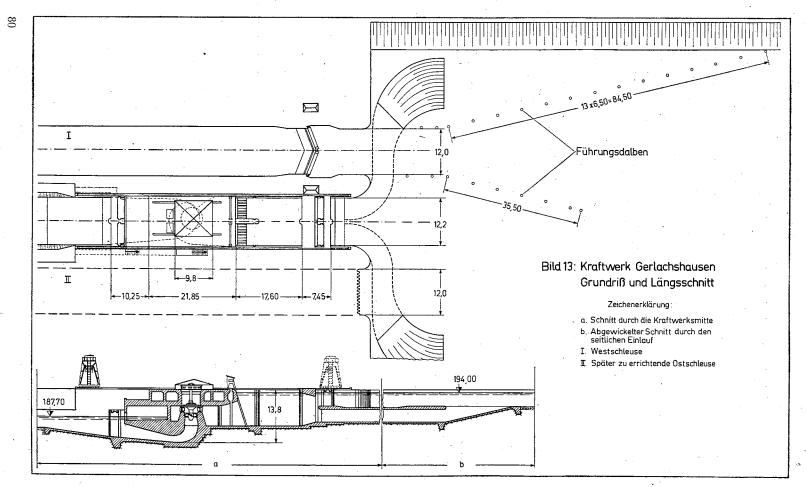


Bild 13 Kraftwerk Gerlachshausen. Grundriß und Längsschnitt.

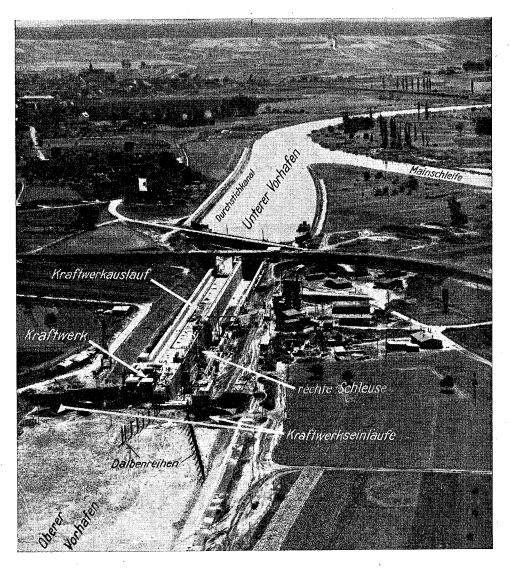


Bild 14 Schleuse und Kraftwerk der Mainstaustufe Gerlachshausen. Bauzustand im September 1956.

Abteilung I — Binnenschiffahrt

Mitteilung 1

Mittel zur Überwindung großer Fallhöhen durch die Schiffahrt. — Vergleich der verschiedenen Lösungen in technischer und wirtschaftlicher Hinsicht. — Fertiggestellte und geplante Bauwerke. — Erzielte Ergebnisse.

Von Heinrich Rütjerodt, Oberregierungsbaurat, Nürnberg, Dr.-Ing. Martin Arens, Oberregierungsbaurat bei der Wasser- und Schiffahrtsdirektion Münster.

Thema: "Schiffshebewerke in Deutschland".

Zusammenfassung:

Hohe Stufen an Wasserstraßen sind mit Hebewerken zu überwinden, wenn der Baugrund wechselnde Beanspruchungen unter Schleusenmauern nicht verträgt oder wenn die — mit dem Gefälle schnell wachsenden — Bau- und Betriebskosten Schleusen unwirtschaftlich machen.

An den norddeutschen Wasserstraßen stehen drei Hebewerke, sämtlich mit lotrechter Förderung in wassergefüllten Trögen in Betrieb und zwar

seit 1898 Henrichenburg mit 14,5 m Gefälle für 700 t-Schiffe, seit 1934 Niederfinow mit 36,0 m Gefälle für 1000 t-Schiffe und seit 1938 Rothensee mit 18,7 m Gefälle für 1000 t-Schiffe.

In Henrichenburg wird der Trog von fünf Schwimmern, in Rothensee von zwei Schwimmern getragen, die unter der Längsachse des Troges stehen; in Niederfinow hängt er an 256 Drahtseilen mit Gegengewichten. Henrichenburg und Rothensee werden an vier Spindeln, Niederfinow an vier Zahnstockleitern geführt. Alle Antriebe sind elektrisch. Die drei Hebewerke arbeiten einwandfrei und haben die Betriebssicherheit für beide Bauarten bewiesen.

Es wird im allgemeinen auch künftig genügen, Hebewerke der Wasserstraßen IV 85 m lang zu bemessen. Für Schleppkähne sind auf jeden Fall leistungsfähige Treidelanlagen nötig.

Längere Tröge und breitere Tröge müßten ihres größeren Gewichtes wegen an mehr als vier Auflagern geführt werden. Ihr Tragwerk wäre deswegen als elastischer Rost

unter den Trogboden zu legen.

Schwimmerhebewerke haben leichtere Führungsgerüste und nicht so viel empfindliche Maschinenteile wie Hebewerke mit Gegengewichten, brauchen aber kräftigere Antriebe zur Sicherung gegen Gleichgewichtsstörungen, weil beim Ersaufen eines Schwimmers größere Lasten frei werden. Schwimmer werden auch für höhere Gefälle als in Henrichenburg und Rothensee verwendet werden können. Wo der Untergrund nicht gestattet, tiefe Schächte auszuführen, können die Schwimmer in wassergefüllte Türme gesetzt werden, die seitlich vom Hebewerk stehen.

Gegengewichts-Hebewerke sind in der Hubhöhe an keine Grenzen gebunden. Weil ihr Gleichgewicht weniger gefährdet ist, genügt bei schweren Hebewerken dieser Bauart eine geringere Anzahl von Tragjochen. Die Seile sind am einfachsten an die auskragenden Arme der Joche anzuschließen. Die Seilscheiben und die Gegengewichte können dann auch für schwere Hebewerke auf kleinem Raum in Türmen untergebracht werden, die wie Schwimmertürme seitlich vom Troge stehen, dabei müssen aber Verbreiterungen der Trogkammern in Kauf genommen werden. Doppelhebewerke mit Gegengewichten erfordern daher breitere Vorhäfen als Doppelhebewerke mit Schwimmern.

Wo einschiffige Hebewerke den Verkehr nicht bewältigen, kann den Trögen leichter die doppelte Breite als die doppelte Länge gegeben werden. Bei großen Gefällen kann die Leistung schon durch Steigern der Hubgeschwindigkeit erhöht werden, wobei dann aber auf eine Selbstsperrung der Antriebe verzichtet und die Betriebssicherheit durch stärkere oder zahlreichere Bremsen verbürgt werden muß.

Für die Führung des Troges verdienen Spindeln den Vorzug vor Zahnstockleitern, weil die an Spindeln laufenden Muttern jede "Katastrophenlast" d. h. jede denkbare Gleichgewichtsstörung aufnehmen können, ohne daß zusätzliche Sicherungsanlagen zum Abfangen des Troges nötig wären.

83

84

86

87

90

-	Literatur:
	Henrichenburg:
٠.	Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure 1899, Nr. 32
."	Zentralblatt der Bauverwaltung 1895, S. 509 und 1896, S. 306
١.	Niederfinow:
	Bautechnik 1927, S. 319
	Bautechnik 1934, S. 161, 176, 411, 522, 536
	Bautechnik 1936, S. 157, 333, 345, 360
	Rothensee:
	Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure 1934, S. 1108 und 1230
	Bauingenieur 1938, S. 599
	Bautechnik 1938, S. 618
	Gliederung: Vorbemerkung
٠.	Gliederung: Vorbemerkung
	A Vorbedingungen für die Wahl von Hebewerken .

II. Niederfinow . .

Vorbemerkung:

B Betriebserfahrungen und Leistungen

I. Henrichenburg

C Anregungen zu künftigen Entwürfen

Die Mitteilung beschränkt sich auf Hebewerke mit lotrechter Förderung in offenen wassergefüllten Trögen, sie nennt die Gründe für die Wahl solcher Hebewerke anstelle von Schleusen und berichtet über Betriebserfahrungen an den Hebewerken in Henrichenburg, Niederfinow und Rothensee. Aus diesen Erfahrungen sind vom erstgenannten Verfasser einige Anregungen zu künftigen Entwürfen von senkrecht fördernden Hebewerken abgeleitet, sie sind auf die Verhältnisse abgestellt, die heute an dem geplanten Main-Donau-Kanal zu erwarten sind.

A. Vorbedingungen für die Wahl von Hebewerken

Neue Wasserstraßen werden so zu führen sein; daß sie die Höhenunterschiede des Geländes mit möglichst wenig Stufen überwinden. Hierdurch wird zwar die Leistungsfähigkeit der Wasserstraße (d. h. die Frachtmenge, die jährlich befördert werden kann) nicht gesteigert, es wird aber die Reisezeit verkürzt, also an Schiffsraum und an Frachtkosten gespart.

Die Stufenhöhe, die von Schleusen bewältigt werden kann, ist begrenzt. Hohe Schleusen erfordern massive Kammerwände; unter diesen Wänden und unter den Kammersohlen entstehen beim Füllen und Leeren der Schleusen stark wechselnde Bodendrücke, Hohe Schleusen sind deswegen nur dann auf die Dauer zuverlässig, wenn ihr Untergrund und ihre Bauweise ein ungleiches Setzen der Bauteile ausschließen, das die Dichtigkeit der unvermeidlichen Dehnungsfugen in Frage stellen könnte. Unter senkrecht fördernden Hebewerken bleibt dagegen der Baugrund von wechselnden Beanspruchungen verschont, auch sind die Fugen ihrer Trogkammern nicht wie Schleusenfugen ständig stark wechselnden Wasserdrücken ausgesetzt.

Mit steigendem Gefälle wachsen die Baukosten für Schleusen schneller als für Hebewerke. Von welchem Gefälle an Hebewerke wirtschaftlicher als Schleusen werden, hängt jeweils von den örtlichen Verhältnissen ab, die die Bauweisen bestimmen; auch die Kosten für den Ersatz des Schleusungswassers und die Instandhaltung des Bauwerks sowie die Lohnaufwendungen für den Betrieb haben hierauf Einfluß (Hebewerke erfordern eine bessere Besatzung als Schleusen).

Von den zahlreichen Vorschlägen, die in den letzten Jahrzehnten für Hebewerke in neuen Wasserstraßen gemacht worden sind, haben bisher nur zwei ihre praktische Verwendbarkeit bewiesen: Das Hebewerk mit Mittelschwimmern und das Hebewerk mit Gegengewichten. Diese Systeme liegen auch den Planungen zugrunde, die für ein zweites Hebewerk in Henrichenburg und für die Hebewerke an drei Stufen des Main-Donau-Kanals (mit Hüben von 28 bis 46 m) in Arbeit stehen.

B. Betriebserfahrungen

Die Entwürfe und die Ausführungen der drei Hebewerke in Henrichenburg, Niederfinow und Rothensee sind in den Veröffentlichungen behandelt, die am Schluß dieses Beitrages zusammengestellt sind; besonders sei auf den Aufsatz von Dr.-Ing. Ellerbeck in der "Bautechnik 1927", S. 319, verwiesen, in dem die Wahl der Bauart für Niederfinow begründet ist. Im folgenden sind nur die Grundzüge der Bauart und die Hauptabmessungen wiederholt.

I. Henrichenburg

Das Hebewerk ist die oberste Stufe des Dortmund-Ems-Kanals, es hat 14 m Gefälle. Sein Trog ist mit 68,0 m Länge, 8,6 m Breite und 2,5 m Wassertiefe für Kähne mit 600—700 t Tragfähigkeit bemessen. Der Trog mit Wasser und die Schwimmer wiegen zusammen 3100 t. Die fünf Schwimmer von 13 m Höhe und 8,3 m Außendurchmesser haben je rd. 620 m³ Inhalt und 120 t Eigengewicht. Die Schwimmerschächte sind 9,2 m weit und reichen rd. 30 m tief unter die Trogkammerschle. Der Trog läuft an zwei Portalrahmen, die 43,5 m Abstand voneinander haben. Zur Waagerecht-Führung dienen vier in die Portale eingebaute (zweigängige) Spindeln von 24,6 m Länge und 280 mm äußerem Durchmesser; sie werden über Verbindungswellen von einem gemeinsamen (in einer Brücke über dem Trog angeordneten) Gleichstrommotor gedreht und tragen die am Trog befestigten stillstehenden Muttern. Die Hubgeschwindigkeit beträgt 0,1 m/s.

Das Hebewerk steht seit 1898 im Betriebe. Über seine Bewährung in den ersten 50 Jahren ist von Scheunemann in der "Wasserwirtschaft" 1948/49, S. 46—51 eingehend berichtet. Es hat bisher über 500 000 Hübe ausgeführt, ohne daß sich ein Unfall mit einem nennenswerten Schaden am Hebewerk selbst oder an den geschleusten Fahrzeugen ereignet hätte.

Entgegen der Absicht der Erbauer haben sich die Spindeln nicht als selbstsperrender Antrieb erwiesen. Der Hebewerkstrog wird nicht wie in Niederfinow und in Rothensee in seinen Endlagen mit den Haltungsabschlüssen verklammert. Auch die keilförmigen in den Spalt eingeschobenen Dichtungsrahmen halten den Trog nicht fest. Da nun auch die einzige Triebwerksbremse, die am Spindelmotor angeordnet ist, zu schwach bemessen war, hat sich der Trog tatsächlich einige Male von selbst aus seiner untersten Stellung um kurze Strecken nach oben bewegt, als der Unterwasserstand und mit ihm die Trogfüllung durch Haltungsschwankungen abgemindert wurden. Stärkere elektrisch miteinander gekuppelte Bremsen an allen vier Führungsspindeln erwiesen sich als erforderlich.

Die gesamte Anlage wurde zuerst 1916 nach 17jähriger Betriebsdauer und ein zweites Mal im Winter 1938/39 gründlich überholt. Der bauliche Zustand erwies sich bei beiden Untersuchungen als durchaus einwandfrei. Stärkere Rostschäden waren nur an einzelnen Bodenblechen des Troges eingetreten, auf denen die Seile der Spille geschliffen hatten. Die erste Auswechselung von Spindelmuttern war 1916 nach rd. 80 000 Hüben nötig, später konnte ihre Lebensdauer durch Wahl härterer Bronze verlängert werden.

Die Schwimmerschächte waren durch Ablagerungen aus dem Spaltwasser stark verschlammt; zur Abhilfe wurden am Oberhaupt und Unterhaupt Quermauern in die Trogkammer eingebaut, die das Spaltwasser zurückhalten und den Umläufen nach den Pumpensümpfen am Unterwasser zuleiten.

Durch Fernwirkungen des Bergbaues ist das gesamte Hebewerk, ohne dabei Schaden zu leiden, um mehr als 10 cm abgesunken.

Als zweiter Aufstieg zur Dortmunder Haltung besteht eine 95 m lange, 10 m weite Schachtschleuse mit fünf offenen Sparbecken; auf sie sind die Fahrzeuge mit größeren Abmessungen und mehr als 2,0 m Tiefgang angewiesen. (Die zulässige Tauchtiefe wird Ende 1958 auf 2,5 m erhöht werden.)

Im folgenden sind die Kosten des Schiffshebewerkes und der Schachtschleuse Henrichenburg für Betrieb, Unterhaltung, Erneuerung und Rückpumpen des Schleusenwassers in den Jahren 1952 bis 1955 miteinander verglichen:

		Schiffshebewerk		Schachtschleuse	
		1952—1955	also jährl. i. M.	1952—1955	also jährl. i. M.
Betrieb	DM	304 700	76 200	190 900	47 700
Unterhaltung	· DM	198 200	49 500	139 200	34 800
Erneuerung	DM	59 600	14 900	182 000	45 500
Pumpkosten	DM		· <u>·</u>	301,700	75 400
	DM	562 500	140 600	813 800	203 400
Verkehrsleistung					
Tragfähigkeit	t	27 456 581 ,	6 864 000	16 164 151	4 041 000
Ladung	t	12 600 596	3 150 000	7 729 568	1 932 000
Mithin Kosten für das					
Durchschleusen	·				
(gemessen nach der Tragfähigkeit)					
	Pfennig/t		2,05		5,04

Bemerkungen:

- 1. Sämtliche Kosten sind ohne Einrechnung von Verzinsung und Abschreibung der Anlagekosten ermittelt worden, enthalten aber angemessene Zuschläge für die Allgemeinkosten der Verwaltung.
- 2. Unter "Erneuerung" werden die nicht regelmäßig wiederkehrenden größeren Instandsetzungen verstanden, die sich aus der allgemeinen "Unterhaltung" herausheben.

- 3. Die Pumpkosten für das Rückpumpen der Spaltwasser- und Undichtigkeitswassermengen des Hebewerkes sind als unerheblich außer Ansatz geblieben. Für das Rückpumpen des Betriebsschleusenwassers der Schachtschleuse sind die Wassermengen nach der Anzahl der Schleusungen unter Berücksichtigung der Wasserersparnis durch die Sparbecken ermittelt und danach die Pumpkosten errechnet worden.
- 4. Die Schachtschleuse wird häufig nicht voll ausgelastet, weil die Schiffahrt den schnelleren Weg durch das Hebewerk und die ruhigere Lage der Schiffe im Hebewerkstrog bevorzugt. Dadurch ergibt sich eine bessere Ausnutzung des Hebewerkes im Vergleich zur Schachtschleuse, die sich auch im Einheitskostenbetrag je Tragfähigkeitstonne für die Durchschleusung mit zu erkennen gibt. Es wäre also grundsätzlich falsch, zu schließen, daß die Schleusung durch die Schachtschleuse immer viel teurer als die Benutzung des Hebewerkes ist.

Die höchste Jahresleistung der letzten Zeit wurde 1952 erreicht. Das Hebewerk allein beförderte dabei Schiffe mit rd. 7 200 000 t Tragfähigkeit und 3 300 000 t Ladung.

Das Oberwasser der Stufe Henrichenburg wird in den nächsten Jahren wegen des Abbauens von Kohle im Dortmunder Bezirk um mehrere Meter gesenkt werden. Entwürfe für einen dritten Abstieg stehen in Arbeit, es ist z. Z. noch nicht zu übersehen, ob dabei eine Schleuse oder ein Hebewerk den Vorrang verdient. Des weiteren wird geprüft, ob nach seiner Fertigstellung die beiden vorhandenen Abstiege im Betrieb bleiben müssen; in diesem Falle werden sie umzubauen sein.

II. Niederfinow

Der Großschiffahrtsweg Berlin-Stettin ist als Erweiterung des alten Finowkanals erbaut und 1914 in Betrieb genommen. Er erreicht die Oder an einem Steilhange mit recht ungünstigen Baugrundverhältnisse; den Abstieg vermittelte zunächst eine Schleusentreppe. Bauliche Mängel dieser Schleusen gaben den Anlaß zum Bau des Hebewerkes Niederfinow. Es wurde 1934 vollendet. Sein Gefälle beträgt bei den gewöhnlichen Wasserständen rd. 36 m; die Hubgeschwindigkeit ist 0,12 m/s.

Der Entwurf des Hebewerks ist auf Grund sehr eingehender Voruntersuchungen zustande gekommen, es war hierbei auch zu berücksichtigen, daß die Gründung 20 m tief unter das Gelände hinabreichen mußte und nur im Drucklustverfahren ausgeführt werden konnte.

Der Trog des Hebewerks ist 85 m lang, 12 m breit und 2,5 m tief, er wiegt mit Wasser rd. 4300 t. Er hängt an 256 Drahtseilen von 52 mm Stärke. 192 dieser Seile tragen rd. 22 t schwere Gegengewichte; 64 Seile tragen Rahmen, die je 12 Gewichte zu einer Gruppe zusammenfassen und etwa abreißende Gewichte auffangen. Die Lager der 128 Seilscheiben jeder Seite stehen in einer Flucht. Die Seilscheiben haben 3,5 m Durchmesser, sie sind quer zur Troglängsachse angeordnet und mußten dabei mindestens 1,11 m Abstand voneinander erhalten, es war infolgedessen erforderlich, auf jede Seilscheibe zwei Seile zu legen. Dies hat sich nicht bewährt, da die geringer belasteteten Seile der Rahmen sich lockerer auf die Scheiben legen als die der Gewichte, sie wickeln sich deswegen auf größeren Durchmessern ab, rutschen und nutzen sich stärker ab.

Die Gerüste, die die Seilrollen tragen und in denen die Gegengewichte laufen, sind sehr schmal gehalten; sie sind, obwohl sie oben zu Rahmen verbunden sind, gegen Schwanken zusätzlich seitlich abgestrebt. An diesen Gerüsten ist der Trog etwa in seinen Viertelpunkten geführt. Zu seiner Bewegung und

Waagerechtführung dienen 4 Ritzel, diese laufen an Zahnstockleitern am Gerüst. Die Ritzel können jedes höchstens je rd. 50 t Last aufnehmen, dies entspricht einem Fehler der Wassertiefe im Troge von rd. 10 cm. Bei mehr als 30 t Fehllast beginnen die entsprechend gelagerten Ritzel ferdernd nachzugeben; dabei werden die Antriebe abgeschaltet und die Bremsen ausgelöst. Der Trog setzt sich nach etwa 3 cm Federweg starr auf vier Drehriegel auf. Die Drehriegel sind 1,4 m lange Spindeln mit 0,93 m Außendurchmesser, sie laufen mit Spiel, im allgemeinen also lastfrei in den selbstsperrenden Gewindegängen, die auf je $^{1}/_{4}$ Kreisumfang in die beiden einander gegenüberstehenden Stahlgußbacken der "Mutterbackensäulen" eingeschnitten sind. Diese Säulen sind neben den Zahnstockleitern an das Führungsgerüst angebaut. Der lotrechte Schlitz zwischen ihren Backen ist rd. 0,7 m weit, in ihn greift der Trog über und unter dem Riegel mit zwei kräftigen Armen hinein. Die vier Maschinen, die die vier Ritzel und die zugehörigen Drehriegel treiben, stehen auf dem oberen Querverbande des Troges, ihre Motoren leisten je 75 PS und werden von einem Leonardumformer versorgt, der in den einen der beiden Trogmaschinenräume mit eingebaut ist. Der Antrieb ist vor der Erbauung des Hebewerks sehr sorgfältig an einem Teilmodell (mit 1/5 der wirklichen Größe) ausprobiert und hat, soweit bekannt, störungsfrei gearbeitet; er stellt aber doch einen recht verwickelten Mechanismus dar. Seine Wirkung im Katastrophenfall ist von Burkowitz eingehend in der "Bautechnik" 1934 S. 411 behandelt, dabei ist außer Betracht gelassen, daß ein Drehriegel während der Trogfahrt durch einen Schaden an seinem Antrieb oder den Kardangelenken seiner Pendelstäbe zum Stillstand kommen könnte.

Wie Dehnert berichtet*), sind die Drehriegel bisher nur einmal zur Wirkung gekommen, als sich eine der zum Ausgleich des Seilgewichts dienenden Ketten in ihrer unteren (schadhaft gewordenen) Führung verfing; das Hebewerk ist dabei, wie gewollt, ohne Unfall stillgesetzt; die unteren Kettenführungen sind als entbehrlich ausgebaut worden.

Die frei stehenden Anlagen eines Hebewerks sind dem Frost mehr als Schleusen ausgesetzt. Eisbildungen an den Auffangvorrichtungen für das Spaltwasser machten Anderungen an diesen Teilen erforderlich, ferner mußten nachträglich elektrische Beheizungen an Trogtoren und anderen Einrichtungen eingebaut werden. Es erwies sich, daß es günstig gewesen wäre, die Rohrbühnen unter den Haltungsanschlüssen in beheizbare Räume zu legen. Des weiteren wäre der Betriebsleitung erwünscht gewesen, wenn man, ohne zuviel Rücksicht auf das Aussehen zu nehmen, die Räume der Trog- und der Haltungstorantriebe größer bemessen und wenn man an Besichtigungsstegen nicht gespart hätte.

Für das Gesamturteil über das Hebewerk sind die vorgenannten kleinen Mängel ohne Belang. Dank der überaus sorgfältigen Planung und Ausführung hat das Bauwerk allen Erwartungen entsprochen.

III. Rothensee

Das Hebewerk in Rothensee verbindet den Mittellandkanal mit dem südwärts gerichteten Abzweige nach der Elbe bei Magdeburg. Das Gefälle beträgt hier bei NW der Elbe 18,7 m, bei höheren Elbwasserständen kann es auf rd. 11 m abnehmen. Die Hubgeschwindigkeit ist 0,15 m/s. Der Trog ist 85 m lang, 12 m breit und 2,5 m tief, er wiegt mit Wasser rd. 4000 t und steht auf 2 geschweißten Schwimmern von 36 m Höhe und 10 m Durchmesser. Der bewegliche Teil

^{*)} H. Dehnert: Schleusen und Hebewerke, 1954 im Springer-Verlag, Berlin, erschienen.

des Hebewerks hat 5400 t Gesamtgewicht. Die beiden Schwimmerschächte haben 11 m Weite, sie reichen rd. 65 m unter die Trogkammersohle hinab. Wie in Henrichenburg ist der Trog in 2 Querebenen geführt, doch sind hier die Führungsgerüste nicht über dem Troge zu Rahmen verbunden. Die 4 Spindeln stehen fest, sie sind 27,3 m lang, wiegen jede 23 t und haben viergängige Gewinde mit 420 mm Außendurchmesser. Die Antriebsmuttern sind in "Mutterwagen" eingebaut, die in den Führungsgerüsten laufen, ihre Triebwerke (je zwei mit 60 PS-Motoren in Leonardschaltung und mit elektrohydraulischen Bremslüftern) stehen in den Seitengängen des Troges unter seinen Laufstegen. Die Schraubenspindeln sind im Zusammenwirken mit den Triebwerken selbstsperrend. Durch Einbauen eines Schwungrades in den Leonardumformer ist dafür gesorgt, daß der Trog selbst bei vollem Ausfallen der Stromversorgung sanft zum Stehen kommt.

1. Leistungen

Das Hebewerk Rothensee ist 1938 in Betrieb genommen worden. Da die große Kanalbrücke für den Mittellandkanal über die Elbe und das Doppelhebewerk in Hohenwarthe nicht mehr fertiggestellt werden konnten, ist der über Rothensee nach der Elbe führende Zweigkanal die einzige Verbindung des westdeutschen Kanalnetzes mit den mittel- und ostdeutschen Wasserstraßen. Im Frühjahr hält sich die Eisdecke besonders in der langen, oberhalb Rothensee liegenden Dammstrecke länger als im Westen des Mittellandkanals und auf der Elbe, es kam deswegen nach jedem Winter zu erheblichen Fahrzeugansammlungen, die nur in äußerst angestrengtem Betriebe bewältigt werden konnten und so eine schärftste "Belastungsprobe" für das Hebewerk und sein Personal darstellten. Bei etwa 16stündiger Betriebszeit wurden monatlich bis zu rd. 2200 Schiffe, vorwiegend Schleppkähne, mit rd. 1 250 000 t Tragfähigkeit durch das Hebewerk befördert. Diese Spitzenleistungen konnten nur dadurch erreicht werden, daß in beiden Vorhäfen Bugsierdampfer eingesetzt wurden, die die zu schleusenden Kähne rechtzeitig nach den unmittelbar vor den Haltungstoren liegenden Warteplätzen an den Leitwerken brachten und die die geschleusten Kähne sofort nach dem Offnen der Tore abschleppten.

2. Erfahrungen an den maschinellen Anlagen

a) Die Spindeln und Spindelmuttern sollten ursprünglich mit Ol geschmiert werden. Der Olmangel im Kriege zwang dazu, zu Starrfetten überzugehen; es erwies sich dann als nötig, die Zahl der (automatisch arbeitenden) Schmierpressen zu vergrößern. Das Hebewerk liegt am Rande einer nahezu baum- und strauchlosen "Kultursteppe", der "Magdeburger Börde". Bei stürmischen Winden werden dort große Staubwolken aufgewirbelt, es bleibt dann viel Feinsand an den Spindeln haften. An die Gehäuse der Antriebsmuttern sind nachträglich Vorrichtungen angebaut worden, die mit schwenkbaren (nur bei Bedarf angelegten) kammähnlichen Klauen das verschmutzte Fett abstreifen sollen; es ist aber nicht gelungen, die Abnutzung der Muttergewinde ausreichend abzumindern. Eine der Muttern war 1949 nicht mehr betriebssicher, für 1950 war deshalb vorgesehen, die Muttern zu erneuern. 1943 mußte ein Mutter-Halslager ausgewechselt werden, es war wahrscheinlich durch Fremdkörper beschädigt, die in dem eingepreßten Fett enthalten waren.

Wenn künftige Hebewerke in ähnlicher Umgebung erbaut werden, empfiehlt sich, die Antriebsgerüste in Schutzwände zu setzen, wobei dann nur der Schlitz offenbleiben darf, in den das den Trog tragende Joch hineingreift. Dasselbe gilt

übrigens auch für Antriebe mit Zahnstangen, obwohl diese und ihre Ritzel weniger empfindlich sein dürften. Um die Abnutzung der Muttergewinde leicht überwachen zu können, empfehlt sich, in die Muttergehäuse ein Fenster einzubauen, durch das ein eingepaßter Ausschnitt des Gewindes zur Besichtigung herausgezogen werden kann.

b) Das verstellbare "Schildschütz", das die Trogkammer gegen das Unterwasser abschließt, legt sich nur mit schmalen Dichtungsleisten an die Trogkammerwand und -sohle an. Die waagerechten Leisten haben je etwa 1 m Abstand voneinander, und das Schildschütz muß jedesmal um dieses Maß gehoben oder gesenkt werden, sobald das Unterwasser einen Stand erreicht, bei dem der Trog mit seinem Dichtungsrahmen nicht mehr an das Schildschütz paßt. Die Anlegefläche am Schildschütz für den Trograhmen ist nicht viel über 1 m hoch. Wenn der Unterwasserstand auch nur wenig um einen der Grenzwerte pendelt, der zu einer der Schildschützstellungen gehört, ist ein wiederholtes Umsetzen des Schildschützes erforderlich. Hierbei muß der Schiffahrtsbetrieb jedesmal stundenlang unterbrochen werden. Es wäre vorteilhaft gewesen, das Schildschütz oder seinen Anschlag an der Trogkammerwand so zu konstruieren, daß es in jeder Höhenlage gegen die untere Haltung dicht gewesen wäre.

Vor dem Umsetzen des Schildschützes muß seine Grube durch das Hilfstor (Stemmtor) gegen die untere Haltung abgeschlossen und dann leergepumpt werden. Die hierfür eingebauten Pumpen hätten für eine höhere Leistung bemessen werden sollen, um den Zeitverlust einzuschränken.

An der oberen Kanalhaltung kann der Hebewerkstrog in Rothensee nur dann dicht anlegen, wenn der Wasserstand der Haltung höchstens um etwa 0,4 m von seinem Sollwert abweicht. Bei Unterhaltungsarbeiten auf der Kanalstrecke kann es nötig werden, den Wasserstand tiefer zu senken und den Schiffahrtsbetrieb u. U. nur einspurig aufrechtzuerhalten; andererseits kann der Oberwasserstand durch Windstau um reichlich 0,5 m anwachsen. Der Höhenspielraum des Hebewerkstroges hätte also größer bemessen werden sollen.

- c) Der Aufzug, der in einen Rahmen-Pfosten des oberen Haltungsabschlusses eingebaut ist und den Zugang von der Geländehöhe nach der oberen Plattform erleichtern soll, kann nur Personen und leichte Lasten befördern. Für schwerere Teile wird im Geräteschuppen ein Derrickkran bereitgehalten. Es wäre aber doch ein vollkommeneres Schwerlasthebezeug willkommen, das an passender Stelle dauernd eingebaut ist. Des weiteren war es erforderlich, den oberen Haltungsabschluß auf beiden Ufern nachträglich durch gut befahrbare an den Kanaldamm angeschüttete Wegerampen zugänglich zu machen.
- d) Im Winter werden die Dichtungsrahmen des Troges und ihre Anlegeflächen durch eine mit Propangas betriebene Warmwasserheizung beheizt. Für die Spaltwasser-Leitungen sind auch elektrische Heizkörper eingebaut. Die Heizeinrichtungen haben sich bewährt. Wenn Frost von mehr als $-5\,^\circ$ C mehrere Tage lang andauert, kommt der Schiffsverkehr durch Zufrieren des Kanals zum Erliegen. Die Eisdecke im Trog des Hebewerks muß an den Rändern ständig offengehalten werden, sie wird im Frühjahr, sobald der Kanal durch Eisbrecher befahrbar gemacht ist, nach dem Vorhafen herausgezogen, selbstverständlich bringen aber die Schiffe von neuem Eis in den Trog hinein, dabei werden große Schollen auf die waagerechten Träger der Hubtore geschoben und gefährden dann nach dem Offnen der Tore die durchfahrenden Kähne, außerdem werden die Torantriebe durch das Schollengewicht überlastet. Es ist daher ratsam, die Trägerzwischenräume wenigstens in Wasserspiegelhöhe durch eine

zweite Wand abzuschließen. Zum Schutz gegen Rost waren die Tore mit einem warm aufgebrachten dicken Bitumenanstrich versehen. Ein solcher Anstrich wird im Winter zu spröde, er ist durch die Eisschollen vielfach zerstört worden.

Die Schwimmerschächte bleiben wegen ihrer großen Tiefe auch bei strengstem Dauerfrost eisfrei.

C. Anregungen zu künftigen Entwürfen

1. Die Leistung von Hebewerken hängt (wie die von Schleusen) wesentlich von der Ausstattung der Vorhäfen ab. Die Liegeplätze, an denen Schleppkähne zur Schleusung bereitgelegt werden und an denen geschleuste Kähne wieder zu Schleppzügen vereinigt werden, sollten senkrechte Ufer (Mauern oder Spundwände) erhalten,

In Anbetracht der hohen Baukosten eines Hebewerks ist keine Sparsamkeit bei den Treidelanlagen am Platze, wenn ein wesentlicher Anteil des Verkehrs auf Schleppzüge entfällt oder wenn Kähne als Anhang von Selbstfahrern mitgenommen werden. Die volle Ausnutzung der Hebewerksleistungen ist dann nur mit Schleppwagen zu erreichen. Ein solcher Wagen ist auf jedem Ufer anzuordnen (bei Doppelhebewerken sind also 4 Wagen erforderlich). Jeder Wagen muß seinen Kahn während der ganzen Schleusung im Schlepp behalten und ihn am Ende seiner Wege auch abstoppen können. Die Wagen müssen also die ganze Liegeplatzlänge in beiden Vorhäfen bestreichen, über neigbare Gleisrampen auf den Hebewerkstrog übergehen und an den Trogfahrten teilnehmen.

Um Platz für die Schleppwagen zu bieten, müssen die Laufstege am Trog mindestens 3,5 m breit bemessen werden, dies bedingt allerdings gegenüber den bestehenden Hebewerken fühlbare Mehrkosten für die Verbreiterung der Trogkammern.

Die Spille in Rothensee, mit denen die Kähne in den Trog gezogen werden, erwiesen sich bei lebhaftem Verkehr als zu schwerfällig. Bei schlechtem Wetter und besonders bei Glatteis ist die Arbeit an Spillen mit dem Ausziehen der Spillseile anstrengend und unsicher. Für das Herausschleppen aus dem Troge sind in Rothensee Treidelwinden vorhanden, sie stehen in den Maschinenräumen unter den Troglaufstegen. Auch sie ersparen dem Bedienungsmann nicht die Arbeit, das Seil nach jeder Fahrt wieder an der Trogplattform entlang auszuziehen. Die Absicht, die Spille durch Seiltreidelanlagen wie am Hebewerk Niederfinow zu ersetzen, konnte im Kriege nicht verwirklicht werden; auch solche Anlagen hätten kaum voll befriedigt, weil bei ihnen das am Schiff angreifende Seil schräg nach oben zieht, also bei mangelnder Vorsicht vom Schiffspolster abgleiten kann; besonders nachteilig ist auch bei ihnen, daß der Seilführer auf seinem Bedienungsstande zu weit vom geschleppten Kahn entfernt ist und sich bei schlechtem Wetter und in der Dunkelheit nur mangelhaft mit der Schiffsbesatzung verständigen kann.

2. Das Bedienungspersonal auf Hebewerken muß gegen Unwetter geschützt werden. Da Wind und Schlagregen auf der Plattform eines hochgefahrenen Hebewerks besonders in kalten Jahreszeiten nicht stundenlang ertragen werden können, ist es ratsam, die Seitenwände der Trogstege höher zu führen, zu verglasen und oben als Schutzdach etwas vorzukragen; sie würden dann auch das Ein- und Ausfahren leerer Kähne bei Seitenwind erleichtern. Auf den schmalen Laufstegen des Troges in Rothensee konnten während des Krieges nur behelfsmäßige Schutzhütten an den Steuerständen eingebaut werden, um die Schalttafeln wenigstens gegen Schlagregen und gegen das Ol-Wasser-

Gemisch zu schützen, das bei windigem Wetter von den Toren abtropft. Wünschenswert wäre gewesen, die Laufstege an den Steuerständen nach der Luftseite zu verbreitern und verglaste Steuerhäuser anzuordnen.

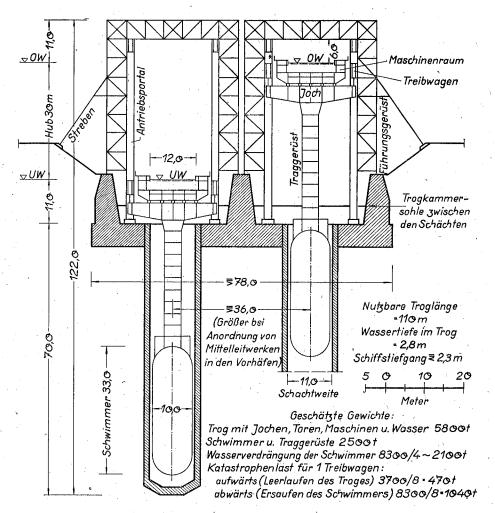
- 3. Räume für Antriebsmaschinen sollte man auch auf dem Trog des Hebewerks nicht allzusehr in den Abmessungen einschränken, damit die Wartung während des Betriebes nicht erschwert wird. Gegen Nässe hochempfindliche elektrische Anlagen sollten möglichst nicht wie in Rothensee in die Räume unter den Troglaufstegen eingebaut werden. Im Sommer leiden diese Räume unter Schwitzwasser. Zudem wird man den Trog während der Betriebsruhe und während mancher Überholungsarbeiten in seine untere Endlage fahren, es könnte also befürchtet werden, daß die Seitenräume überflutet werden, wenn die Trogkammer wegen eines Schadens an den Haltungstoren oder den Lenzpumpen voll Wasser läuft.
- 4. Die bisher ausgeführten Trogabmessungen genügen nicht den Anforderungen in der internationalen Wasserstraßenklasse IV für europäische Binnenwasserstraßen. Die Wassertiefe muß auf 3,0 m erhöht werden, wo die Wasserstraße die volle Regelabladung der Kähne von 2,5 m gestattet. Die bei den neueren deutschen Hebewerken angewendeten Abmessungen von 85 m Länge und 12 m Breite können aber bestehen bleiben.

Nach Überlegungen, die für die Großschiffahrtsstraße Rhein-Main-Donau angestellt worden sind, würde es an Hebewerken in der durchgehenden Strecke dieser Wasserstraße, die vorwiegend dem Durchgangsverkehr mit einem wesentlichen Anteil von Schleppzügen dient, im allgemeinen unwirtschaftlich sein, die Schlepper zu wechseln und in jeder Kanalhaltung die für Stoßverkehr nötigen Reserveschlepper bereitzuhalten. Daher sind die Untersuchungen vorerst für Troglängen von 110 m angestellt worden. Dieses Maß ist aber nicht als endgültig anzusehen.

Mit der Troglänge wachsen die Kippmomente, die von den beim Ein- und Ausfahren vor und hinter den Schiffen entstehenden Spiegelhebungen und -Senkungen hervorgerufen werden. Um die waagerechte Lage des Troges zu sichern, müssen deswegen Führungen nahe an die Trogenden gestellt werden. Bei lebhaftem Verkehr entstehen während des Einfahrens der Schiffe, besonders wenn die Kanalhaltungen durch Schleusungswellen beunruhigt werden oder aus anderen Gründen schnellen Wasserstandswechseln ausgesetzt sind, Abweichungen von der Soll-Füllhöhe des Troges, die leicht auf 10 cm und mehr wachsen können. Es empfiehlt sich deswegen, die Trogantriebe für größere Überund Unterlasten als bisher zu bemessen. Wenn der Trog genau ausgewuchtet wird, führen die im Trog hin- und herpendelnden Längswellen dazu, daß sich die Zähne oder Muttern der Antriebe abwechselnd nach oben oder unten aufsetzen. Wegen des Spiels, das die Antriebe von vornherein haben und das sich durch Abnutzung im Laufe der Zeit vergrößert, entstehen hierbei unerwünschte Stöße. Es ist auch aus diesem Grunde ratsam, die Antriebe stärker zu bemessen und den Trog bewußt mit einer Über- oder Unterlast zu fahren, die die Höhe der pendelnden Wasserwellen übertrifft.

Wo die Leistung 110 · 12 m großer Hebewerke nicht ausreicht, wird es zweckmäßiger sein, die Tröge für zwei nebeneinander liegende Kähne zu bemessen, als die Troglängen zu vergrößern. Auf jeden Fall werden 110 m lange Tröge mit 3,0 m Wassertiefe so schwer, daß man sie nicht mehr wie bisher in den "Katastrophenfällen" auf nur 4 Punkte absetzen kann. Die Troglängsträger werden dann auf mehr als 2 Querjoche gelegt werden müssen, sie werden also

Doppelhebewerk mit 2×4 Mittelschwimmern



Grundriß (ohne Tröge)

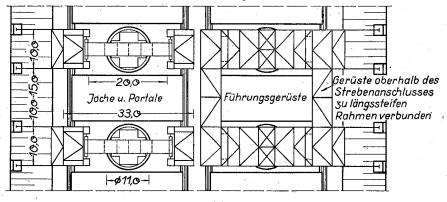


Bild 1 Doppelhebewerk mit 2 × 4 Mittelschwimmern

Doppelhebewerk mit 2×8 Schwimmertürmen

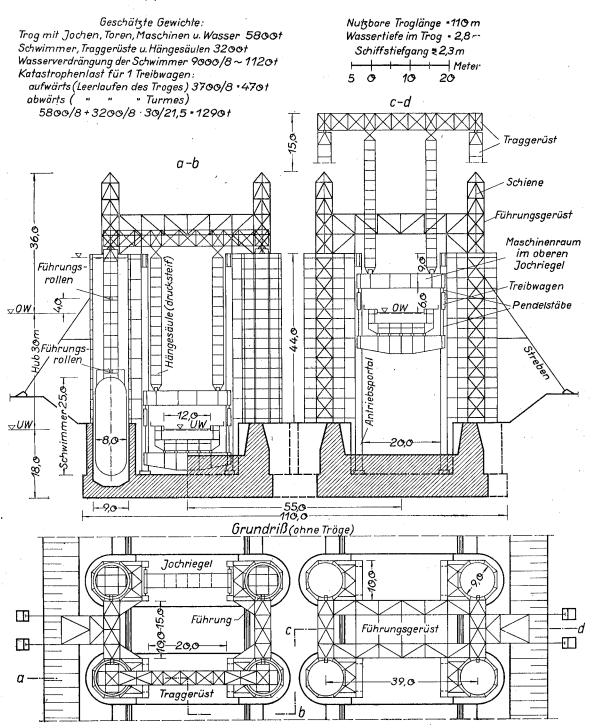


Fig. 2 Bild 2 Doppelhebewerk mit 2 \times 8 Schwimmertürmen

durchlaufende Träger auf mehreren Stützen. Jedes der Joche ist wie in Rothensee an portalähnlichen Antriebsgerüsten zu führen, die an beiden Seiten dicht neben dem Troge stehen. In diese Portale werden auch die Spindeln oder Zahnstangen eingebaut, an denen die mit den Jochenden gelenkig verbundenen (den Rothenseer "Mutterwagen" entsprechenden) Treibwagen klettern. Je enger die Joche gesetzt werden, desto kleiner werden die Biegemomente in den Trog-Hauptträgern, es wird dabei aber an diesen Trägern weniger erspart, als die zusätzlichen Trogführungen und -Antriebe kosten. Maßgebend für die Anzahl der Trogjoche ist deswegen die Last, die in den Katastrophenfällen von den Treibwagen gehalten werden kann.

Wegen der unvermeidlichen Höhenunterschiede ihrer Stützpunkte, die durch Montageungenauigkeiten, durch ungleiche Abnutzung der Antriebe, ungleiche Setzungen und ungleiche Erwärmungen eintreten werden, müssen Trogträger auf mehr als 2 Jochen so elastisch werden, daß sie diese Unterschiede ausgleichen, ohne daß irgendwo unzulässige Überbeanspruchungen vorkommen. Es wird also nötig sein, die Längsträger als niedrige Blechträger unter den Trogboden zu setzen. Dabei kann es vorteilhaft sein, einzelne Längsfelder als Kastenträger auszubilden, diese Felder müssen dann aber durch unten offene, also nicht verdrehungssteife Längsfehler voneinander getrennt bleiben, damit sich der Trog auch Höhenunterschieden der einander gegenüberliegenden Führungen anpassen kann. Die Trogseitenwände werden nachgiebig mit stehenden Tonnenblechen zu bauen sein, so daß sie von der Durchbiegung des Troges unbeeinflußt bleiben.

Wo mit Bergsenkungen oder sonstigen ungewöhnlichen Setzungen zu rechnen ist, wird man die Anzahl der Tragjoche auf 2 beschränken müssen.

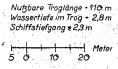
5. Wenn die örtlichen Verhältnisse es erlauben, Schwimmer- oder Gegengewichtshebewerke zu bauen, wird dem Schwimmerhebewerk der Vorzug zu geben sein. Die vielen Seile und die Lager für die Seilscheiben sind wenig erwünschte Bauteile, sie erschweren und verteuern die Unterhaltung. Dieser Nachteil wird nicht dadurch aufgewogen, daß es bei Gegengewichtshebewerken leichter als bei Schwimmerhebewerken ist, die Trogfahrt zu sichern: Zwar sind die aufwärts gerichteten "Katastrophenlasten", die bei einem Leerlaufen des Troges oder einem Vollaufen der Trogkammer aufzunehmen sind, bei beiden Bauweisen gleich groß, in bezug auf die abwärts gerichteten Lasten steht aber das Gegengewichtshebewerk weit günstiger da. Es ist ausgeschlossen, daß die sämtlichen zu einer Führung gehörenden Gegengewichte gleichzeitig abreißen. In Niederfinow ist deswegen als größte abwärts gerichtete Katastrophenlast nur das Übergewicht gerechnet, das der Trog erhält, wenn er bordvoll läuft. (Eine etwas größere Zusatzlast entsteht, wenn ein schwerer, z. B. mit Eisen beladener Kahn bei offenen Trog- und Haltungstoren im Troge in ungünstiger Lage sinkt.) Daß bei einem Mittelschwimmer-Hebewerk alle Kammern eines Schwimmers vollaufen, ist zwar wenig wahrscheinlich, man hat aber bisher mit diesem Katastrophenfall gerechnet. Bei einem Hebewerk mit Schwimmertürmen wäre ein gänzliches Leerlaufen eines Turmes schon eher denkbar. In diesen Fällen hängt sich an den Führungen nicht nur das volle Gewicht des wassergefüllten Troges, sondern auch das Eigengewicht des Schwimmers auf. So waren diè Katastrophenlasten für jede Führung

		aufwärts	abwärts	
	Niederfinow	2700:4=670 t	810:4 = 200 t	
in	Rothensee	2700:4 = 670 t	5400:4=1350 t	

Obwohl demnach bei Gegengewichtshebewerken weniger Führungen und Führungsgerüste als bei Schwimmerhebewerken nötig sind, werden die Gerüste der Gegengewichtshebewerke einen höheren Aufwand erfordern, weil sie mit dem doppelten Troggewicht belastet sind, während die Gerüste an Schwimmerhebewerken nur die Antriebsportale zu stützen und im wesentlichen nur Windlasten aufzunehmen haben.

Doppelhebewerk mit 2×6 Gegengewichtstürmen

Geschäfte Gewichte:
Trog mit Jochen, Toren, Maschinen u. Wasser 6000t
12 (Wölfteilige Gegengewichte mit Rahmen
12 (12 400+200) - 6000t
Katastrophenlast für 1 Treibwagen
aufwärts (Leerlaufen des Troges) 3700/6 • 620t
abwärts (Sinken eines 10m breiten mit Eisen beladenen
Kahnes an der Trogwand bei offenem Trogtor) bei 40m
Jochabstand • 400t



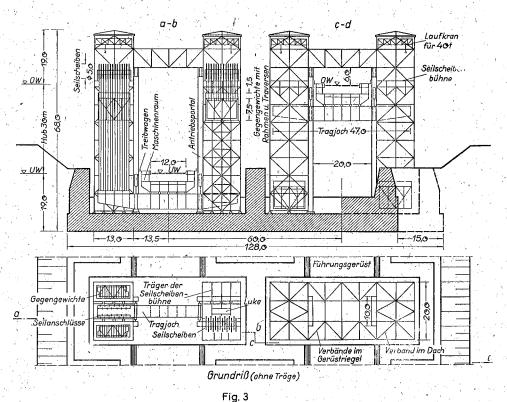


Bild 3 Doppelhebewerk mit 2 × 6 Gegengewichtstürmen

6. Die Fortschritte in der Schweißtechnik lassen erwarten, daß die Schwimmer vollkommen dicht hergestellt werden können. Es wird dann im normalen
Betriebe auch dann kein Wasser in sie eindringen, wenn man den inneren Luftdruck nicht mehr wie in Rothensee nach dem höchsten äußeren Wasserdruck
bemißt, sondern sich für die einzelnen Zellen mit mittleren Werten begnügt,
so daß die Zellen bei ihrer höchsten Lage inneren und bei ihrer tiefsten Lage

äußeren Überdruck erhalten. Sollte einmal der innere Luftdruck in einer Zelle durch einen Schaden an den Luftleitungen oder an den Luftpumpen unter seinen Regelwert absinken, so wird in Kauf genommen werden dürfen, daß die Zelle mit Wasser gefüllt wird. (Dies kann automatisch durch eine Klappe geschehen, die beispielsweise 15 m hoch über der Zellendecke steht, durch eine Falleitung mit dieser Zelle verbunden ist, sich bei sinkendem Luftdruck nach innen öffnet und Wasser aus dem Schwimmerschacht eintreten läßt. Der Innenraum der Schwimmer bietet mit seiner gleichbleibenden Temperatur und dem Fehlen zerstörenden Sonnenlichts so günstige Bedingungen für Schutzanstriche, daß bedenkliche Rostschäden nicht zu befürchten sind.)

Es wird hiernach möglich sein, Schwimmer mit demselben Durchmesser und derselben Tragkraft wie in Rothensee zu bauen, die bei 50 m Hubhöhe dem um 5 at wechselnden Außendruck gewachsen sind. (Der Innendruck könnte für die unterste Zelle auf 7 at bemessen werden. In tiefster Lage wäre der dann 90 m unter Wasser liegende Schwimmerboden etwa 2 at äußerem Überdruck ausgesetzt. In seiner höchsten Stellung hätte der oberste Wandstreifen der untersten Zelle etwa 4 at inneren Überdruck auszuhalten.) Bei einem Entleeren der Schwimmerschächte kann der Luftdruck herabgesetzt werden. Alle Beanspruchungen der Schwimmerwandungen können auf diese Weise in erträglichen Grenzen gehalten werden.

7. Wenn die Schwimmer wie in Henrichenburg und Rothensee mitten unter den Trog gesetzt werden, erfordern sie tiefe Schächte. Schon in Vorentwürfen für Niederfinow ist vorgeschlagen worden, die Schwimmer in zwei Reihen seitlich vom Trog in wassergefüllte Türme zu setzen. Nuerdings sind ähnliche Vorschläge von Dr.-Ing. Faure bearbeitet worden (Bautechnik 1953 S. 73). Wenn an Stelle eines jeden Mittelschwimmers ein Paar in der gleichen Trog-Querschnittsebene seitlich stehender Schwimmer angeordnet wird, können die Schwimmer so weit verkürzt werden, daß keine Schächte mehr nötig sind, die unter die Gründungssohle der Trogkammer hinabreichen. Ob diese Bauweise billiger wird, kann nur von Fall zu Fall entschieden werden. Hierbei spielen die Untergrundverhältnisse und auch die Geländehöhen an der Baustelle eine wesentliche Rolle. Ein Hebewerk mit Mittelschwimmern ist schmaler als jede andere Bauart. Wo zwei oder mehr solche Hebewerke nebeneinander zu bauen sind, erhalten sie also kleinere Achsabstände, und hiermit verringern sich die Aufwendungen für ihre Vorhäfen.

Der Vorschlag von Dr.-Ing. Faure, Hebewerke mit Schwimmertürmen "hydraulisch" zu betreiben, d. h. den Trog dadurch zu bewegen, daß die Türme bis zum OW gefüllt oder bis zum UW entleert werden, kommt für hohe Gefälle nicht in Frage, weil der Wasserverbrauch hierbei weit größer als an Schleusen mit Sparbecken würde. Die Schwimmer solcher Hebewerke werden in der UW-Stellung unter die Höhe der Trogkammersohle abgesenkt werden müssen, es sind also unter den Schwimmertürmen Schächte erforderlich. Wo später ein zweites Hebewerk neben einem im Betriebe stehenden zu bauen ist, können diese Schächte nur in größerem Abstande von den bestehenden abgeteuft werden. Es ergeben sich also sehr breite Vorhäfen.

Die zur Führung der Schwimmer nötigen Rollen und ihre Lager bedürfen einer Pflege und müssen deswegen (wie in Rothensee) bei hochstehendem Hebewerk im Trockenen zugänglich sein, ferner muß jeder der beweglichen Körper, den der Schwimmer und das auf ihm stehende Traggerüst bilden, wenigstens etwa in seinen Drittelpunkten geführt werden. Bei hochgefahrenem Troge kommen die oberen Führungen hoch über OW zu liegen. Infolgedessen werden neben

den Schwimmertürmen hohe Führungsgerüste erforderlich, sie bedingen einen erheblichen Aufwand, da sie auch den Winddruck auf die Schwimmertürme aufzunehmen haben. Auch die Antriebsportale neben dem Troge werden höher, weil die Joche nunmehr als (gelenkige) Rahmen ausgebildet werden müssen, auf deren unterem Riegel die Troglängsträger liegen und an deren oberem Riegel die Hängesäulen angreifen, die das Troggewicht auf die Schwimmer übertragen. Beide Riegel sind in den Antriebsportalen zu führen und durch allseitig bewegliche Pendelstäbe mit den Treibwagen zu verbinden. Diese Wagen sind dicht unterhalb des oberen Riegels anzuordnen, damit die Maschinenräume mit den Antriebsmotoren in die oberen Riegel eingebaut werden können. Die Hängesäulen, die die oberen Jochriegel mit den Traggerüsten auf den Schwimmern verbinden, müssen drucksteif sein, weil sie beim Leerlaufen eines Schwimmerturmes oder beim Ersaufen eines Schwimmers das Gewicht dieses Schwimmers und seines Traggerüstes auf den Trogantrieb zu übertragen haben.

In Bild 1 und 2 sind Querschnitte und Teil-Grundrisse für ein Doppelhebewerk mit 12 m breiten Trögen und 30 m Hubhöhe skizziert, die die beiden Bauarten von Schwimmerhebewerken mit Mittelschwimmern und mit hohen Schwimmertürmen vergleichen. (Über die Antriebe s. u. Bei 21 m breiten, also zweischiffigen Trögen von 110 m Nutzlänge würde ein Hebewerk mit Schwimmertürmen 12 statt 8 Türme erhalten. Der am Trog entlang verfügbare Platz reicht auch für diese Anordnungen aus.) Wie die Skizzen zeigen, wird es schwer sein, hohen Hebewerken mit Schwimmertürmen ein befriedigendes Aussehen zu geben. Zu berücksichtigen ist auch, daß die auf einen Antrieb entfallenden Katastrophenlasten beim Hebewerk mit Seitenschwimmern mehr als doppelt so hoch wie beim Hebewerk mit Mittelschwimmern würden, wenn man die Schwimmer bei beiden Bauweisen gleich groß machen wollte. Ferner darf nicht außer Acht gelassen werden, daß Schwimmertürme bei Frostwetter beheizt oder entleert werden müssen. (Sie mit einer nichtgefrierenden Flüssigkeit zu füllen, dürfte kaum in Frage kommen.)

Zu Bild 1 sei bemerkt: Wo Schleppzüge verkehren, wo also in den Vorhäfen lange Mittelleitwerke gebaut werden müssen, ist der Achsabstand der Hebewerte von 36,0 m um die Breite der Mittelleitwerke zu vergrößern. Die mit 2,8 m angegebene Wassertiefe entspricht den Fahrwasserverhältnissen des Main-Donau-Kanals; auf ihm ist die Tauchtiefe der Schiffe auf 2,3 m beschränkt.

8. Für Hebewerke mit Gegengewichten ist Niederfinow das Vorbild. Ein neuer Entwurf ist für ein 47 m hohes Hebewerk des Oder-Donau-Kanals aufgestellt worden und zuerst von Plarre in der Bautechnik 1944 veröffentlicht worden; auf diesen Entwurf ist u. a. auch in dem Buche von Dehnert "Schleusen und Hebewerke" auf S. 302 hingewiesen. Für die Konstruktion von Gegengewichts-Hebewerken ist der Platzbedarf der Seilscheiben und Gewichte maßgebend. In Niederfinow nehmen die Gewichte die ganzen Längsseiten des Troges ein. Im Oder-Donau-Entwurf waren die Gewichte in vier Türmen vereinigt, die Seile waren dabei nicht mehr an den Längsträgern des Troges befestigt, sondern griffen an den Querträgern an, auf denen diese Längsträger auflagen. Die Längsträger blieben also bei einem Leerlaufen des Troges von den Biegemomenten verschont, die bei leerem Troge in Niederfinow von den Seilzugkräften hervorgerufen werden. In den Türmen hingen die Gegengewichte in zwei parallel zur Trogachse hintereinander stehenden Reihen; dies bedingte Seilscheibendurchmesser von rd. 7 m und gestattete damit größere Seilstärken, es hatten aber (da die Lager mit 76 t belastet waren) offenbar auch in diesem Entwurfe die Seilscheiben je zwei Rillen.

Hebewerkströge mit größerer Wassertiefe und größerer Breite werden so schwer, daß es keinesfalls mehr möglich ist, die Gegengewichte in einfachen Längsreihen neben den Trögen unterzubringen. In Bild 3 ist ein Doppelhebewerk (mit 12 m breiten Trögen und 30 m Hub) skizziert, bei dem die Gegengewichte in Reihen gehängt sind, die quer zur Hebewerksachse stehen; ihre Seile greifen an den auskragenden Enden der den Trog tragenden Joche an. (Bei 21 m breiten Trögen wären 5 statt 3 Tragjoche, also 10 statt 6 Antriebsportale nötig.) Die Gegengewichte sind in Bild 4 skizziert. Ihre Teilkörper sind so gestaltet, daß ihre Schwerpunkte und Seilanschlüsse gegeneinander versetzt sind. Es ist so möglich, auf der Seilscheibenbühne je zwei Scheibenlager hintereinander zu setzen und ein rillige Seilscheiben zu verwenden, ohne Raum zu verschwenden.

9. Antrieb

a) Bei Hebewerken, die (wie in Henrichenburg und Rothensee) an Spindeln geführt werden, erfüllen die Spindelmuttern zugleich die drei Aufgaben, den Trog zu bewegen und ihn dabei sowohl während der Fahrt wie in Katastrophenfällen in waagerechter Lage zu halten. Antriebe mit Ritzeln und Zahnstockleitern können dagegen nicht für die Katastrophenlasten bemessen werden und brauchen deswegen zusätzliche Einrichtungen zum Abbremsen und Abfangen der Überlasten. Als solche können Drehriegel (wie in Niederfinow) oder zusätzliche Ritzel verwendet werden, die - leerlaufend vom Trog mitgenommen - über Vorgelege mit Bremsen verbunden sind, wobei für diese Bremsritzel auch besondere Zahnleitern angeordnet werden können; alle solche Zusatzeinrichtungen werden sich aber nur für Gegengewichtshebewerke mit ihren verhältnismäßig kleinen Katastrophenlasten befriedigend gestalten lassen. Das Verteilen der Last auf mehrere Bremsen birgt Unsicherheiten und bedingt Vorsicht bei der Wahl der zulässigen Spannungen, zudem ist es schwierig, die Treibwagen so genau zu führen, daß die Ritzel genau waagerecht liegen und daß ihre Zähne auf ganze Breite gleichmäßig belastet werden. Vor allem können Ritzelwagen nicht so schmal wie Mutterwagen gebaut werden. Die Antriebs- und Führungsgerüste erfordern also mehr Platz neben dem Troge, und die Trogkammer wird um mehrere Meter breiter als bei Hebewerken mit Spindelantrieb.

Ritzel wie in Niederfinow federnd zu lagern, verbietet sich bei Hebewerken, deren Längsträger über mehrere Stützen durchlaufen. Durchbiegungen von ± 3 cm, wie sie in Niederfinow vor dem Aufsetzen des Troges auf die Drehriegel eintreten, würden schon unerwünschte Zusatzspannungen hervorrufen, wenn die den Trog tragenden Joche nur kleine Abstände voneinander erhalten können, wenn also die Troglängsträger nur kleine Feldweiten haben. Die "Federtöpfe" an den Ritzelarmen erhöhen überdies die Elastizität des ganzen Systems und vergrößern damit die Gefahr, daß der Trog im Katastrophenfall ruckweise weiterrutscht, solange die Überlast nicht sehr groß ist.

b) Um die waagerechte Lage des Troges während der Fahrt sicherzustellen, ist auch bei größeren Hebewerken ein "Wellenviereck" anzuordnen. Die Hauptwelle dieses Vierecks muß ohne Unterbrechung an den Antrieben vorbeigeführt werden und jeder Antrieb ist (über Kegelräder) durch eine "Stichwelle" mit der Hauptwelle zu verbinden. Tritt an irgendeinem der Antriebe eine Überlast ein, so wird die Stichwelle ausgleichende Drehmomente übertragen. Die Drehsteifigkeit der Wellen ist (u. U. durch Einschalten von Drehstabfedern) auf die Biegesteifigkeit des Troges abzustimmen, außerdem ist in die Stichwellen eine federnde Kupplung einzubauen. Wenn die zulässige Federspannung, also das zulässige Ausgleichmoment überschritten wird und die Kupplung sich infolgedessen unzu-

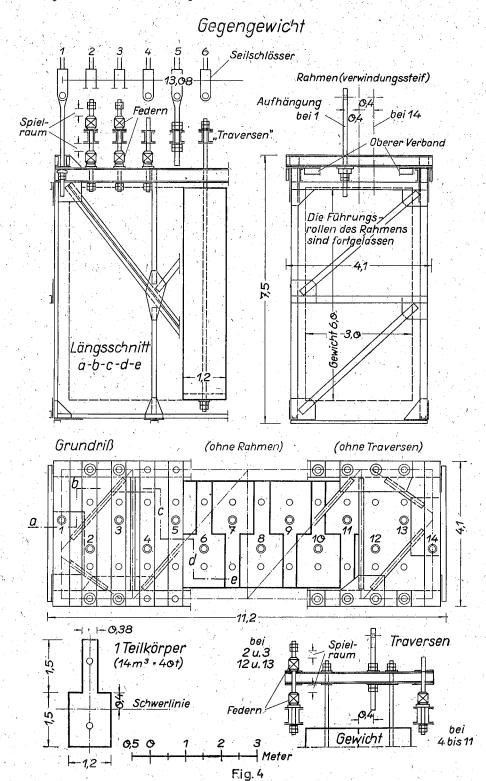


Bild 4 Gegengewicht

lässig verdreht, muß sie (z. B. durch einen aus ihr heraustretenden Nocken) einen Schalter betätigen, der einen Hilfsstromkreis unterbricht und durch diese Unterbrechung das Hebewerk stillsetzt. Dieses Messen der Überlast in der Vorgelege-Welle ist weit empfindlicher und wird eher wirken als die Schalter an den Federtöpfen Niederfinows, weil einer Wellenumdrehung nur eine kleine Hubhöhe des Troges entspricht. Trifft die Überlast gleichmäßig alle Antriebe, so schalten sie sich schon wegen zu hohen Stromverbrauchs ab.

- c) Größere Hubgeschwindigkeiten würden die Hebewerksleistung bei großen Gefällen wesentlich steigern und es u. U. ermöglichen, noch mit schmalen Trögen auszukommen, wo sonst schon schwere zweischiffige Tröge nötig würden, sie bedingen aber das Verzichten auf Selbstsperrung. Die Katastrophenlasten müssen nun von Bremsen aufgenommen werden. Bei Hebewerken mit Spindeln nach dem Vorbilde von Rothensee haben die Muttern zwei Antriebe, die ohne weiteres so stark bemessen werden können, daß selbst im Katastrophenfalle ein Schaden an einer der Bremsen noch kein Durchgehen des Hebewerks zur Folge haben würde. Mutterbackensäulen wie in Niederfinow lassen dagegen zwischen den Backen wenig Raum für die Lagerung und den Antrieb der Drehriegel frei, so daß nur beschränkte Bremsmomente auf die Riegel übertragen werden können. Für schnellfahrende Hebewerke würde daher die Anzahl der Drehriegel vergrößert werden müssen.
- d) Weil längere Spindeln nicht aus einem Stück hergestellt werden können, war die Verwendung von Spindeln auf Hebewerke mit weniger als 20 m Hub beschränkt, solange kein Weg gefunden war, Teillängen geschmiedeter Spindeln zuverlässig gegen Zug und Verdrehung zu stoßen.

Mit längeren Spindeln wird es möglich, auch Schwimmerhebewerke mit großen Hubhöhen sicher zu führen, lange Spindeln dürfen aber kein selbstsperrendes Gewinde erhalten, damit sie von Drehschwingungen verschont bleiben. Bei angestrengtem Betriebe werden die Spurlager der Muttern u. U. durch Olumlauf zu kühlen sein.

Abteilung I — Binnenschiffahrt

Mitteilung 2

Dichtung des Bettes und der Dämme der schiffbaren Kanäle und Flüsse.

Von Dr.-Ing. Arthur $R\"{o}hnisch$, Oberregierungsbaurat bei der Wasser- und Schiffahrtsdirektion Münster,

Fritz Fuhse, Regierungsbaurat a. D., Passau.

Zusammenfassung:

Im Rahmen des Ausbaues des Dortmund-Ems-Kanals konnten bei der Abdichtung der im Auftrag liegenden Kanalstrecken recht vielseitige Erfahrungen mit zahlreichen Dichtungsstoffen und verschiedenartigen Einbaumethoden gemacht werden. Besondere Schwierigkeiten entstehen beim Einbau der Dichtungsschale im Trockenen in den Fällen, 'in denen die angeschnittenen Bodenschichten der Böschungen und der Sohle von Kanälen und kanalisierten Flüssen infolge ihrer Kornzusammensetzung und infolge der Grundwasserverhältnisse so weich sind, daß sie eine einwandfreie Verdichtung nach dem Einbau durch Walzen oder Stampfen nicht zulassen. In derartigen Fällen kann der Einbau thixotroper Dichtungsmassen gegenüber weiträumigen, kostspieligen Entwässerungsmaßnahmen technisch und wirtschaftlich von Vorteil sein, da thixotrope Dichtungsstoffe eine Nachbehandlung kaum erfordern. In der inzwischen in Betrieb genommenen 2. Fahrt Lüdinghausen-Senden wurde 1954/55 eine 21/2 km lange Kanalstrecke mit Hydraton nach dem von Prof. Dr.-Ing. Keil, Dresden, vorgeschlagenen Verfahren gedichtet. Zur endgültigen Beurteilung der Bewährung muß eine mindestens 1- bis 2jährige Beobachtung der Grundwasserbeobachtungsbrunnen nach Füllung dieser Kanalstrecke abgewartet werden. Die Beurteilung würde vollständig sein, wenn in dieser Zeit die Frage der Ausschlämmbarkeit der für die Dichtung zugesetzten Chemikalien durch systematische Untersuchungen abschließend geklärt werden könnte.

Ferner wurde über Untersuchungen berichtet, die eine grundsätzliche Klärung der Frage herbeiführen sollten, ob zweckmäßiger Dichtungs- oder Entwässerungsmaßnahmen bzw. eine Kombination beider Möglichkeiten anzuwenden sind.

Die richtige Beurteilung dieser Frage und die zutreffende Einschätzung des Erfolges der möglichen technischen Maßnahmen ist für die Dichtung der im Auftrag liegenden Kanalstrecken des Dortmund-Ems-Kanals zwischen Bergeshövede und Gleesen von entscheidender Bedeutung, da längs dieser Strecke zahlreiche Verwässerungsschäden vorliegen. Außerdem müssen alle Dichtungsmaßnahmen ohne wesentliche Beeinträchtigung des Schiffsverkehrs unter Wasser durchgeführt werden. Nach Diskussion der verschiedenen Möglichkeiten wird für den Einbau von Tondichtungen unter Wasser ein technisch recht einfaches und zuverlässiges Verfahren erläutert, das beim Einbau der Sohlendichtung innerhalb der Kanalhaltung Altenrheine—Venhaus mit bestem Erfolg angewendet wurde,

Zum Vergleich gelangte gleichzeitig eine Asphaltdichtung zur Ausführung, bei der $2^1/2$ cm starke, 15 m breite, kontinuierlich gefertigte unbewehrte Matten ohne Fugen unter Wasser verlegt wurden.

Ein endgültiges Urteil über die Bewährung beider Verfahren kann naturgemäß infolge der Kürze der Bewährungszeit nicht abgegeben werden. Es ist jedoch von großem Wert, daß die beim Ausbau des Dortmund-Ems-Kanals für die Abdichtung von Kanalstrecken unter Wasser gestellte Aufgabe zwei grundverschiedene Entwicklungsmöglichkeiten aufgezeigt hat, die Aussicht haben, mit den bei derartigen Dichtungsmaßnahmen auftretenden Schwierigkeiten fertig zu werden. Es wird schließlich auch von der Weiterentwicklung beider Lösungen abhängen, welche Bauweise sich technisch und wirtschaftlich durchsetzt.

Beim Bau des Donaukraftwerkes Jochenstein, das im Sommer 1956 fertiggestellt wurde, ergab sich die Notwendigkeit, den Grundwasserspiegel einer im Staubereich unmittelbar am Fluß liegenden Ortschaft auf seiner bisherigen Höhe zu halten, obwohl der Wasserspiegel der Donau durch den Stau um etwa 6 m erhöht wird. Da wasserdichter Fels erst in 12 bis 14 m Tiefe ansteht, mit einer Überlagerung aus grobem Kies,

mußte die gesamte Ortschaft gegen die Donau zu mit einer in den felsigen Untergrund bzw. den Talhang eingreifenden Dichtungswand umschlossen werden. Wie eine Proberammung zeigte, konnten Stahlspundbohlen keine Verwendung finden, da mit ihnen wegen der im Kies eingelagerten Findlinge kein dichter Anschluß zu erzielen war. Es wurden aus den verschiedenen, vom Bauherrn wie auch von Unternehmerseite aufgestellten Entwürfen die beiden unter den gegebenen örtlichen Verhältnissen günstigsten Varianten ausgesucht. Sie wurden durch die beiden Anbieter in Arbeitsgemeinschaft zu gleichem Preis ausgeführt. Längs des Flusses wurde eine Betonwand (Länge 812 m) mittels Caissons in ausreichendem Abstand von den Häusern abgesenkt, bis auf jene Strecken, wo die Senkkästen durch einseitigen Erddruck eines Straßendammes zur Schräglage neigten. Hier wurden Ortbetonpfähle — mittels Bentonitspülung unverrohrt gebohrt — dicht an dicht hergestellt, desgleichen in unmittelbarer Nähe von Gebäuden (Länge 286 m). Nach Errichten des Staues konnte eine unerwartet geringe Wasserdurchlässigkeit festgestellt werden.

Literatur:

 Prof. Dr.-Ing. Keil, "Die Hydrationsmethode, ein neuer Prozeß der Bodenverfestigung durch anorganische Kräfte"

Bericht zur 3. Internationalen Konferenz über Bodenmechanik, Schweiz, August 1953.

[2] Oberreg baurat Dr.-Ing. Röhnisch, "Fertigung und Verlegung von fugenlosen Asphaltmatten"

Baumaso	hine ur	nd Ba	utechnik, Mai 1956.	٠.,
	1		Selfo	
V 2	eri Visit serve	1.	Allgemeiner Überblick	2
Gliederung:		2	Dichtungsmaßnahmen an Kanälen	4
	ć	2.1	Anwendung des Hydratonverfahrens 104	4
		2.11	Ergebnisse der mit Hydraton durchgeführten Versuche 10-	4
		2.12	Erfahrungen auf der Baustelle	8
4	-	2.2	Untersuchungen zur grundsätzlichen Klärung der Frage	
	100		von Dichtungs oder Entwässerungsmaßnahmen 109	9
1		2.3	Durchführung von Dichtungsarbeiten unter Wasser am	
			Dortmund-Ems-Kanal	2
		2.31	Einbau einer Tondichtung	7
		2.32	Verlegung von Asphaltsmatten	0
		3.	Dichtungsmaßnahmen an Flüssen — Dichtungswand in	
			kiesigem Untergrund mit Findlingen an der Donau . 123	3
		3.1	Veranlassung und Zweck der Baumaßnahmen 123	3.
As a second	17.0	3.2	Die verschiedenen Ausführungsvorschläge 123	3
profit in the second of	100	3.3	Die Bewertung der Vorschläge	7
		3.4	Bauausführung	ġ
	•	3.5	Erfahrungen	1

1. Allgemeiner Überblick

Im Kanalbau und bei kanalisierten Flüssen ist die Dichtung der Sohle und der Böschungen innerhalb der Auftragsstrecken von entscheidender Bedeutung. Sie wird bei Kanalneubauten und bei der Kanalisierung von Flüssen in der Regel im Trockenen eingebaut. Als Dichtungsstoffe werden bindige Böden wie Ton oder Lehm sowie Asphalte, in der Hauptsache auf Bitumenbasis, verwendet. Bei dem Ausbau bzw. späteren Erweiterungen von Kanälen oder Flüssen wird jedoch vielfach auch die wesentlich schwierigere Forderung gestellt, den Einbau der Dichtung unter Wasser und außerdem ohne Sperrung und wesentliche Beeinträchtigung der Schiffahrt durchzuführen.

Im Rahmen des Ausbaues des Dortmund-Ems-Kanals wurden die erforderlichen Dichtungsarbeiten bis zur Inangriffnahme der Kanalstrecke nördlich Bergeshövede vor etwa 2 Jahren fast ausschließlich im Trockenen ausgeführt, da die

zu dichtenden Ausbaustrecken innerhalb neuer Kanalstrecken (sogenannter zweiter Fahrten) lagen. Die Dichtungsschale bestand in der Regel aus einer 30 bis 60 cm starken Lehm- bzw. Tonschicht oder versuchsweise aus einer bis 6 cm starken Asphaltmastixschicht. Bei beiden Lösungen erhielt die Dichtungsschale zur Vermeidung von Schäden durch Anker- oder Schlepptrossen eine Schutzschicht, und zwar im Fall der Dichtung mit Lehm und Ton, aus grobsandigen Erdböden oder Haldenabraum von rd. 1,0 m Stärke und bei der Asphaltausführung eine solche aus einer mageren Alphaltmastix (4 bis 5 % Bitumen) in 10 cm Stärke.

Beide Ausführungen haben sich in jeder Beziehung bewährt. Auch die Asphaltbauweise hat inzwischen eine Bewährungszeit von über 20 Jahren überstanden. Mängel infolge von Veränderungen des Aphaltmaterials durch Versprödung oder andere Einwirkungen konnten bei den sehr eingehenden Untersuchungen der Versuchsstrecken in der 2. Fahrt bei Olfen nach 20jähriger Bewährung nicht festgestellt werden. Ihre weitere Anwendung wird davon abhängen, ob in der näheren Umgebung der einzelnen Baustellen Ton- oder Lehmvorkommen zur Verfügung stehen, ferner aber auch von der Entwicklung neuer geeigneter Geräte für die Aufbereitung und den Einbau der Asphaltmastix, um die Herstellung derartiger Asphaltteppiche zu rationalisieren und damit die Kosten wesentlich zu verringern.

Die Einbaumethoden von Ton- oder Lehmdichtungen im Trockenen sind gleichfalls weitgehend bekannt. Die hierbei auftretenden Probleme sind in erster Linie bodenmechanischer Art. Die Hauptschwierigkeit bzw. Aufgabe besteht darin, durch eine wirkungsvolle Verdichtung der bindigen Erdbaustoffe eine möglichst hohlraumfreie homogene Dichtungsschicht zu erhalten. Man wird zweckmäßig in allen Fällen rechtzeitig vor Ausführung der Dichtungsmaßnahmen eine eingehende Untersuchung (Ermittlung der Kornverteilung und der Durchlässigkeit, Prüfung der Wasseraufnahmefähigkeit, Proctor- oder AASHO-Versuche) der in Frage kommenden Dichtungsstoffe vornehmen, um jeweils die technisch und wirtschaftlich günstigsten Dichtungsstoffe für die Ausführung vorzusehen. Für die Verdichtung bindiger Bodenmassen wurden früher überwiegend glatte Walzen eingesetzt, In neuerer Zeit verwendet man Schaffußwalzen, die einen gleichmäßigen Druck in größere Tiefen ausüben und dadurch eine intensivere Verdichtungsarbeit leisten.

An Flüssen zwingen die geologischen und hydrologischen Verhältnisse häufig zu besonderen Dichtungsmaßnahmen, da sich bei ihnen die im Kanalbau gebräuchlichen Ton-, Lehm- oder Asphaltdichtungen nur selten im Trockenen oder unter Wasser einbauen lassen. Neben der Dichtung aus Betonplatten werden bei Staustufen auch beim Stauwehr beginnende und an beiden Uferseiten nach oberstrom verlaufende Dichtungsspundwände, die bis in den wasserundurchlässigen Untergrund einbinden, mit Erfolg angewendet. Diese Möglichkeiten zur Dichtung an Flüssen sind hinreichend bekannt und bedürfen keiner näheren Erläuterung. Beim Bau der Donaustaustufe Jochenstein dagegen mußte wegen des vorhandenen kiesigen Untergrundes mit Findlingen im Bereich des Ortes Obernzell eine Dichtungswand aus Senkkästen und Betonpfählen errichtet werden.

Der nachfolgende Beitrag wird sich mit neuen Bauweisen und mit der Ausführung von Dichtungsmaßnahmen unter Wasser und am Flußufer beschäftigen, über die recht wenig Erfahrungen in der Fachliteratur vorliegen. Es wird daher angenommen, daß die hierbei gewonnenen Erkenntnisse für die Fachkreise von Interesse sein werden.

2. Dichtungsmaßnahmen an Kanälen

2.1 Anwendung des Hydraton-Verfahrens

Zunächst soll über die Anwendung des von Prof. Dr.-Ing. Keil, Dresden, entwickelten Hydraton-Verfahrens [1] berichtet werden, das beim Neubau der 2. Fahrt Lüdinghausen—Senden neben der üblichen Tondichtung erstmalig im Bundesgebiet Anwendung fand.

In einer etwa 2,4 km langen Einschnittstrecke der 2. Fahrt des Dortmund-Ems-Kanals bei Lüdinghausen-Senden wurde Senkel — eine landesübliche Bezeichnung für schluffigen Mehlsand mit organischen Beimengungen — angetroffen. Die vorhandene geringe Standfestigkeit des Untergrundes ließ die Verdichtung mit einer Lehm- bzw. Tonschicht nicht zu, wie sie in den anschließenden Strecken (sandiger Untergrund) als Dichtung eingebaut wurde. Versuche, locker eingebauten Lehm unter Wasserzugabe zu stampfen und durch Aufbringen von Senkel ein Eindringen des Überdeckungssandes in die noch vorhandenen Hohlräume der Dichtungsschicht zu verhindern, brachten nicht den gewünschten Erfolg. Eine Erhöhung der Standsicherheit des Untergrundes durch die Anlage einer ausgedehnten Flächendrainage zur Entwässerung der Kanalsohle und Böschungen erwies sich als sehr kostspielig. Es lag daher nahe, das s. Z. bereits beim Talsperrenbau in der Deutschen Demokratischen Republik erprobte Hydraton-Verfahren anzuwenden.

Nach diesem Verfahren kann jeder beliebige in der Natur vorhandene Boden im Kornbereich von Kies, Sand, Löß bis zum Schluff durch Zugabe von Chemikalien, von Wasser und eines Zusatzes hydratisierender Bodenarten verbessert werden. Die mengenmäßige Zusammensetzung hängt vom Porenvolumen des zur Verwendung vorgesehenen Bodenmaterials ab und muß von Fall zu Fall bestimmt werden. Der Hydraton besitzt auf längere Zeit thixotrope Eigenschaften, d. h. die beim Mischen entstehende breitg-flüssige Masse versteift im Ruhestand, sie besitzt jedoch die Fähigkeit, bei entsprechender Bewegung (Rütteln, Schütteln) unvermittelt wieder in weichplastische Konsistenz überzugehen. Der Hydraton ist überdies unabhängig vom optimalen Wassergehalt und somit unempfindlich gegen Wasserandrang aus dem Untergrund und gegen Niederschläge. Die Herstellung und der Einbau des Hydratons wird durch diese Eigenschaften sehr vereinfacht, eine Verdichtungsarbeit ist überflüssig. Der in Lüdinghausen eingebaute Hydraton enthielt auf 1 m³ Fertigmasse etwa:

1660 kg Senkel
50 kg Tonmehl
51 kg Wasserglas
1275 gr kalzinierte Soda
120—130 l Wasser

Der Einbau der Dichtung (Bild 1) wurde von der Firma Rathjens, Hamburg, ausgeführt und von der Firma Gebhardt u. Koenig, Schachtbau GmbH., als Lizenzträgerin des Verfahrens überwacht. Beide Firmen haben im Rahmen der VOB die Gewährleistung für die Güte der eingebauten Dichtungsschicht übernommen.

2.11 Ergebnis der mit Hydraton durchgeführten Versuche

In der Bundesanstalt für Wasserbau, Karlsruhe, und in der Wasser- und Schiffahrtsdirektion Münster wurden eingehende Versuche mit dem Ziel durchgeführt, die Eigenschaften des Hydratons festzustellen und seine Eignung für den vorgesehenen Zweck zu überprüfen. Nach den Feststellungen der Bundes-

anstalt für Wasserbau, Karlsruhe, Abteilung Erd- und Grundbau, besaß der Hydraton folgende bodenmechanische Kenntwerte:

Der Winkel der inneren Reibung betrug nach einer Vorbelastung von 2 kg/cm² $\varrho=26.5^{\circ}$, die Kohäsion c=0.3 kg/cm². Zu Vergleichszwecken

Regelquerschnitt für die Strecken mit Hydraton-Dichtung 2. Fahrt Lüdinghausen Senden

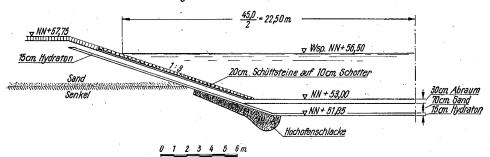


Abb. 1

Bild 1 Regelquerschnitt für die Dichtung der 2. Fahrt Lüdinghausen — Senden mit Hydraton

wurden für Ton aus Gahlen $\varrho=12.4^\circ$ und c=0.3 kg/cm², für das Ausgangsmaterial Senkel $\varrho=32^\circ$ und c=0 ermittelt.

Eine Kornanalyse wies bei Hydraton einen etwas größeren Anteil an Feinstbestandteilen gegenüber dem Senkel auf, auch die gröberen Kornfraktionen waren weit stärker als beim Gahlener Ton vertreten (Bild 2).

Kornverteilungskurven

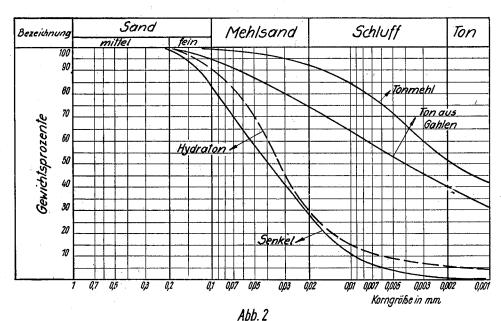


Bild 2 Kornverteilungskurven von Hydraton und seiner einzelnen Bestandteile

Die Zusammendrückbarkeit, charakterisiert durch den Wert v in der Formel E=v p, wurde durch Kompressionsversuche, bei denen die Belastung bis $p=5.2~kg/cm^2$ gesteigert wurde, für Hydraton zu v=40-58, für Ton und Lehm zu v=20 ermittelt. Unter der Annahme, daß die Steifeziffer direkt proportional dem Druck p angenommen werden kann, besitzt der auf der Baustelle Lüdinghausen verwandte Hydraton demnach eine geringere Zusammendrückbarkeit als Ton und Lehm.

Die Volumenänderung beim Austrocknen betrug beim Hydraton 6,6 % (gegenüber 14,3 % beim Ton aus Gahlen). In einer etwa 2 cm starken Hydratonschicht auf Sand entstand bei Lufttrocknung unter schwacher Sonneneinwirkung ein etwa 3 mm breiter Riß auf der ganzen Breite und Stärke der Schicht. Dieser begann schmaler zu werden, sobald die Masse unter Wasser gesetzt wurde, ohne sich jedoch innerhalb von 5 Tagen zu schließen.

Die mit durchgeknetetem Hydraton durchgeführten Zugversuche ergaben, daß der Versuchskörper infolge Thixotropie keine Zugkräfte aufnehmen konnte, während für Gahlener Ton Zugspannungen von 0,95 kg/cm² gemessen wurden.

Die Beständigkeit bei Wasserlagerung wurde mit ungestörten Proben, die aus einer in Ruhe befindlichen Hydratonschicht in gewissen Zeit-

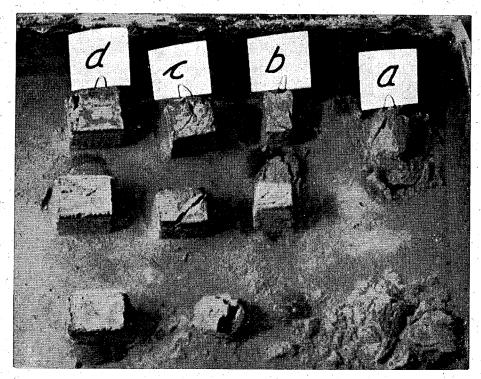


Bild 3 Zerfallversuche mit ungestört entnommenen Hydratonproben im Wasserkasten Entnahme der Proben:

- a) unmittelbar nach Herstellung
- b) 20 Stunden nach Herstellung
- c) 2 Tage nach Herstellung
- d) 5 Tage nach Herstellung

abständen entnommen waren, geprüft. Diese Proben wurden in einen Wasserkasten gelegt, wo sie zu etwa ³/₄ in ihrer Höhe mit Wasser benetzt wurde. Während die unmittelbar nach der Herstellung entnommenen Proben nach 20 Stunden zerfielen, konnte bei den 5 Tage nach Herstellung der Schicht entnommenen Proben nach 32 Tagen keine wesentliche Veränderung festgestellt werden (Bild 3). Der zu Vergleichszwecken geprüfte Ton zeigte nach 1,5 Monaten keinerlei Zerfallserscheinungen. Als entscheidend wurde der anschließend durchgeführte Versuch angesehen, bei dem eine Hydratonschicht mit einer Sandschicht geschützt unter Wasser gesetzt wurde. Bei dieser Schicht konnten nach einem Monat keine Veränderungen festgestellt werden.

Die Erosionsbeständigkeit des Hydratons wurde an einer 10 cm hohen Probe, die in weichplastischem Zustand eingebaut wurde, nachgewiesen. Nach dreistündigem Durchströmen eines in die Probe gestoßenen Loches wurde ein Gewichtsverlust von etwa 20 % des ursprünglichen Gewichtes festgestellt. Bei einer Probe, die 5 Tage nach Herstellung geprüft wurde, konnte nach 8 Tagen kein Gewichtsverlust festgestellt werden.

Der in der Baustoffprüfanstalt in Münster nach Darcy im Durchlässigkeitsgerät ermittelte Durchlässig keits bei wert betrug am 1. Tag i. M. k = $1\cdot 10^{-7}$ cm/sec. Er sank in den folgenden Tagen auf einen nahezu konstanten Wert k = $2\cdot 10^{-8}$ cm/sec. Bei Ton aus Gahlen wurde k = $1\cdot 10^{-9}$ cm/sec, bei Senkel k = $8.5\cdot 10^{-6}$ cm/sec gemessen. Durch Tonmehlzusätze konnte die Dichtungswirkung des Senkels vergrößert werden. Sie betrug maximal bei etwa 12^{-9} 0 Tonmehlanteil k = $5\cdot 10^{-7}$ cm/sec:

Ferner wurde festgestellt, daß die Durchlässigkeit des Hydratons bei intensiver Frosteinwirkung zunahm. Sie stieg bei einer Probe, die 36 Stunden einer Temperatur von — 5° C ausgesetzt war, auf $k=3.3\cdot 10^{-7}$ cm/sec und bei einer Probe, die weitere 72 Stunden je zur Hälfte einer Temperatur von — 10° C und — 15° C ausgesetzt war, auf $k=8.6\cdot 10^{-7}$ cm/sec an. Die in der Kühltruhe festgestellten Versuchsergebnisse wurden durch Prüfung von ungestört entnommenen Proben aus der fertig eingebauten Schicht, die verschieden starken Frosteinwirkungen ausgesetzt war, bestätigt.

Die Baustoffprüfanstalt in Münster prüfte ferner die Ausschlämmbarkeit der zugesetzten Chemikalien während eines über ein Jahr laufenden Durchlässigkeitsversuches. Dabei wurde das durch die Probe gesickerte Wasser auf Natronlauge und Kieselsäure untersucht. Die Versuchsdurchführung erfolgte in der Weise, daß eine zeitraffende Wirkung erzielt wurde. Die Untersuchungen ergaben, daß nach rd. 5 Monaten etwa 33 % der im Wasserglas zugesetzten Kieselsäure ausgeschlämmt waren. In der folgenden Zeit war keine Kieselsäure mehr im Sickerwasser festzustellen. Die im Wasserglas und im Soda des frischen Hydratons enthaltene Natronlauge wurde während des Versuches völlig ausgespült, teils in Form von reiner Natronlauge oder an Huminsäure gebunden. Da der Anteil der Huminstoffe im Senkel in größeren Grenzen schwankte, war die Menge der ausgeschlämmten Kieselsäure bei vergleichenden Versuchen teilweise noch höher.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, daß die mit Hydraton durchgeführten Versuche in Beziehung auf die für eine Kanaldichtung wichtigen Eigenschaften — Durchlässigkeit, Scherfestigkeit, Beständigkeit gegen Erosion und gegen Zerfall bei Wasserlagerung — günstige Ergebnisse gezeigt haben. Die Dichtungsschicht ist jedoch nach Einbau durch Aufbringen der Überdeckung gegen Austrocknen und gegen Einwirkung von Frost sorgfältig zu schützen. Es

muß damit gerechnet werden, daß die zugesetzten Chemikalien, die wesentlich zur Erleichterung des Einbaues, aber auch zur Erhöhung der Dichtungswirkung beitragen, im Laufe der Zeit teilweise ausgeschlämmt werden. Die Durchlässigkeit des Hydratons nimmt dadurch in geringem Maße zu, jedoch kann die Dichtungsmasse nach der üblichen Klassifizierung weiterhin in die Gruppe der stark bindigen Böden eingereiht werden. Es wäre erwünscht, wenn die Frage der Ausschlämmbarkeit der zugesetzten Chemikalien durch systematische Untersuchungen eine endgültige Klärung erfahren könnte.

2.12 Erfahrungen auf der Baustelle

Der für die Aufbereitung des Hydratons verwendete Senkel wurde beim Bodenaushub des Kanalprofils gewonnen und in Großraumloren zu einer für die gesamte Strecke zentralgelegenen Mischanlage transportiert. Diese bestand aus einem Zwangsmischer, wie er im Betonbau Verwendung findet. Der Umschlag des Senkels in den Mischer und die Zuführung der Zusätze wurde durch einen Greifbagger vorgenommen. Die Mischzeit betrug etwa 3 Minuten. Die Beschickung der Transportloren mit der fertigen Masse erfolgte direkt aus dem hochgelegenen Mischer. An der Einbaustelle wurde der Hydraton durch einen Greifbagger, der auf der Kanalsohle stand, über das Kanalprofil verteilt, wobei der Greiferkorb zum Glätten der zunächst ungleichmäßig abgesetzten Masse verwandt wurde (Bild 4 und 5). Das auf dem Transport zum Teil verfestigte Mate-

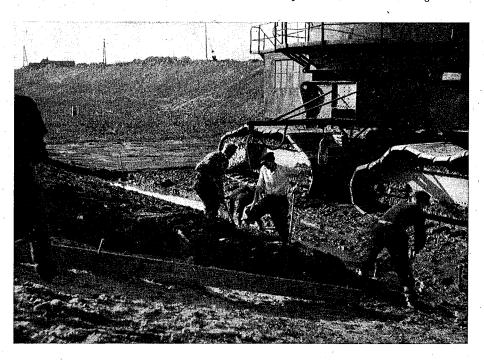


Bild 4 Einbau des Hydratons in der Böschung

rial wurde durch die Bewegungen beim Entladen der Loren und beim Glätten infolge seiner Thixotropie wieder weich plastisch, so daß es keine Schwierigkeit bereitete, der Dichtungsschicht eine glatte Oberfläche zu geben. An den Böschungen, vor allem am Böschungsfuß, wurde von Hand nachgearbeitet. Der in einer Stärke von 15 cm eingebaute Hydraton wurde sofort nach Einbau mit Sand überdeckt.

Uber die Bewährung der Dichtung kann wegen der Kürze der Zeit, die seit Füllung und Inbetriebnahme der 2. Fahrt vergangen ist, noch nicht endgültig berichtet werden. Offensichtliche Mängel sind bisher nicht beobachtet worden.

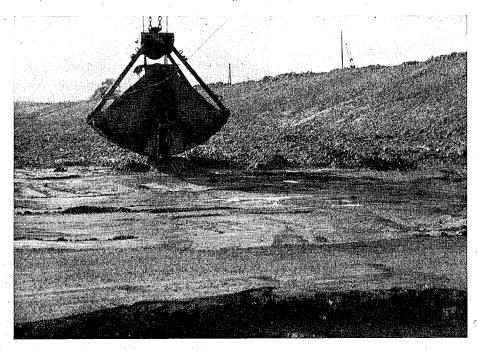


Bild 5 Glätten der Dichtungsschicht aus Hydraton und Aufbringen der Schutzschicht

Jedoch wird erst ein Vergleich der Ganglinien der Grundwasserstände längs der mit Hydraton abgedichteten Kanalstrecke vor und nach der Füllung für eine ausreichend lange Beobachtungszeit endgültig klären, ob die Anwendung des Hydratonverfahrens die gewünschte dauerhafte Dichtung von Kanälen in Auftragsstrecken gewährleistet.

2.2 Untersuchungen zur grundsätzlichen Klärung der Frage von Dichtungsoder Entwässerungsmaßnahmen

Beim Ausbau der Kanalstrecke Bergeshövede-Gleesen des Dortmund-Ems-Kanals für das 1000 t-Schiff mußte die vorhandene Dichtung zur Erhöhung der Fahrwassertiefe teilweise beseitigt werden, sofern sie nicht bereits durch die Schraubenwirkung der Schlepper und Selbstfahrer im Bereich des mittleren Verkehrsbandes herausgespült war. Hierdurch waren die Wasserverluste auf einzelnen Strecken schon im alten Kanalprofil erheblich, so daß die Ländereien beiderseits des Kanals streckenweise starke Verwässerungsschäden aufwiesen. Der Kanal mußte daher beim Ausbau durch einseitige Verbreiterung innerhalb der Auftragsstrecken mit einer neuen Dichtung versehen werden. Eine Sperrung und Trockenlegung des Kanals war auch zeitweise nicht möglich. Daher mußten neue Wege und Lösungen gesucht und gefunden werden, die erforderliche Abdichtung des Kanals unter Aufrechterhaltung der Schiffahrt unter Wasser einwandfrei durchzuführen.

Vor Beginn der Ausbauarbeiten wurden zahlreiche Versuche durchgeführt, um die Dichtungsmaterialien, die für den Einbau in Frage kamen, auf ihre Eignung zu untersuchen. Außerdem ließ die Wasser- und Schiffahrtsdirektion Münster in der Bundesanstalt für Wasserbau, Karlsruhe, Abteilung Erd- und Grundbau, Modellversuche durchführen, mit deren Hilfe die Wirkung einzelner Dichtungsmaßnahmen und weiterer Möglichkeiten zur Vermeidung bzw. Beseitigung von Verwässerungsschäden untersucht wurden. Zu diesem Zweck wurde ein charakteristischer Ausbauquerschnitt des Kanals, an dem größere Verwässerungsschäden festgestellt worden waren, mit dem dahinter liegenden Gelände im Modell (Modellmaßstab 1 : 25) dargestellt. Die Kornverteilung des Untergrundes wurde durch Analyse von Bodenproben, die gestört aus Bohrlöchern entnommen wurden, seine Durchlässigkeit mit Hilfe von Durchlässigkeitsversuchen bei verschiedenen Porenvolumina im Laboratorium ermittelt. Die in verschiedenen Tiefen vorhandene Lagerungsdichte des anstehenden sandigen und kiesigen Materials wurde durch Strahlungsmessungen mittels radioaktiver Isotopen nach dem Vorschlag von Prof. Dr.-Ing. Lorenz festgestellt. Die Höhe des Grundwasserspiegels ergab sich aus den über Jahre abgelesenen Grundwasserbeobachtungen in zahlreichen Brunnen. Die ermittelten Boden- und Grundwasserverhältnisse wurden dem Modell zugrunde gelegt. An dem für die Versuche benutzten Kanalquerschnitt, der teilweise in den Böschungen alte Seitendichtungen aufwies, wurden im Modell folgende Maßnahmen zur Verringerung des Wasserverlustes aus dem Kanal untersucht:

- a) Einbringung einer Sohlendichtung,
- b) Einbau von Dichtungsschürzen in den Leinpfaden beiderseits des Kanals,
- c) Vertiefung der Sickerwassergräben von 0,5 m auf 1,0 m unter Geländeoberfläche.

Während der Versuche wurden der Grundwasserhorizont und die Sickerwassermengen gemessen, die teils in den Grundwasserstrom übergingen, teils durch die Sickergräben abgeleitet wurden.

Die Versuche zu a) zeigten, daß die Sohlendichtung auf die Sickerwassermenge und auf die Höhe des Grundwasserspiegels keinen wesentlichen Einfluß ausübt, da die Wasserverluste hauptsächlich infolge Durchsickerung der Böschungen eintraten.

Zu b): Der Einbau von Dichtungsschürzen, die infolge der allzu großen Tiefe der bindigen Schichten (20—25 m) und daher infolge der erheblichen Kosten nicht in die undurchlässigen Schichten einbanden, brachte erwartungsgemäß eine Absenkung der Sickerlinie unmittelbar hinter der Wand (Bild 6). Wie die durch Färben des Kanalwassers sichtbar gemachten Stromlinien der Sickerströmung zeigten, wurde dadurch eine Verlängerung des Sickerweges erzwungen. Gemessen wurden folgende Spiegeldifferenzen vor und hinter der Schürze:

bei 5 m tiefer Schürze : \triangle H = 0,55 m bei 10 m tiefer Schürze : \triangle H = 0,85 m bei 15 m tiefer Schürze : \triangle H = 1,06 m.

Eine verhältnismäßig geringe Absenkung des Grundwasserspiegels im Gelände konnte jedoch erst bei einer 15 m tiefen Schürze, und zwar von 11 cm, festgestellt werden. Die Gesamtwasserverluste verringerten sich, bezogen auf

die Sickerwassermenge des Kanals ohne Schürze, bis zu etwa 50 % bei 15 m tiefer Schürze. Während hierbei die Speisung des Grundwasserstromes anteilmäßig nur sehr wenig abnahm, wurde der Abfluß durch den Graben bis zu etwa 60 % bei 15 m tiefer Schürze verringert. Die Tendenz der wasserführenden Stromlinien, bei tiefer werdender Schürze den freien Grundwasserspiegel in immer größerer Entfernung vom Sickerwassergraben zu erreichen, wird deutlich erkennbar.

Zu c) Bei einer Vertiefung des Grabens ergaben sich erhebliche Absenkungen des Grundwasserstandes gegenüber dem Zustand mit kleinem Graben. Die Sickerwassermenge, die den Grundwasserstrom speist, nahm dabei ab, während die Wassermenge, die durch den Graben abgeführt werden muß, und der Gesamtwasserverlust anstiegen.

Zusammenfassend konnte auf Grund der Versuche festgestellt werden, daß die untersuchten Dichtungsmaßnahmen weder in Beziehung auf die Höhe des

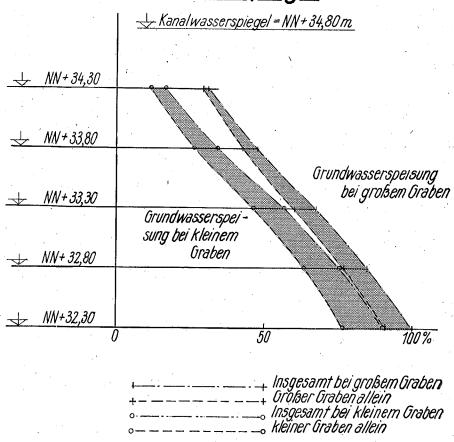
Bild 6 Sickerlinien im Damm eines Kanals im Auftrag bei Dichtung mit 15 m tiefer Schürze (Modellversuch)

Grundwasserspiegels noch auf die Sickerwasserverluste den gewünschten Erfolg brachten. Dagegen bewiesen die Versuche die Möglichkeit, durch einen vertieften Sickerwassergraben den Wasserspiegel des Grundwassers wesentlich abzusenken. Allerdings muß dabei ein größerer Wasserverlust infolge der stärkeren Neigung der Sickerwasserlinie im Damm des Kanals in Kauf genommen werden.

Die Wasserverluste wurden in einer zusätzlichen Versuchsreihe für verschiedene Druckhöhen zwischen Kanal- und Grundwasserspiegel ermittelt (Bild 7). Diese Methode zur Vermeidung der Verwässerungsgefahr kann im allgemeinen nur dann wirtschaftlich sein, wenn die örtlichen Verhältnisse die Herstellung der Vorflut des Sickerwassergrabens zum Unterwasser der nächstens Schleuse zulassen und dadurch die Rückführung des größten Teiles des Wasserverlustes in den Kanal gestatten.

Die erforderlichen Baumaßnahmen wurden auf Grund der Versuche unter Berücksichtigung der örtlichen Gegebenheiten — Durchlässigkeit des Bodens, Wasserhaushalt des Kanals, Differenz zwischen Kanal- und Grundwasserspiegel usw. — ausgeführt.

Abflußmengenverhältnisse bei verschiedenen Differenzen zwischen Kanalwasser und Grundwasserspiegel



Abh 7

Bild 7 Darstellung der Abflußmengenverhältnisse bei verschiedenen Differenzen zwischen Kanal- und Grundwasserspiegel (Modellversuch)

2.3 Durchführung von Dichtungsarbeiten unter Wasser am Dortmund-Ems-Kanal

Wie bereits ausgeführt wurde, muß der Ausbau der Kanalstrecke Bergeshövede-Gleesen des Dortmund-Ems-Kanals bei gefülltem Kanalbett und ohne wesentliche Beeinträchtigung des Schiffsverkehrs durchgeführt werden. Das dem Ausbau zugrunde gelegte Regelprofil sieht in den Auftragsstrecken einen einseitigen Ausbau mit Spundwänden vor (Bild 8). Die Kanalsohle wird tiefer gelegt; das der Spundwand gegenüberliegende Ufer, dessen Böschung teilweise mit einer Tondichtung versehen ist, bleibt von den Baumaßnahmen unberührt, die

Tondichtung wird entsprechend der Wasserspiegelanspannung um 50 cm hochgezogen.

Die Schlösser der neuen Uferspundwand werden auf Anregung der Dortmund-Hoerder-Hüttenunion während des Rammens mit Hilfe eines an die einzelnen Spundbohlen gehängten Trichters mit Thixoton gefüllt, um neben Rammerleich-

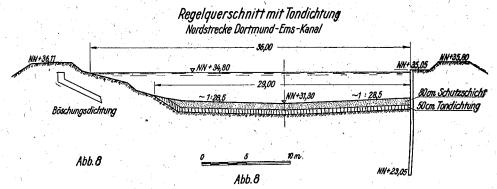


Bild 8 Regelquerschnitt des Dortmund-Ems-Kanals im Auftrag, Nordstrecke mit Tondichtung

terungen eine möglichst dichte Uferwand zu erreichen. Die eigentlichen Dichtungsmaßnahmen erstrecken sich infolgedessen im Bereich der vorstehenden Ausbaustrecke ausschließlich auf die Sohle des Kanals. Der Untergrund besteht bis in große Tiefen aus Feinsanden, erst in einer Tiefe von 20 bis 25 m wurde bei den durchgeführten Bohrungen die Oberkante eines undurchlässigen Mergels angetroffen.

Da mit gewissen Mängeln beim Einbau einer Dichtungsschicht unter Wasser gerechnet werden mußte, wurden vor Beginn der Arbeiten in der Baustoffprüfanstalt der Wasser- und Schiffahrtsdirektion Münster verschiedene Dichtungsmaterialien auf ihre Durchlässigkeit untersucht, wobei die besonderen Bedingungen des geplanten Einbaues berücksichtigt wurden. Die Versuche wurden in einem besonders dafür hergestellten Durchlässigkeitsgerät durchgeführt, das einen Einbau des Materials unter Wasser zuließ und auf Grund seiner großen Durchsickerungsfläche (F = 7850 cm²) Fehlerquellen, durch die Form des Dichtungsmaterials und die Art des Einbaues bedingt, ausschaltete (Bild 9). Die Versuchsbedingungen — Schichtstärke der Dichtungen und der Überdeckung, Größe des Wasserdrucks, Kornaufbau des Filters - wurden weitgehend den Verhältnissen in der Natur angepaßt. Von dem sehr ungünstigen Fall ausgehend, daß die Dichtungsschicht mittels Greifbagger ohne nachträgliche Verdichtung in den Kanal eingebaut wird, wurde das Versuchsmaterial in einem Eimer bis zur Sohle des mit Wasser gefüllten Gerätes hinabgelassen und dort ausgekippt. Eine Verdichtungsarbeit wurde dabei nicht geleistet. Folgende Materialien wurden geprüft:

Ton aus Gahlen,

Ton aus der Kippe bei Hesselte (ursprünglich für die Dichtung des Seitenkanals Gleesen-Papenburg angefahren),

Lehm aus Waltrop,

Hydraton (hergestellt aus dem auf der Baustelle bei Venhaus anstehenden Sand),

Schlick aus Emden.

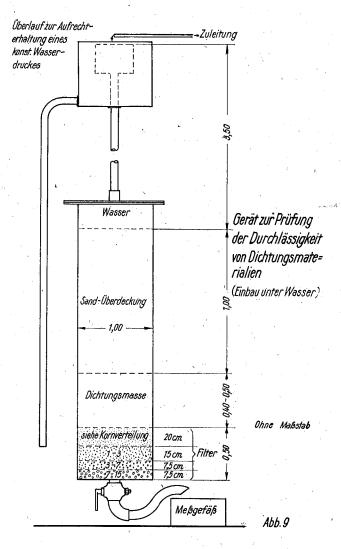


Bild 9 Gerät zur Prüfung der Durchlässigkeit von Dichtungsmaterialien nach Einbau unter Wasser (schematische Darstellung)

Die Dichtungsmaterialien wurden ohne vorherige Bearbeitung in einer Form in das Gerät eingebracht, wie sie durch Transport und Lagerung entstanden war. Schlämmanalysen ergaben die in Bild 10 dargestellten Kornverteilungskurven. Auf den in der Zeiteinheit gemessenen Wassermengen ergaben sich die Durchlässigkeitswerte k. Diese nahmen vor allem bei den zum Teil in gröberen Brocken eingebauten Dichtungsmaterialien im Laufe der Zeit stark ab, da die größeren Stücke infolge Wasseraufnahme ihre Konsistenz veränderten. Dadurch begannen sich die in der Schicht vorhandenen Hohlräume unter dem Einfluß der Auflast zu schließen.

Während der Versuche (Versuchsdauer bis zu 3 Monaten) wurde eine Verringerung der Porenvolumen bis zu 13 %, bezogen auf das Porenvolumen zu





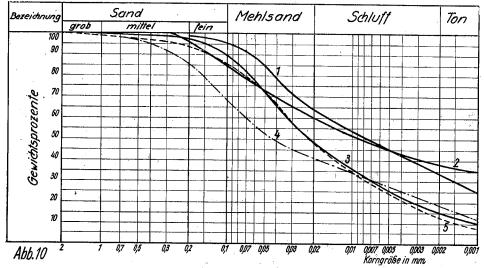


Bild 10 Kornverteilungskurven der geprüften Dichtungsmaterialien

Versuchsbeginn, gemessen. Die Durchlässigkeitsbeiwerte zu Versuchsende betrugen

für Ton aus Gahlen:

 $k~\sim~\text{1,0}~\cdot~\text{10-6}~\text{cm/sec}$

für Ton aus Hesselte:

 $k \sim 2.0 \cdot 10^{-5}$ cm/sec Versuch 1

 $k \sim 3.6 \cdot 10^{-5}$ cm/sec Versuch 2

für Lehm aus Waltrop:

 $k \sim 2.2 \cdot 10^{-6} \text{ cm/sec}$

für Hydraton:

 $k \sim 1.8 \cdot 10^{-6}$ cm/sec

für Schlick:

 $k \sim 1.2 \cdot 10^{-7} \text{ cm/sec}$

Durchlässigkeitsversuche, die für den Ton aus Gahlen und Hesselte und für den Lehm aus Waltrop bei dichter Lagerung im normalen Prüfgerät durchgeführt wurden, ergaben demgegenüber die folgenden weit geringeren Werte:

Ton aus Gahlen:

 $k~\sim~7~\cdot~10^{\text{-8}}~\text{cm/sec}$

Ton aus Hesselte:

 $k \sim 3 \cdot 10^{-8}$ cm/sec

Lehm aus Waltrop:

 $k~\sim~2~\cdot~10^{-8}~cm/sec$

Diese Werte und die der Porenvolumen des Dichtungsmaterials lassen vermuten, daß in größeren Zeiträumen, vor allem bei den natürlichen Dichtungsmaterialien Ton und Lehm eine weitere Verbesserung der Dichtungswirkung eintritt.

Die Versuche zeigten, daß die untersuchten Materialien auch bei ungünstigsten Bedingungen eine brauchbare Dichtungsschicht ergaben, zumal beim Einbau in der Natur eine zusätzliche Verdichtungsarbeit vorgesehen war. Die Wahl des Dichtungsmaterials konnte deshalb nach wirtschaftlichen Gesichtspunkten getroffen werden.

Gerät zum Einbau von Tondichtungen unter Wasser

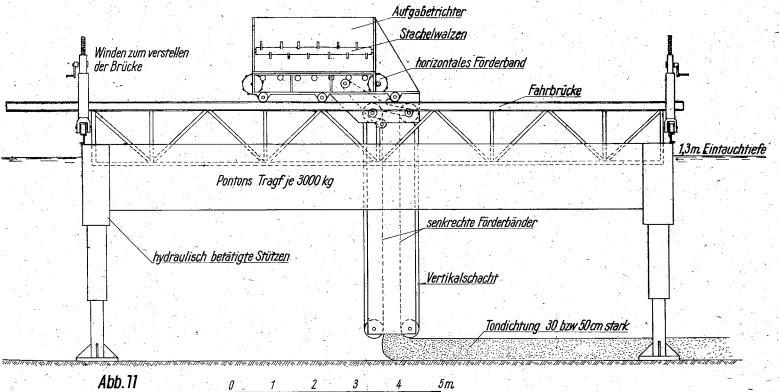


Bild 11 Gerät zum Einbau von Tondichtungen unter Wasser

Die Ausschreibung der Ausbauarbeiten einschließlich Ausführung der Dichtungsmaßnahmen zeigte, daß eine Verwendung des in unmittelbarer Nähe der Baustelle liegenden Hesselter Tones die wirtschaftlichste Lösung darstellte. Nahezu dieselben Kosten entstehen nach dem Ergebnis der Ausschreibung beim Einbau einer Asphaltmatte von 2,5 cm Stärke. Die Wasser- und Schiffahrtsdirektion Münster entschloß sich deshalb, die Dichtung je zur Hälfte aus Hesselter Ton und aus kontinuierlich gefertigten Asphaltmatten herzustellen.

2.31 Einbau einer Tondichtung

Die ausführende Bauunternehmung Müller & Co., Essen, die den Auftrag zum Einbau der 0,3 bzw. 0,5 m starken Tonschicht — entsprechend der Druckhöhe des Kanalwassers über dem Grundwasserspiegel — auf eine Länge von 1000 m erhielt, entwickelte für die Durchführung dieses Auftrages ein Gerät (DBP angemeldet), das eine gleichmäßige Verteilung des Dichtungsmaterials unter Einhaltung der geforderten Schichtstärke und eine gute, sorgfältige Verdichtung gewährleistet (Bild 11 und 12). Bei dem Verfahren wird ein Aufschwimmen der

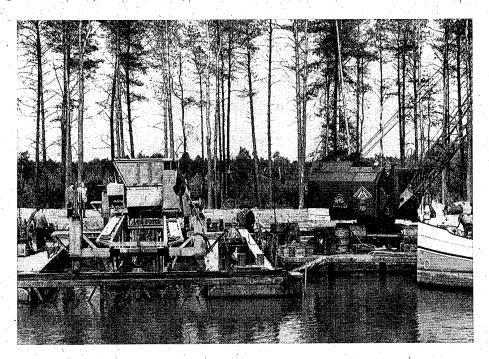


Bild 12 Gerät zum Einbau der Tondichtung beim Einsatz im Dortmund-Ems-Kanal, Haltung Altenrheine-Venhaus

Feinstbestandteile des Tones im Wasser vermieden. Das zur Aufbereitung und für den Einbau des Tones entwickelte Spezialgerät besteht im wesentlichen aus einem rechteckigen Gitterträgersystem, das in Arbeitsstellung senkrecht zur Kanalachse etwa die halbe Sohlenbreite überdeckt. Darauf ist eine Fahrbrücke angeordnet, die in Kanalachse zu bewegen ist. Diese wiederum trägt die senkrecht zur Kanalachse verfahrbare eigentliche Aufbereitungs- und Einbauvor-

richtung. Sie besteht aus einem Aufgabetrichter mit sich gegenläufig drehenden Stachelwalzen zum Zerkleinern des Materials, einem horizontal liegenden Förderband, welches das Material vom Aufgabetrichter zu einem senkrechten Schacht transportiert, und dem Schacht selbst, dessen Wände durch 2 feststehende Blechtafeln und durch 2 sich gegenläufig zur Kanalsohle hin drehende Förderbänder gebildet werden. Das ganze Gerät ist auf Pionierpontons montiert, die den Transport auf dem Wasserwege und ein Einschwimmen am Einbauort gestatten. An den Ecken des Gitterträgersystems befinden sich in der Höhe verstellbare Füße mit Grundplatten, auf die das Gerät während des Einbaues abgesetzt wird. Auf diese Weise ist die Höhe des Gerätes unabhängig von Wasserspiegelschwankungen in der Kanalhaltung. Zur Feinregulierung der Schichtstärke und der unter einer Neigung 1: 28,5 liegenden Oberfläche der Dichtung ist auch der Rahmenträger in der Höhe verstellbar.

Das durch Greifbagger aus den Transportschiffen in den Aufgabetrichter gebrachte Material wird in diesem zerkleinert, fällt durch eine Offnung im Boden des Trichters auf das horizontale Transportband und wird von diesem zu dem senkrechten, 5,10 m tiefen Schacht transportiert. Dort wird das Material durch sein Eigengewicht und durch die Auswirkung der Reibung an den Förderbändern verdichtet und schließlich durch die Förderbänder in Form einer viereckigen Preßwurst auf die Kanalsohle verlegt. Die Breite einer solchen über die halbe Breite der Kanalsohle reichenden Bahn beträgt 1,0 m. Die Länge des Gerätes (in Kanalachse) gestattet es, 4 derartige Bahnen ohne Umsetzen des Gerätes zu verlegen.

Durch einen im Trockenen durchgeführten Probebetrieb konnte das einwandfreie Arbeiten des Gerätes und eine ausreichende Lagerungsdichte der verlegten Dichtungsschicht nachgewiesen werden. Beim Verlegen entstand an der Nahtstelle zwischen den Bahnen eine Aufwölbung des Tones (Bild 13), ein Beweis für die gute Verzahnung. Die einzelnen Bahnen wiesen eine glatte Oberfläche auf. Aus der Schicht entnommene Proben besaßen etwa die gleiche Dichte, wie sie bei Proben erzielt wurde, die zu Vergleichszwecken durch Stampfen und durch Kneten von Hand verdichtet wurden. Die erreichte Lagerungsdichte am Tage der Herstellung entsprach mindestens der des Tones bei den Durchlässigkeitsversuchen nach Einbringen der Überdeckungsschicht.

Wie die durchgeführten Untersuchungen erwarten ließen, wurde beim Einbau der Tonschicht im Kanal eine gute Lagerungsdichte des Materials erzielt. Die unter Wasser eingebaute Schicht wird in regelmäßigen Abständen durch Taucher überwacht. Die Lagerungsdichte soll außerdem durch Strahlungsmessungen mittels radioaktiver Isotopen überprüft werden. Überdies ist eine Besichtigung der Schicht durch einen Trichter möglich, aus dem das Wasser mittels Preßluft ausgeblasen wird; die Schicht wird dabei durch eine Unterwasserlampe angestrahlt.

Die Stärke der eingebauten Schicht bzw. die dafür verbrauchten Massen werden mit Hilfe von Eichaufnahmen an den Transportschiffen und durch Aufmessungen der Dichtungsmassen an der Entnahmestelle laufend kontrolliert. Die dabei ermittelten Werte lagen im Durchschnitt etwa 8 % höher als die dem Entwurf zugrunde gelegte Dichtungsschicht und das Einmessen der Querprofile im Kanal ergaben. Dieser Mehrverbrauch ist ein Zeichen für die gute Verdichtungsarbeit des Gerätes. Die verdichtende Wirkung dürfte sich ausschließlich auf die Tondichtung erstrecken, da nicht anzunehmen ist, daß eine wesentliche Verdichtung der Sohle stattfindet. Obwohl der Einbau der Ton-

schicht noch nicht abgeschlossen ist, konnte bereits ein Absinken des Grundwasserspiegels in den im Leinpfad befindlichen Grundwasserbeobachtungsbrunnen festgestellt werden. Diese betrugen zum Zeitpunkt der Berichterstattung, nachdem etwa 600 Ifm der Tondichtung eingebaut waren, etwa 0,25 m. Ein weiteres Absinken ist nach Fertigstellung der Dichtung und nach Aufspülen der Überdeckung von 0,8 m Stärke infolge weiterer Verdichtung der Schicht zu erwarten.

Beim Einbau konnten bisher maximale Tagesleistungen (10stündige Arbeitszeit) von 840 $\rm m^2$ erzielt werden. Nachdem sich die Bedienungsmannschaft eingearbeitet hatte und einige Mängel am Gerät beseitigt waren, betrug die mittlere Leistung etwa 450—500 $\rm m^2/S$ chicht. Hierbei sind die Behinderungen der

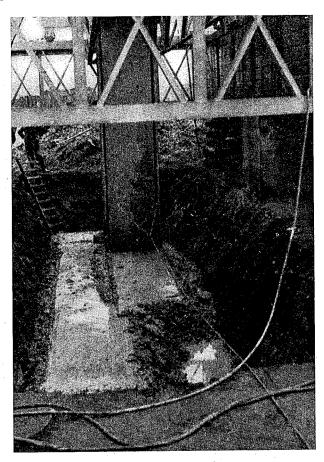


Bild 13 Probebetrieb des Gerätes im Trockenen — 2 aus Ton nebeneinander verlegte Bahnen

Arbeiten durch die Schiffahrt, die Minderleistungen durch Nachtarbeit und die Zeit, die zum Umsetzen des Gerätes nötig ist, bereits berücksichtigt. Ein Einbinden der Dichtung an die wellenförmige Uferspundwand wurde durch nachträgliches Verkippen von Tonmassen und durch Nachstampfen von Hand erreicht.

2.32 Verlegung von Asphaltmatten

Bei der Verlegung der Asphaltmatten zur Abdichtung der Kanalsohle konnten die vielseitigen Erfahrungen und Erkenntnisse benutzt werden, die bei der Fertigung und Verlegung von fugenlosen Asphaltmatten [2] in einer Versuchsstrecke bei Rheine gewonnen wurden. Hier hatte die Asphaltmatte zwar keine dichtende Funktion, da die Versuchsstrecke durchweg im Einschnitt lag, jedoch traten bei der Fertigung und Verlegung dieser ausschließlich für den Böschungsschutz eingebauten 8 cm starken fugenlosen Matten dieselben Probleme auf.

Der wirtschaftlichen Herstellung der 2,5 cm dicken Asphaltmatte zur Abdichtung der Kanalsohle kam der Umstand zugute, daß die seinerzeit für die Versuchsstrecke von der Deutschen Asphalt- und Tiefbau AG. (DEBAG, Frankfurt/Main) entwickelte und eingesetzte schwimmende Asphaltaufbereitungsanlage benutzt werden konnte. Lediglich die Verlegeeinrichtung mußte wegen der größeren Abmessungen der Sohlenmatte gegenüber der Böschungsmatte neu hergestellt werden, wobei das seinerzeit angewandte Prinzip bis auf wenige Verbesserungen beibehalten wurde.

Die Asphaltaufbereitungs-(Impact)-Anlage (Bild 14) ist auf einer alten Artilleriefähre, einem Schiffskörper von etwa 50 m Länge und 6,50 m Breite, mon-

Schwimmende Asphaltaufbereitungsanlage

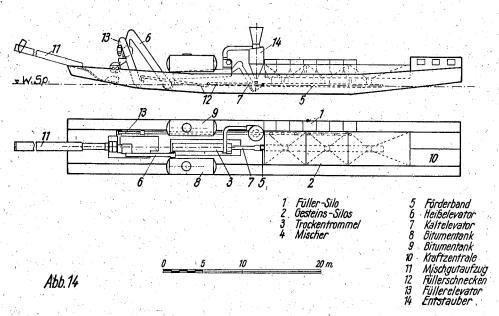


Bild 14 Schematische Darstellung der schwimmenden Asphaltaufbereitungsanlage

tiert. Das Schiff kann außer den eingebauten Maschinen und Bunkern eine Nutzlast von 300 t tragen. Füller und Sand werden nach Korngröße getrennt in Silos bzw. Bunkern gelagert. Der Sand wird durch ein Förderband, das Kalksteinmehl mittels einer Schnecke — beide Fördergeräte unter den Bunkern bzw. Silos — in die Trockentrommel befördert. Von dort gehen die Zuschläge über den Heißelevator zum Mischer. Das Bindemittel Bitumen, das sich in heißem

Zustand in den Tanks befindet, wird in den Mischer gepumpt. Ein Windsichter sorgt für die Entstaubung der Trockentrommel und der Mischanlage. Der für die zahlreichen Abtriebsmotoren erforderliche Strom wird in einer Kraftzentrale im Heck des Schiffes von einem 180 PS-Diesel-Elektro-Aggregat erzeugt.

Die Herstellung der Asphaltmastix erfolgt auf Vorschlag der ausführenden Firma, die wiederum durch die Zentrallaboratorien der asphalterzeugenden Industrie beraten wurde, nach folgendem Mischungsverhältnis:

16 % Bitumen B 65

27 % Kalksteinfüller M 70/30

57 % Sand K 0-2 mm.

Mit Rücksicht auf die Verwendung des Asphaltes als Dichtungsmaterial war damit der Anteil an Bindemitteln und gleichzeitig des Sandes höher als bei der oben angeführten Matte, die lediglich der Böschungsbefestigung diente.

Nach genügender Durchmischung fällt die Asphaltmasse aus dem Mischer in den Mischgutaufzug und wird von diesem zur Verlegebühne (Bild 15) transpor-

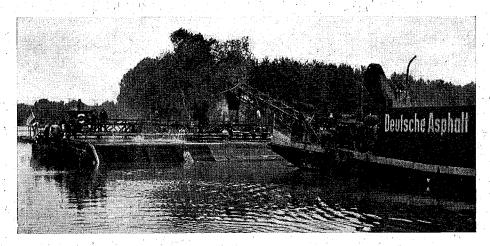


Bild 15 Einbau von Asphaltmatten als Sohlendichtung im Dortmund-Ems-Kanal, Haltung Altenrheine-Venhaus, Gesamtansicht

tiert. Diese besteht teils aus Siebelfähren, teils aus Pionierpontons mit einer Abdeckung aus Stahlblechen. Sie besitzt eine Breite von etwa 15 m, entsprechend der halben Sohlenbreite des Kanals. Die Asphaltmasse wird mit einem elektrisch gesteuerten, auf einer Förderbrücke laufenden Verteilerwagen auf einer Schicht aus wasserfest geleimtem Papier ausgebreitet und mit einer elektrisch angetriebenen und mit Propangas beheizten, rotierenden Abstrichbohle abgeglichen. Das zur Kühlung der mit einer Temperatur von 180—190° C aufgebrachten Asphaltmassen erforderliche Wasser wird durch eine Berieselungsanlage auf die Oberfläche der Matte geleitet und durch zahlreiche Bohrungen in den Deckblechen der Verlegebühne gegen die Unterseite der Matte gedrückt. Das Papier verhindert das Auftreten von Schäden in der Asphaltmatte durch das unter Druck stehende Kühlwasser. Der hierbei unter der Papierlage entstehende Wasserdampf vermindert die Reibung zwischen Matte und Blechtafeln und erleichtert dadurch das Abgleiten der Matte von der Bühne. Die

Verlegebühne und die Aufbereitungsanlage werden mit einer Geschwindigkeit, die der Fertigstellung der Matte entspricht, in Richtung des Einbaues vorwärts gezogen, so daß die Matte über eine Ablaufvorrichtung auf die Kanalsohle gleitet. Eine unter der Papierschicht befindliche Jutebahn (350 gr/m²) übernimmt in der Art einer Hängematte die während des Abgleitens von der Verlegeeinrichtung auf die Kanalsohle auftretenden Zugkräfte, die zu Rissen in der Matte führen könnten. Eine Bewehrung der Matte ist ebenso wie bei der Böschungsmatte nicht angeordnet.

Die für den Antrieb erforderlichen Maschinen befinden sich auf der Verlegeeinrichtung, während der Vorschub bei der Böschungsmatte durch eine auf Schienen am Ufer laufende Zugeinrichtung bewirkt wurde. In beiden Fällen ist eine kontinuierliche Bewegung der Verlegeeinrichtung gesichert. Die Matte wird in einer Breite von 15,00 bzw. 14,80 m hergestellt (Bild 16). Bei der 29 m breiten

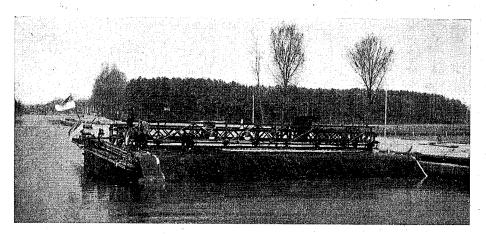


Bild 16 Bühne für die Verlegung der Asphalt-Dichtungsmatten

Kanalsohle ist somit lediglich in Kanalmitte eine Arbeitsfuge vorhanden, die durch eine Überlappung von 80 cm überdeckt wird. Durch den Druck der etwa 1 m starken Schutzschicht und durch den Wasserdruck werden die übereinanderliegenden Teile der Matte so gegeneinander gedrückt, daß eine dichte Verbindung gewährleistet ist.

Der Anschluß der Matten an die wellenförmige Spundwand wurde anfangs durch Paßstücke hergestellt, die von der Matte überdeckt wurden. Sie bestanden aus 0,3 m breiten Streifen, die der Form der Spundwand angepaßt waren. Die noch vorhandenen Fugen zwischen der Wand und den Paßstücken wurden durch einen Taucher mittels einer Spezial-Klebemasse gedichtet, die bei einer Temperatur von 200° C hergestellt und bei etwa 70—80° C unter Wasser eingebaut wird. Bei den ersten Arbeiten stellte sich heraus, daß das Einsetzen der Paßstücke bei den nicht zu vermeidenden Unregelmäßigkeiten der gerammten Spundwand und infolge Ablagerung von Sand in den Spundwandtälern sehr schwierig war. Die Firma ging deshalb dazu über, für den Anschluß der Matten an die Wand nur die oben angegebene Spezial-Klebemasse zu verwenden.

Nach dem Einarbeiten der Mannschaft und nach Beseitigung kleiner Mängel an der Verlegeeinrichtung wurde eine durchschnittliche Tagesleistung — bei 12stündiger Arbeitszeit — von etwa 60 m, das entspricht einer Leistung von etwa 900 $\rm m^2/Tag$, erzielt. Die maximale Leistung betrug 105 m pro Tag, das sind etwa 1570 $\rm m^2$ pro Tag. Hierin sind nicht die zu leistenden Dichtungsarbeiten an der Spundwand und das Umsetzen des Gerätes von einer auf die andere Seite des Kanals eingeschlossen.

Die Matte wird in gewissen Zeitabständen, z.B. vor dem Aufspülen der Uberdeckung, hinsichtlich ihrer Lage und Beschaffenheit, durch Taucher überprüft. Eine dichtende Wirkung der Asphaltmatte konnte zwar durch Absinken des Grundwasserstandes auch auf dieser Strecke beobachtet werden, jedoch können genauere Angaben erst auf Grund der zahlreichen Grundwasserbeobachtungen nach Abschluß der Arbeiten gemacht werden.

3. Dichtungsmaßnahmen an Flüssen — Dichtungswand in kiesigem Untergrund mit Findlingen an der Donau 3.1 Veranlassung und Zweck der Baumaßnahme

Im Sommer des Jahres 1956 wurden die Bau- und Montagearbeiten für das Donaukraftwerk Jochenstein beendet. Damit war als deutsch-österreichische Gemeinschaftsarbeit eines der größten Flußkraftwerke Mitteleuropas innerhalb von knapp 4 Jahren fertiggestellt.

Wenn auch für diesen Bau die Stromerzeugung im Vordergrund des Interesses stand — das Flußkraftwerk liefert jährlich etwa 1 Milliarde Kilowattstunden — so dürfen doch die Vorteile dieser Staustufe in der Donau für die internationale Schiffahrt nicht übersehen werden.

Mit Rücksicht auf die Stromerzeugung und Schiffahrt war ein möglichst hoher Stau in Jochenstein erwünscht, der jedoch seine Begrenzung durch die 25 km stromauf liegende Stadt Passau fand; denn hier mußte der Mittelwasserspiegel der Donau unbeeinflußt bleiben, um weder den Grundwasserstand im Stadtbereich zu erhöhen noch die bestehende Kanalisation zu beeinträchtigen. Andernfalls wäre das Bauvorhaben unwirtschaftlich geworden.

Mit dieser Festlegung des Stauzieles ergab sich im Bereich der 7 km oberhalb der Sperrstelle am bayerischen Ufer liegenden Marktgemeinde Obernzell eine Erhöhung des Wasserspiegels der Donau und des Grundwasserspiegels im Ortsbereich um rund 6 m. Damit wären ohne besondere Schutzmaßnahmen nicht nur die Keller der meisten Häuser dieser 2200 Einwohner zählenden Ortschaft unter Wasser gekommen, sondern auch die Fundamente sämtlicher Gebäude, von denen einzelne unter Denkmalschutz stehen. Es muß deshalb der Grundwasserspiegel im Ortsbereich auch nach Stauerrichtung durch geeignete technische Maßnahmen auf der bisherigen Höhe gehalten werden.

3.2 Die verschiedenen Ausführungsvorschläge

Der Untergrund des Ortes Obernzell besteht, wie im gesamten Staubereich des Kraftwerkes Jochenstein, aus Gneis — Granit, der hier jedoch von einer 12—14 m starken Schicht aus grobem Geröll und Geschiebe mit verhältnismäßig großer Durchlässigkeit überlagert ist. Man konnte also nicht damit rechnen, lediglich durch eine Grundwasserabsenkung der gestellten Aufgabe gerecht zu werden; es mußte vielmehr die Ortschaft längs der Donau durch eine Dichtungswand umschlossen werden, die in den tiefliegenden Fels und in das am Tal-

hang zu Tage tretende Gestein einbindet (Bild 17). Das dann noch anfallende Sickerwasser würde sich, ebenso wie die Regen- und Abwässer im Ortsbereich, ohne besondere Schwierigkeiten über ein Pumpwerk in die gestaute Donau fördern lassen.

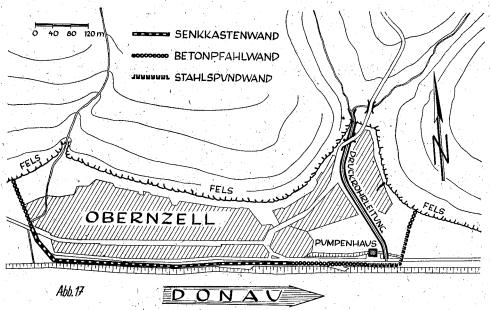


Bild 17 Lageplan der Ortschaft Obernzell mit Dichtungswand gegen die Donau

3.21 Stahlspundbohlen als Dichtungselement

Für die Herstellung der Dichtungswand aus Stahlspundbohlen wurden vom Bauherrn verschiedene Varianten untersucht.

Die offensichtlich billigste, eine in den Kies bis auf den Fels gerammte Spundwand, erschien jedoch in ihrer Durchführung fragwürdig, da durch Probebohrungen im Kies vereinzelt Findlinge festgestellt waren. Mit Rücksicht auf die erheblichen Mehrkosten anderer Ausführungsarten entschloß man sich aber trotzdem zu einer Proberammung, und zwar in einem Bereich, wo die Dichtungswand am weitesten, etwa 80 m, von den zu schützenden Objekten entfernt war und außerdem Kies mit geringer Durchlässigkeit anstand (Bild 17, unterstromiges Ende der Dichtungswand). Sollte diese Proberammung nicht zu einem vollen Erfolg führen, so konnte man, wenn überhaupt, nur in diesem Bereich durch eine verstärkte Grundwasserabsenkung immer noch das gewünschte Ziel erreichen und auf eine im Laufe der Jahre eintretende Selbstdichtung hoffen. Bei Bauausführung zeigte sich dann aber, daß trotz staffelförmigen und vorsichtigen Rammens nur ein geringer Teil der Bohlen bis auf den Fels eingetrieben werden konnte. Auch Sprengungen von im Untergrund angetroffenen Findlingen führten zu keinem Erfolg. Es mußte deshalb für die Herstellung der Dichtungswand eine andere Ausführungsart gewählt werden.

Unter Beibehaltung des Gedankens, Stahlspundbohlen zu verwenden, wurde erwogen, die Rammhindernisse zunächst zu beseitigen. Es sollte also für die Dichtungswand längs des Flusses im Schutze einer die Strömung abweisenden Buhne der grobe Kies samt Findlingen unter Wasser bis auf den Fels ausgehoben,

wasserseits als Damm gelagert, und der auf diese Weise entstandene Graben mit feinkörnigem Kies gefüllt werden, in den dann die Bohlen ohne Schwierigkeit bis auf den Fels eingetrieben werden könnten.

Eine Variante hierzu sah vor, die Spundwand in den Graben zu stellen und dann beiderseits gleichmäßig ansteigend mit Kies zu füllen. Abschließend sollte die Spundwand in den auf der Oberfläche morschen Fels eingetrieben werden. In diesem Falle wäre auch ein schwächeres Spundwandprofil ausreichend gewesen, da die vom Kies beiderseits eingeschlossenen Bohlen beim Rammen kaum noch hätten ausweichen können.

Eine Bauunternehmung machte den Sondervorschlag, 2 parallel verlaufende Spundwände in 2 m Abstand von einem zuvor geschütteten Rammplanum einzutreiben und den Kies zwischen den Spundbohlen mit der Rammung fortschreitend auszuheben, so daß praktisch die Bohlen einseitig bis zu ihrer Unterkante freistehen. Das Neuartige dieses Vorschlages war, die 2 m breite Baugrube durch Stempel abzustützen, die hergestellt werden sollten in der Art von Oldruckpressen, deren Druck durch Manometer kontrolliert werden kann. Wenn beim Rammen, so argumentierte die Firma, die Spundbohlen einen Findling unter spitzem Winkel treffen, wird die Bohle seitlich nach innen oder außen gedrängt, was sich durch plötzliche Zu- oder Abnahme des Oldruckes im Stempel der Aussteifung bzw. am Manometer bemerkbar macht. In diesem Falle sollte der Findling zunächst freigespült oder gesprengt werden. Weiterhin war bei diesem Vorschlag beabsichtigt, die Baugrube nach Erreichen der Felssohle und Einziehen von entsprechenden Querschotten abschnittsweise leerzupumpen und in diesem Baustadium einen Dichtschluß der einen Spundwand am Fels herzustellen. Anschließend sollte die Baugrube mit Kies verfüllt und die andere Spundwand zur weiteren Verwendung gezogen werden.

3.22 Dichtungswand aus Ortbetonpfählen

Auch für die Verwendung von in Bohrlöchern hergestellten Betonpfählen als Element einer Dichtungswand wurden mehrere Varianten untersucht.

Der Vorschlag, durch Injektionen einen Dichtungsschleier zu schaffen, erschien wegen des zum größten Teil grob durchlässigen Untergrundes und der andererseits oft sehr dicht gelagerten Findlinge als sehr fragwürdige Lösung. Jedenfalls fand sich keine Unternehmung, die unter den gegebenen Verhältnissen eine Garantie für ausreichende Wasserundurchlässigkeit zu übernehmen bereit war. Es schien vielmehr lediglich eine Wand aus dicht an dicht stehenden Ortbetonpfählen eine Gewähr für ausreichenden Abschluß zu bieten.

Der Bauherr hatte hierzu Ortbetonpfähle vorgesehen, deren Bohrlöcher unverrohrt mittels Dickspülung hergestellt werden, und die außerdem ineinandergreifen, was leicht zu erreichen ist, wenn zunächst jeder 2. Pfahl gebohrt und betoniert wird, und zwar in einem geringeren Abstand als der Pfahldurchmesser. Die später zwischengebohrten Pfähle müssen dann zwangsläufig in die zuerst hergestellten eingreifen, wodurch ein Dichtschluß erzielt wird. Sollte jedoch wider Erwarten ein Bohrloch aus der Lotrechten abweichen, z. B. infolge Ablenkung des Bohrgestänges durch einen unter sehr spitzem Winkel getroffenen Findling, so wird durch die Dickspülung, die während des Bohrens je nach Durchlässigkeit des Kieses mehr oder weniger tief in den Untergrund eindringt, eine zusätzliche Dichtung geschaffen, die den einseitigen Wasserüberdruck nach Stauerrichtung (etwa 6 m) aufnehmen kann. Dies ist besonders der Fall, wenn für die Dickspülung nicht Ton, sondern Bentonit verwandt wird. (Versuche des

Bauherrn haben ergeben, daß bei dem in Obernzell anstehenden groben Kies der Bentonitschlamm ca. 1 m tief in den Untergrund eindringt und dann einen Wasserdruck von mehr als 6 m aushält.)

Nach einem hierzu von einer Bauunternehmung vorgelegten Sondervorschlag sollte dem Bentonitschlamm Zement zugesetzt werden, so daß eine langsam abbindende und erhärtende Bindemittelschlempe entsteht, die dann nach Beendigung der Bohrarbeit nicht mehr durch Beton ersetzt werden muß, sondern im Bohrloch verbleibt und dort erhärtet.

Ein anders gearteter Vorschlag einer Firma war: Ort-Betonpfähle ohne Dickspülung, also mit Verrohrung des Bohrloches. Das Ineinandergreifen der in nicht unterbrochener sondern fortlaufender Reihenfolge herzustellenden Pfähle sollte durch eine in Richtung des Arbeitsfortschrittes zeigende zylindrische Aussparung des Betonpfahles gewährleistet sein, in der dann das Bohrrohr des nächsten Pfahles eine Führung findet.

3.23 Betonwand mit Caisson

Schließlich wurde von Unternehmerseite noch der Entwurf eingereicht, die Dichtungswand als zum Teil bewehrte und gelenkig unterteilte Betonwand herzustellen, die mittels Caissons bis auf den Fels abgesenkt wird. Während die Betonwand nur 50 cm stark ist, erhält der Caisson eine Breite von 2 m bei einer Länge von 11,4 m. Bei nicht gleicher Höhenlage des felsigen Untergrundes soll der Caisson so weit wie möglich niedergebracht und anschließend der Kies bis zum Fels durchgehend ausgeräumt werden, wobei die dann freigelegten seitlichen Kiesflächen durch Anwerfen von schnellbindendem Mörtel standfest und luftdicht zu machen sind. Ebenso sollte morscher Fels abgetragen und durch wasserdichten Beton ersetzt werden, ja wenn notwendig noch eine zusätzliche Dichtung des Felsuntergrundes durch Injektionen erzielt werden (Bild 18). Die

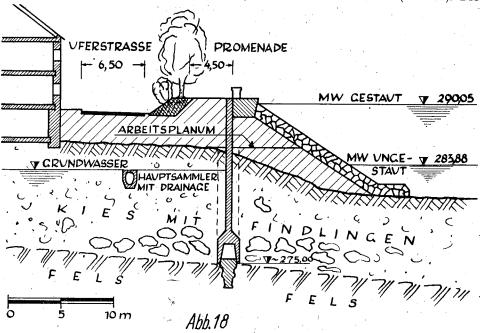


Bild 18 Regelquerschnitt für die Dichtungswand mit Senkkastengründung

einzelnen, 11,4 m-Lamellen der Betonwand sollten schließlich durch gleichfalls in den Fels eingreifende Ortbetonpfähle gegeneinander gedichtet werden.

Der Gedanke, statt der Caissons offene Stahlbeton-Brunnen dicht an dicht abzusenken, wobei unter der Brunnenschneide angetroffene Findlinge freigespült werden, ähnlich wie bei der zuvor beschriebenen Variante mit zwei Spundwänden, wurde wegen der unregelmäßigen Oberfläche des felsigen Untergrundes nicht weiter diskutiert.

3.3 Bewertung der Vorschläge

Für die Bewertung der Varianten war natürlich deren Wirtschaftlichkeit maßgebend, wobei neben den Herstellungskosten auch das jeweils verschieden große Risiko hinsichtlich Dichte und Bauzeit zu berücksichtigen war. Diese Entscheidung wurde dadurch erleichtert, daß nach den vorliegenden Angeboten die Herstellungskosten der einzelnen Vorschläge nur geringe Differenzen zeigten. Die Bewertung konnte daher vorwiegend nach technischen Gesichtspunkten erfolgen:

Eine Stahlspundwand, die in einen bis auf den Fels ausgehobenen Graben gestellt oder in den mit feinem Kies wieder verfüllten Graben gerammt wird, ergibt zweifellos nicht den dichten Anschluß wie eine in den Fels eingreifende Wand aus Ortbetonpfählen, vorausgesetzt, daß diese dicht an dicht stehen. Denn die Findlinge lagerten nach den Bohrergebnissen streckenweise nur wenig über dem Fels, und man hätte daher beim Ausheben des Grabens oft nicht einwandfrei feststellen können, ob bereits die Felssohle erreicht ist oder noch eine Schicht von eng aneinanderliegenden Findlingen ausgeräumt werden muß. Beim Herstellen der Löcher für die Betonpfähle dagegen konnte man den vermeintlichen Fels so tief anbohren, z. B. 1,5 m, daß man Gewißheit hatte, ob ein Findling oder tatsächlich der felsige Untergrund erreicht war. Die zuvor genannten Spundwand-Varianten schieden daher aus.

Von den Varianten "Dichtungswand aus Ortbetonpfählen" wurde der Vorschlag ohne Dickspülung, also in verrohrten Bohrlöchern hergestellte Pfähle, verworfen; denn es bestand die Befürchtung, daß zumindest nahe der Donau im groben Kies eine verhältnismäßig starke Strömung des Grundwassers vorhanden ist und damit die Gefahr besteht, daß der Bindemittelleim aus dem frisch eingebrachten Beton der Pfähle ausgespült wird. Dies hat auch später ein Versuch während der Bauausführung bestätigt.

Es standen somit nur noch die Varianten "Spundwand mit 2 m breitem Aushubschlitz", "Ortbetonpfähle mittels Dickspülung hergestellt" und "Betonwand mit Caissons" zur Diskussion.

Der erst- und letztgenannte Vorschlag zeigten insofern eine gewisse Ahnlichkeit, als nach dem Aushub des Kieses die Felsoberfläche besichtigt und zusätzlich notwendig erscheinende Dichtungsmaßnahmen durchgeführt werden konnten. Sie haben andererseits auch den Nachteil, daß beim Ausheben des Kieses und Heruntertreiben der Spundbohlen bzw. Absenken der Caissons eine Auflockerung des Untergrundes eintritt, so daß man diese Herstellungsarten nur in einem ausreichenden Abstand von Gebäuden anwenden konnte, z. B. für die Dichtungswand längs der Donau und einen Teil der westlichen Abschlußwand. Die Entscheidung fiel zugunsten der Variante Betonwand mit Caissons, da diese beim Bau des Speichers Roßhaupten von der anbietenden Firma in ähnlicher Art, allerdings mit fast doppelter Breite der Caissons, ausgeführt worden war. In jenen Strecken, wo die Dichtungswand unmittelbar neben

Häusern ausgeführt werden, also jede Auflockerung des Untergrundes vermieden werden mußte, blieb jedoch als einzige Lösung der mittels Dickspülung hergestellte Ortbetonpfahl als Bauelement. Der Bauherr entschied sich hierzu für Bentonitspülung beim Bohren, ein Verfahren, nach dem im Ausland bereits 60 000 m² Dichtungswand unter ähnlichen geologischen Verhältnissen mit bestem Erfolg hergestellt worden sind. Dem Sondervorschlag, dem Bentonitschlamm ein Bindemittel zuzusetzen, mußte die Zustimmung versagt bleiben, da hierzu noch keine ausreichenden Erfahrungen vorlagen und auch die Garantie für die Festigkeit der Pfähle fraglich erschien.

Der Auftrag wurde an eine Arbeitsgemeinschaft jener Firmen, welche die gewählten Varianten angeboten hatten, erteilt und zwar mit einheitlichem Preis je m² Dichtungswand, wobei das Anteilverhältnis der beiden Varianten nicht festgelegt wurde, sondern es vielmehr dem Bauherrn vorbehalten blieb, nach den örtlichen Verhältnissen sowie nach Bewährung und Arbeitsfortschritt der einen oder anderen Ausführungsart den Vorzug zu geben.

3.4 Bauausführung

3.41 Stahlbetonsenkkästen mit aufgesetzter Dichtungswand (Bild 18)

Bei der Bauausführung wurde zunächst für ein Arbeitsplanum das Profil des endgültigen Uferausbaues hergestellt und zwar so hoch, daß die Arbeiten auch bei mittlerem Hochwasser der Donau unbehindert fortgeführt werden konnten. Die Böschung sicherte man mit einem Steinwurf von 1 m Stärke gegen Ausspülungen. Auf diesem Planum wurde die Schalung (Bild 19) für die Caissons

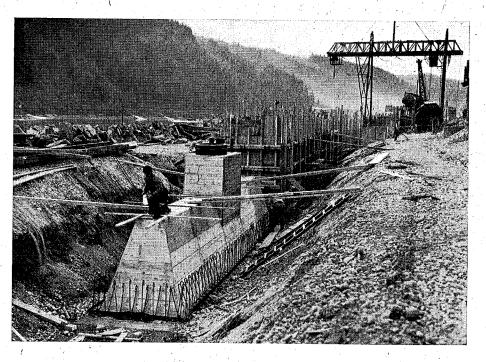


Bild 19 Schalung für den Arbeitsraum des Senkkastens

von 2 m Breite und 11,40 m Länge mit einer Höhe des Arbeitsraumes von 2,15 m gestellt, anschließend die Armierung (Bild 20) und dann der Beton eingebracht. Der Einsteigschacht zum Arbeitsraum befand sich in der Mitte des Caissons.

Es erfolgte dann das Absenken zunächst ohne Druckluft bis zum Grundwasserspiegel und dann weiter, mit aufgesetzten Druckluftschleusen (Bild 21), bis auf den

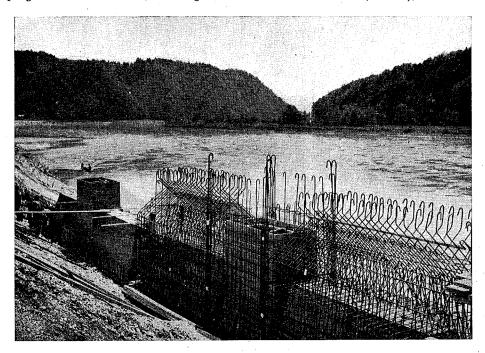


Bild 20 Armierung des Senkkastens

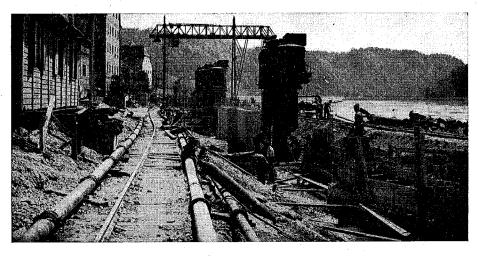


Bild 21 Caisson während der Absenkung mit Druckluftschleusen

Fels, wobei der Senkkasten meist durch Zusatzgewichte belastet werden mußte. Angetroffene Findlinge wurden durch Sprengungen zerkleinert, Sobald die Felssohle erreicht war, wurde die oberste Verwitterungszone auf die ganze Länge des Caissons grabenförmig bis in den gesunden Fels ausgehoben. Durch vorübergehendes Nachlassen des Luftdruckes konnte dann leicht festgestellt werden, ob im gesunden Féls wasserführende Klüfte vorhanden waren. In diesem Fall wurde der Untergrund durch Injektionen zusätzlich gedichtet, nachdem man züvor den Graben und den untersten halben Meter des Arbeitsraumes mit Beton gefüllt hatte und dieser erhärtet war. Besonders starker Wasserandrang aus Felsklüften zeigte sich im Bereich der westlichen Abschlußwand, da hier die Hauptklüfte die Wand fast senkrecht schnitten, während sie am Donauufer nahezu parallel zur Dichtungswand verliefen. Um den Erfolg der Injektionen festzustellen, wurde abschließend zur Probe der Luftdruck weggenommen. Im Untergrund etwa vorhandene Undichtigkeiten mußten sich dann durch Wasseraustritt aus noch nicht verpreßten Bohrlöchern zeigen. In derartigen Fällen wurden Nachinjektionen durchgeführt, (Der Abstand der Einpreßrohre betrug je nach Klüftigkeit des Felsens 1,5 bis 0,7 m bei einer Tiefe von durchschnittlich 4 m.)

Während des Absenkens der Caissons wurde jeweils die 0,5 m starke Betondichtungswand fortlaufend aufbetoniert und gleichfalls der Einsteigschacht, dieser jedoch nur bis 1 m über den nach Errichtung des Staus hinter der Dichtungswand zu erwartenden Grundwasserspiegel. Nach Abbau der Druckluftschleusen wurden der Arbeitsraum und der Einsteigschacht mit Wasser gefüllt und mit einem Betondeckel wasserdicht verschlossen. Auf diese Weise bestand die Möglichkeit, bei später etwa auftretenden Undichtigkeiten auch nachträglich Injektionen von der Betonsohle des dann wieder leergepumpten Arbeitsraumes aus durchzuführen. Die Lücke zwischen den jeweils benachbarten Dichtungslamellen wurde zuletzt mittels eines Ortbetonpfahles geschlossen, dessen Bohrloch ohne Verrohrung mit Dickspülung hergestellt war. Dieses Bohrverfahren stellte sich als unbedingt notwendig heraus, worauf bereits hingewiesen wurde.

3.42 Dichtungswand mittels Ortbetonpfählen

Die Betonpfahlwand (Bild 22) gelangte in erster Linie in unmittelbarer Nähe von Gebäuden zur Anwendung, sodann aber auch in dem unterstromigen Teil der Uferstraße; denn es zeigte sich, daß die schmalen Caissons hier infolge einseitigen Erddruckes des hochliegenden Straßendammes trotz aller Gegenmaßnahmen aus der Lotrechten gedrückt wurden. In diesem Bereich erhielten die Betonpfähle eine zusätzliche Armierung.

Für die Bauausführung wurde zunächst ebenfalls ein Arbeitsplanum geschüttet, auf dem die Bohrgerüste Aufstellung finden konnten. Den genauen Bohrlochabstand und somit das spätere Ineinandergreifen der Pfähle gewährleistete eine Bohrlehre, in deren Aussparungen nur kurze Führungsrohre eingesetzt wurden. Das Bohren selbst erfolgte mittels Fallmeißel, wobei das Bohrgut durch die aus der Spitze des Hohlmeißels austretende Bentonitschlempe zu Tage gefördert und dort auf einem Rüttelsieb von letzterer getrennt wurde, so daß diese fortlaufend immer wieder zur Förderung des Bohrgutes verwendet werden konnte. Aus der Menge der in jedem Bohrloch verbrauchten Bentonitschlempe konnte die Eindringtiefe und damit die Breite des Dichtungsschleiers ermittelt werden. Ein Abweichen von der Lotrechten ließ sich selbst bei Bohrlochtiefen von 20 m und Durchfahren von Findlingsschichten nicht feststellen.

Nach Beendigung der Bohrarbeit wurde die Bentonitschlempe mit Wasser aus gespült und dann das Bohrloch unter Verwendung besonderer Kübel mit Betongefüllt. Daß zunächst nur jeder zweite Pfahl auf vorbeschriebene Weise hergestellt und nach dem Erhärten des Betons dann die Zwischenpfähle gebohrt wurden, die in die benachbarten Pfähle gut eingreifen und damit einen Dichtschluß gewährleisten, ist bereits erwähnt worden. Die Pfahlköpfe erhielten einen oberen Abschluß und eine gegenseitige Verbindung durch einen Stahlbetonholm, der, in Höhe des Wasserspiegels liegend, als Wellenbrecher geformt wurde. Etwa ein Drittel der gesamten Länge der Dichtungswand wurde nach diesem Verfahren hergestellt, der übrige Teil nach der zuvor beschriebenen Bauart mittels Caissons.

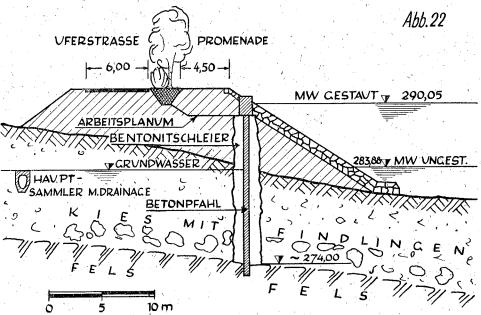


Bild 22 Regelquerschnitt für die Dichtungswand mit Ortbetonpfählen

3.5 Erfahrungen

Da hinter der Dichtungswand eine Drainageleitung angeordnet ist, kann die Wasserundurchlässigkeit der Wand jederzeit gut kontrolliert werden. Auch ist ein örtlich stärkerer Wasserandrang leicht festzustellen, da die Drainageleitung mit jeweils etwa 50 m langen Strängen in Einsteigeschächte des zum Pumpwerk führenden Hauptsammlers einmündet und in diesen das in jedem Abschnitt anfallende Wasser gemessen werden kann.

Der Auftragnehmer hatte die Garantie übernommen, daß je Meter der von ihm hergestellten Dichtungswand, gleichgültig in welcher Ausführungsart, höchstens 0,25 l/s Sickerwasser anfallen. Bei einer Länge der Dichtungswand von insgesamt 1163 m wären dies 290 l/s. Tatsächlich wurden seit Errichten des Staues max. nur 40 l/s gemessen, in dieser Menge ist aber noch das im Ortsbereich versickerte Regenwasser enthalten. Nach längerer Trockenzeit wurde ein Wasseranfall von insgesamt nur 13 l/s festgestellt. Dieses Ergebnis kann als voller Erfolg gelten und dürfte beweisen, daß dieses technische Problem richtig gelöst wurde.

Abteilung I — Binnenschiffahrt

Mitteilung 3

(gemeinsam für Abteilung I und II)

Einfluß des Eises auf den Binnenwasserstraßen und in den Binnen- und Seehäfen. — Abwehrmaßnahmen.

Von Dr.-Ing. Theodor Strauch, Oberregierungsbaurat, Vorstand des Wasserund Schiffahrtsamtes Minden-Weser,

Günther Träger, Oberbaurat, Vorstand des Wasserwirtschaftsamtes Bremen, Otto Maasch, Oberbaurat bei der Behörde für Wirtschaft und Verkehr, Stromund Hafenbau, Hamburg,

Dr.-Ing. Kurt Förster, Oberbaurat bei der Behörde für Wirtschaft und Verkehr, Strom- und Hafenbau, Hamburg.

Zusammenfassung:

Der Einfluß des Eises auf den Binnenwasserstraßen und in den Binnen- und Seehäfen kann in besonders kalten Wintern sehr beträchtlich sein, die Binnenschiffahrt für längere Zeit völlig lahmlegen, sowie auch der Seeschiffahrt empfindliche Erschwernisse bringen. Man ist infolgedessen genötigt, nach Möglichkeit Abwehrmaßnahmen zu treffen, wofür genaue Kenntnis der Eisverhältnisse Voraussetzung ist.

Die vorliegende Abhandlung befaßt sich deshalb in ihrem Teil I mit den theoretischen Grundlagen der Eisbildung. Es werden die Eigenschaften der drei Eisarten, mit denen auf den natürlichen und künstlichen Wasserstraßen und den Häfen zu rechnen ist, eingehend erörtert. Diese sind das Oberflächen-, das Grund- und das Schwebeis, die nach ihrer Bildung, dem Entstehungsort, ihrem weiteren Verhalten, in ihren Erscheinungsformen sowie ihren Auswirkungen auf die Wasserläufe beleuchtet werden. So bildet sich, um die Hauptgesichtspunkte kurz zu erwähnen, das Oberflächeneis in stehenden Gewässern (z. B. in Häfen), auf denen das Wasser von oben nach unten zu Eis von nur begrenzter Stärke gefriert. Das Grund- und Schwebeis dagegen entsteht im stark fließenden Wasser (z. B. in Strömen) fortlaufend und bei anhaltend starkem Frost sehr ausgiebig, so daß es mengenmäßig das Deckeneis mehrfach übertrifft. Auch weist es im Vergleich zum Oberflächeneis noch in anderer Hinsicht weit störendere Eigenschaften auf, weshalb die zu ergreifenden Abwehrmaßnahmen besonders auf Verhütung dieser unerwünschten Eisformen abzustellen sind.

Nach Darlegung der Unterscheidungsmerkmale der drei genannten Eisarten werden im Teil II die Möglichkeiten ihrer Verhütung und Beseitigung erläutert, wobei nachgewiesen wird, daß die Kanalisierung die günstigste Ausbauform für Flüsse und Ströme im Hinblick auf die Eisbekämpfung ist. Dabei zeigt sich, daß als beste Vorbeugungsmaßnahme schon bei der Entwurfsbearbeitung, dann aber hauptsächlich beim Betrieb von Stauanlagen, während des Winters das baldmögliche Herbeiführen einer schützenden Eisfläche angestrebt werden sollte. Die Bauwerke einer Staustufe sind mit Rücksicht auf günstige Eisbekämpfung so einzurichten, daß die Schollenabfuhr leicht und schnell ermöglicht wird. In diesm Falle hat man in den beweglichen Stauwehren geeignete Instrumente in der Hand, den Eisgang in erwünschter Weise zu regeln.

Eine Eisabwehr auf den Binnenwasserstraßen kommt namentlich in zwei Zeitabschnitten in Betracht, und zwar zu Beginn der Vereisungsperiode und an deren Ende, während sie in Häfen auch in ihrem Verlauf angezeigt ist. Durch sie wird das Ziel verfolgt, den Wasserweg möglichst lange befahrbar zu halten, den Schiffen die Zuflucht in Winterschutz- oder Umschlagshäfen zu ermöglichen und die Dauer einer eingetretenen Frostsperre abzukürzen. Als einzig wirksames Mittel in harten Wintern dienen die Eisbrechschiffe, über deren Bauart und Einsatz entsprechend ihrem Verwendungszweck in Binnenwasserstraßen nähere Ausführungen gemacht werden. Mit der Aufzählung von Richtlinien, die im Eisdienst in Binnenhäfen zweckmäßig zur Anwendung gelangen, schließt der Teil II der Mitteilung.

Die im Teil III geschilderten Eisverhältnisse in den Seewasserstraßen und -häfen weisen nicht unwesentliche Unterschiede gegenüber denen im Gebiet der Binnenwasserstraßen auf. Es werden daher die für die Bildung und das spätere Verhalten des Eises an den Meeresküsten und in den Flußmündungsgebieten maßgebenden Faktoren eingehend erörtert. Außer dem zeitlichen und örtlichen Verlauf des Winters an der Küste spielt naturgemäß hier die Tidebewegung und die Windrichtung während der Frostperiode bei der Eisentwicklung eine wichtige Rolle.

Bei der Darstellung der Einwirkungen des Eises auf die Seeschiffahrt wird zwischen den unmittelbaren und mittelbaren Behinderungen unterschieden; die erstgenannten sind die Erschwerungen oder gar Unterbrechungen des Schiffsverkehrs durch das Eis selbst, die letztgenannten die Eisstörungen des Betonnungs- und Seezeichenwesens sowie die Eisschwierigkeiten, die dem Lotsendienst erwachsen.

Als Abwehrmaßnahmen im Seewasserstraßengebiet werden diejenigen erläutert, die auf dem freien Strom und in Tidehäfen zu treffen sind, wobei eine Einteilung in Vorausund in eigentliche Eisbekämpfungsmaßnahmen vorgenommen wird. Außer der Vorsorge materieller Bereitschaft zu wirksamem Eiswachdienst und der Auswechselung der Sommer- gegen die Winterbetonnung gehört zu den unumgänglich nötigen Vorausmaßnahmen die Sicherung genauer und schneller Unterrichtung der Seeschiffahrt über die infolge der Eisverhältnisse veränderte Situation auf den Seewasserstraßen durch die "Nachrichten für Seefahrer", den Küstenfunk usw. In den Erörterungen über die Eisabwehr selbst wird nach kurzem geschichtlichen Überblick über das Eisbrechwesen die neueste Entwicklung in der Konstruktion der Eisbrechschiffe geschildert, wobei die Leitsätze aufgezählt werden, die beim Bau und Einsatz der Fahrzeuge zu beachten sind. Besondere Hinweise auf die zweckmäßige Durchführung der Eisbrecharbeiten im Seewasserstraßengebiet unter besonderer Rücksichtnahme auf die Gezeiten und die Erfordernisse des Hafenbetriebes vervollständigen diesen Berichtsabschnitt.

In abgeschleusten Häfen lassen sich die Abwehrmaßnahmen örtlich in solche unterteilen, die in der Hafeneinfahrt bzw. im Schleusenvorhafen, in der Schleuse selbst und schließlich im Hafeninnern getroffen werden. Während es für die Eisabführung aus den Vorhäfen hauptsächlich auf die Windrichtung ankommt und wegen deren Veränderung in bzw. nach der Frostperiode auch die Zeiten des Eisdienstes entsprechend der Lage der Häfen verschieden sind, hat sich der Eiskampf an den Schleusen während des ganzen Frostverlaufes auf die Beseitigung von Eisansätzen und auf die Erhaltung der Beweglichkeit der Tore und Schütze zu erstrecken. In dem Becken eines abgeschleusten Seehafens vollziehen sich Eisaufbruch und Eisbeseitigung ähnlich wie in Binnenhäfen.

Abgeschlossen wird die Mitteilung mit Darlegungen über den notwendigen Schutz von Hafenbauwerken gegen Eisgefahren. Dabei werden die Verkehrsbeeinträchtigungen durch Winterglätte, der Eisansatz an den Bauten vom Wasserspiegel aus (Tidehub) und die Gefahren für bestimmte Bauwerke und Anlagen durch treibende Eismassen auf der Seewasserstraße, im Tidestrom oder an der offenen Seeküste erörtert. Es wird beschrieben, welche Gegenmaßnahmen erforderlich sind, und welche Schutzbauten sich als Typen herausgebildet und bei normalen Eisbeanspruchungen bewährt haben. Das Eisbrechbauwerk aus Stahlpfählen ist beispielsweise für den Zweck des Schutzes von Landebrücken gegen Eisgefährdung geeigneter als die früher in Holz errichteten Dalben. Man unterscheidet die spitze, aber kurze und gedrungene Form der "Eissporn" genannten Eisabweiser und die gestreckte mit sehr flach geneigter Auflaufkante. Nach Mitteilung besonderer Erfahrungen im März 1956, die anläßlich der Zerstörung von Anlagen durch Treibeisfelder bei Auftreten von Sturmfluten gemacht wurden, enden die Betrachtungen über die Schutzbauten mit der Feststellung, daß sie nicht Selbstzweck sein können, sondern daß ihre Kosten in einem vertretbaren Verhältnis zum Wert der zu schützenden Anlage zu stehen haben.

		Seite
Gliederung:	I. Allgemeine theoretische Grundlagen der Eisbildung.	134
	II. Das Eis und seine Abwehr in Binnenwasserstraßen und Binnenhäfen	
	1 Freie Ströme	
•	2 Kanalisierte Flüsse	141
	3 Binnenhäfen	144
	III. Das Eis und seine Abwehr in Seewasserstraßen und Seehäfen	146

		Seite
1	. Eisverhältnisse im deutschen Seewasserstraßengebiet	146
	a) Maßgebende Faktoren	. 146
	b) Zeitlicher und örtlicher Verlauf	148
	c) Einwirkungen auf die Schiffahrt	150
2.	. Abwehrmaßnahmen	151
	a) auf freiem Strom und in Tidehäfen	
	b) in abgeschleusten Häfen	156
3.	Schutz von Bauwerken	159

I. Allgemeine und theoretische Grundlagen der Eisbildung

Der Einfluß des Eises auf den Binnenwasserstraßen und in den Binnenhäfen war in dem Winter 1955/56 sehr beträchtlich und hat die deutsche Binnenschifffahrt für 5 bis 6 Wochen völlig lahmgelegt und auch für die Seeschiffahrt Erschwernisse hervorgerufen. Man bezeichnet den Monat Februar 1956 nahezu als den kältesten seit 200 Jahren und kann auch hinsichtlich der Auswirkungen des Frostes in vielen Beziehungen mit Rekordzahlen aufwarten. Es ist danach von Wichtigkeit, sich mit den Eisverhältnissen und insbesondere mit den Möglichkeiten der Eisabwehr näher zu befassen.

Unter den einzelnen Sorten von Eis auf den Gewässern, die je nach ihrem Bildungsort oder nach ihrer Beschaffenheit die verschiedensten Namen tragen, sind für das hier zu behandelnde Thema das Oberflächen-, das Grund- und das Schwebeis von besonderem Interesse. Da eine genauere Kenntnis der Eigenschaften dieser drei genannten Eisarten die Grundlage für später erörterte Schutz- und Bekämpfungsmaßnahmen ist, soll zunächst ihre Entstehung näher behandelt werden.

Oberflächeneis.

Stehende Gewässer gefrieren von oben nach unten; mit anderen Worten ausgedrückt: auf ihnen bildet sich Oberflächeneis. Bestimmend hierfür sind im wesentlichen die beiden Eigenschaften des Wassers, nämlich daß es

- 1. bei einer Temperatur von + 4° C seine größte Dichte und damit sein größtes spezifisches Gewicht erreicht, die aber bei weiterem Abkühlen wieder abnehmen, und daß
- 2. das Eis ein um 10 % geringeres spezifisches Gewicht als das des Wassers aufweist, weshalb es auf dem Wasser schwimmt.

Die bei stehendem Wasser auftretenden Dichteunterschiede führen zu einer gewissen Wärmeschichtung. Wenn die infolge ihres geringeren spezifischen Gewichts oben befindlichen Wasserschichten im Spätherbst abgekühlt werden, so sinken sie, weil sie schwerer werden, nach unten, und es steigen dafür wärmere auf. Diese Umschichtung vollzieht sich so lange, bis unter dauernder Zirkulation der gesamte Inhalt eines Wasserquerschnittes auf + 4° C abgekühlt ist. Wenn dann der Spiegel weitere Abkühlung erfährt, nehmen Dichte und spezifisches Gewicht des Wassers wieder ab. Das unter + 4° C erkaltende Wasser wird also leichter und bleibt oben. Wird nun bei fortdauernder Kälteeinwirkung der Gefrierpunkt um Bruchteile eines Grades unterschritten, so tritt an der Oberfläche Eisbildung ein. Das Wasser muß also, um zu gefrieren, unter seinen bei \pm 0° C liegenden Gefrierpunkt abgekühlt werden. Langjährige Messungen haben

ergeben, daß der Wärmeabfall zwischen $+0.1^{\circ}$ C und 0° C langsamer als 0.01° C je Stunde betragen muß, damit Oberflächeneis und in der weiteren Folge eine Eisdecke entstehen kann. Vollzieht sich die Temperaturabnahme schneller, dann gibt es Schwebeis, das im übernächsten Abschnitt beschrieben wird.

Außer der Kälteeinwirkung auf das Gewässer gehört aber als 2. nötige Voraussetzung zur Eisbildung noch das Vorhandensein von Kristallisationszentren; denn der Übergang des Wassers vom flüssigen in den festen Zustand ist ein Kristallisationsvorgang. In stehendem Wasser treten bei Unterkühlung der Oberflächenschicht von den unzähligen, am Überrand befindlichen Kristallkeimen aus und ebenso von den auf dem Wasserspiegel selbst praktisch stets vorhandenen, zahllosen Kristallisationszentren zunächst sehr flache, aber breite Kristallnadeln und -äste hervor, die schnell vorwärtsschießen, zu kleinen Plättchen aneinanderwachsen und schließlich eine zusammenhängende Eisschicht bilden.

Bei der Kristallisation von Wasser zu Eis wird Wärme, und zwar 79,4 cal/g, frei, die nach außen in die Atmosphäre abgeleitet werden muß. Diese Wärmeabfuhr, die ununterbrochen vor sich gehen muß, wenn fortlaufend Eis entstehen soll, ist außer der Unterkühlung und Kristallisation der 3. Eisbildungsfaktor. Die Dicke einer Eisschicht nimmt zwar bei weiterem Frost von oben nach unten zu, und es bildet sich eine feste Decke. Aber da die unter ihr befindlichen Wasserschichten wegen sehr geringer Wärmeleitfähigkeit von Eis vor schneller Abkühlung geschützt werden und auch die Ableitung der Kristallisationswärme gestört wird, bleibt die Stärke einer Eisdecke auf stehendem Gewässer auch bei lange anhaltendem Frost begrenzt.

Unmittelbar unter dem Eis stellt man bei Temperaturmessungen eine Wasserwärme von etwas über 0°C, darunter fortlaufend höhere Wärmegrade und, wenn auch der Boden diese Temperatur annimmt, an der Sohle +4°C fest. Solche Ergebnisse haben wiederholte Untersuchungen gezeitigt, wobei selbst bei stärkstem Frost die Wassertemperatur des Walchensees (übrigens ebenso wie im Hochsommer!) ab 12 m Tiefe +4°C betrugen.

Abgeschlossenen Teichen oder Seen mit keinem oder nur ganz geringem Fließen des Wassers sind am ehesten die Häfen vergleichbar, bei denen demnach die beschriebenen Voraussetzungen für die Bildung von Oberflächeneis in vollem Umfange vorliegen.

Wenn auch nicht in gleicher so aber doch in ähnlicher Weise vollzieht sich das Einfrieren von Wasser, das infolge schwachen Gefälles, wie z.B. oberhalb einer Stauanlage, langsam fließt. In solchem Falle liegen nämlich im Grunde genommen gleichartige Verhältnisse vor, wie sie zuvor beschrieben wurden. Der einzige Unterschied gegenüber dem stehenden besteht bei langsam fließendem Gewässer darin, daß durch den Fließvorgang eine gewisse Mischung der nach Dichte und Wärme im ruhenden Wasser sich einstellenden Schichten eintritt. Wenn aber das Fließen nur langsam und damit das Mischen der Wärmeschichten nicht intensiv geschieht, dann ändert dies praktisch nur etwas am Zeitablauf des Gefriervorganges, während sich im übrigen die Oberflächeneisbildung im großen und ganzen wie bei einem See abspielt. So entsteht auch im Fluße zunächst in etwa vorhandenen Buhnenfeldern, die sich in hydrothermischer Hinsicht kaum von stehenden Gewässern unterscheiden, oder auch (und zwar vornehmlich in Stauhaltungen) von den Ufern her, wo ähnliche Fließverhältnisse wie die oben beschriebenen herrschen, das sogenannte Randeis. Im weiteren Verlauf überzieht sich dann die Wasseroberfläche über die ganze Flußbreite mit einer festen, glatten Eisdecke.

Grundeis

Ganz anders bildet sich aber das Eis in rasch fließenden Gewässern und zwar in zweierlei Formen: als Grund- und als Schwebeis. Durch die beim Strömen des Flußwassers zustande kommende, lebhafte innere Bewegung und Turbulenz, bei der die Wasserteilchen von oben nach unten und umgekehrt sowie auch nach allen Seiten hin durcheinanderwirbeln, kommt es im Gegensatz zu ruhendem Gewässer hier nicht zu einer Schichtung verschieden warmen Wassers. Infolgedessen sind im gesamten Flußquerschnitt überall Dichte und Temperatur des Wassers annähernd gleich. Der erste die Eisbildung voraussetzende Faktor: die Unterkühlung, welche bei der Frosteinwirkung von der Wasseroberfläche ausgeht, wird durch die starke turbulente Strömung dem Flusse bis zu seiner Sohle hinab mitgeteilt. So erklärt sich auch die Tatsache, daß schnell fließende Ströme oft noch eisfrei sind, wenn ruhende Gewässer längst schon eine Eisdecke aufweisen. Das Nicht- oder Spätergefrieren von stark bewegtem Wasser ist aber keineswegs etwa als eine Folge der Umsetzung von Reibung in Wärme anzusehen wie häufig fälschlich geglaubt wird. Schon seit 200 Jahren haben sich in der ganzen Welt die Wissenschaftler mit diesen recht verwickelten Vorgängen beschäftigt und verschiedene Theorien aufgestellt, die teilweise sogar zueinander im Widerspruch stehen. Es soll damit nur zum Ausdruck gebracht werden, als eine wie rätselhafte Naturerscheinung die Entstehungsweise gerade des Grundeises lange Zeit angesehen wurde.

Heute wird aber fast einhellig auf Grund unzähliger Laboratoriumsversuche und Naturbeobachtungen sowie nach einer mehr als 100jährigen Diskussion dieses Phänomens die Erklärungsweise anerkannt, die der Forscher Altberg und die Anhänger seiner Theorie verfechten. Die wichtigsten Bedingungen für die Eisbildung in stark strömendem Wasser sind danach zunächst die Turbulenz und die dadurch mögliche starke Unterkühlung des Wassers sowie die gleichzeitige intensive Wärmeabfuhr. So beginnt nach Unterschreiten des Gefrierpunktes beim Vorliegen der genannten Voraussetzungen die Bildung sehr kleiner Eisplättchen mit einem Durchmesser von etwa 1/10 mm in der ganzen bis zur Flußsohle unterkühlten Wassermasse. Daß sich dann dort das Grundeis bildet, hängt damit zusammen, daß auch der Flußgrund an der Unterkühlung Anteil hat. Dies geschieht so, daß eine dünne Grenzschicht die Temperatur des sie bespülenden unterkühlten Wassers annimmt. Auf ihr entsteht dann das Grundeis und wächst immer mehr an. Auch hier spielt neben der Unterkühlung wieder die Kristallisation ihre wichtige Rolle mit, ja sie wird durch das rauhe Erdmaterial, Sandkörner, scharfkantige Steine usw. sogar sehr gefördert. Die Eiskristalle lösen sich, wenn sie genügend umfangreich geworden sind, infolge des geringeren spezifischen Gewichts des Eises gegenüber dem des Wassers und durch den Auftrieb vom Grunde ab und schwimmen, häufig unter Mitnahme von anhängendem Sand oder Kies, zum Wasserspiegel auf. Da wie bei der Oberflächeneisbildung die Abfuhr der beim Gefrieren freiwerdenden Wärme eine notwendige Voraussetzung auch für das Entstehen von Grundeis ist, muß im Fluß eine starke Turbulenz und dadurch gute Wärmeableitung sowie intensive Unterkühlung vom Wasserspiegel her bestehen. Unter solch günstigen Bedingungen können die an der Flußsohle anhaftenden, zunächst sehr kleinen Eisplättchen schnell aneinanderwachsen und Grundeis in ausgiebiger Menge hervorbringen. Dies geschieht um so lebhafter, je anhaltender tiefe Lufttemperaturen möglichst in Verbindung mit starkem Nord- und Ostwind herrschen. So konnte bei enormer Kälte und Sturm schon Grundeisbildung selbst bis in Wassertiefen von 15 m hinab beobachtet werden. Weil die vorstehend beschriebenen Voraussetzungen in Stromschnellen und Flußstrecken mit starkem Gefälle dafür besonders günstig sind, entsteht dort am meisten Grundeis, das man besonders gut nach sternenklaren Frostnächten in den frühen Morgenstunden ziemlich plötzlich und rasch aufschwimmen sehen kann.

Schwebeis

Gleichzeitig und unter denselben Voraussetzungen wie das Grundeis, und deshalb im Aussehen von diesem kaum unterscheidbar, entsteht im ganzen Stromquerschnitt eine Eisform, die man mit "Schwebeis" bezeichnet. Dieser Name kommt daher, weil die zahllosen, sehr kleinen Eisplättchen bei genügender Unterkühlung in stark turbulenter Strömung nicht nur am Flußgrunde festsitzend sondern auch schwebend in der gesamten Wassermasse erscheinen, nachdem sie sich an den im Wasser reichlich vorkommenden Kristallkernen der Sink- und Schwebstoffe angesetzt haben. Erst treten sie in kolloidaler Form auf, dann werden aber die runden, diskusartigen Schwebeis-Kristalle als kleinste dünnblättrige Plättchen und später als glasige, klebrige und an Gegenständen fest anhaftende Eismasse erkennbar. Sie können je nach Turbulenz, Unterkühlung und Wärmeentzug des Wassers sich äußerst rasch entwickeln und zu sehr großen Mengen der schwebenden Eisform zusammenwachsen, um dann als Klumpen zusammengeballt davonzutreiben. Schwebeis entsteht aber im Gegensatz zum Oberflächeneis nur, wenn die Unterkühlung durch die 0°-Zone sehr schnell, d. h. in einem Temperatursturz von mehr als 0,01° C je Stunde vor sich geht. Ferner muß der Turbulenzgrad genügend groß sein, so daß die Moleküle nur zu kurz am Wasserspiegel verbleiben können, um etwa dort zu Oberflächeneis zu erstarren. Schließlich hat an seinem Gefriervorgang infolge der Kristallisationsförderung der Sinkstoffgehalt eines Wasserlaufs einen wesentlichen Anteil. Denn man hat beobachtet, daß besonders reines Wasser, in dem also nur wenige Kristallkeime vorhanden sind, sich leicht und tief unterkühlen läßt, ohne zu Eis zu kristallisieren. Umgekehrt liefert sinkstoffreiches Wasser wesentlich mehr Schwebeis als reines und wird während und wegen der Eisbildung ganz auffallend bis zu völliger Durchsichtigkeit geklärt. Außer durch Schwebstoffe kann aber auch durch Schneefall das Entstehen von Eis unterstützt werden, so daß schnell die ganze Stromfläche, wenn es schneit, mit Eis bedeckt werden kann, sofern auch die beiden anderen bekannten Grundvoraussetzungen gegeben sind. In diesem Falle wirken dann die Schneeflocken als Kristallkerne mit. Eine interessante Feststellung ist schließlich die, daß es bei starker Unterkühlung gelegentlich auch zu plötzlicher Schwebeisbildung in der gesamten Wassermasse kommen kann. Es sieht dann aus, als gerate der ganze Fluß ins Stocken, eine Erscheinung, die namentlich bei unvermitteltem Wechsel von eisbedeckten und eisfreien Stromstrecken erkennbar wird.

II. Das Eis und seine Abwehr in Binnenwasserstraßen und Binnenhäfen 1. Freie Ströme

In strömendem Wasser treiben nach dem Aufschwimmen des mit Schwebeis sich zu Klumpen vereinigenden Grundeises zunächst lose Massen davon, die aber im freien Strom, sich bald ständig drehend, zu fast runden Schollen zusammenwachsen. Innerhalb dieser schwimmenden Gebilde von zunächst lockerem Eis befindet sich stilles Wasser, das nunmehr wie die stehenden Gewässer zu Kerneis gefriert. Die Stärke solcher Eisschollen kann nach längerem Treiben bis zu 20 cm und mehr zunehmen. An gewissen Stellen, wo eine ganz geringe Geschwindigkeit herrscht, kommt das beschriebene, sogenannte "Treibeis" zum

Stehen; die einzelnen Schollen berühren sich gegenseitig und frieren zusammen, so daß "Eisstand" eintritt. Anlaß hierzu geben im freien Strome neben künstlichen Einbauten (Brückenpfeilern, Sohlschwellen, Buhnen usw.) auch die meteorologischen (Wind!) und morphologischen Verhältnisse, wie: Untiefen, Sandbänke, Flußengen, Krümmungen, Gabelungen und Strecken mit geringem Gefälle. Bei den zu schiffbaren Wasserstraßen ausgebauten deutschen Strömen sind zwar durch die Maßnahmen zur Mittelwasserregulierung, Verbesserung der Linienführung, Verbauung von Seitenarmen usw. schon auch im Hinblick auf die Eisverhältnisse die Möglichkeit zu Korrekturen ausgeschöpft worden. Immerhin sind aber noch genügend Gelegenheiten zu Eisstand vorhanden, der deshalb an mehreren Stellen im Flußlauf gleichzeitig vorkommen kann. Die Schollenzufuhr zur nächsten, unterhalb gelegenen Decke hört dann allerdings auf, wenn sich nicht neues Grund- und Schwebeis in der "Blänke", der eisfreien Fläche, bildet und daraus neue Schollen entstehen, denn eisbedeckte Flußstrecken liefern kein Grundeis mehr, da die Unterkühlung und Wärmeabfuhr durch die Decke unterbunden wird. So kommt es vor, daß zwischen eisbedeckten Strecken dauernd eisfreie Abschnitte über Stellen verbleiben, wo Nebenflüsse mit Abwässern, wärmeres Grundwasser oder Quellen einmünden, oder schließlich über Stromschnellen mit starker Turbulenz. Die letztgenannten Eisblänken sind allerdings unerwünscht, weil man sie als die Bildungsstätten des Grund- und Schwebeises ansehen muß. Dieses kann schon in Schollenform auf die folgende feste Eisdecke zutreiben, sich unter sie schieben und das Strombett bis auf den Grund anfüllen. Im weiteren Verlauf und am Ende einer Eisperiode kann es noch Zustände geben, die mit "Eisstoß" bezeichnet werden, wenn zuschwimmendes Eis sich unter eine ruhende Eisdecke schiebt, mit "Eisdruck", wenn ein streckenweises Zusammenschieben der Eisdecke eintritt, mit "Eisaufbruch", "Eisgang" und schließlich mit "Eisversetzung". Hierzu führen im Grunde genommen ähnliche Verhältnisse wie sie beim Eisstand geschildert sind, mit dem Unterschied, daß die Maßstäbe und auftretenden Kräfte hier wesentlich größer sind. Deshalb haben auch Eisversetzungen gelegentlich katastrophale Folgen für das ganze Stromtal.

Eine Eisabwehr im freien Strome, sofern er eine Binnenwasserstraße darstellt, deren Schiffbarkeit durch Vereisung aufgehoben wird, muß schon vorweg als problematisch und eng begrenzt bezeichnet werden. Es kommen hierfür im Verlauf eines Winters mit Vereisung der Wasserstraßen zwei Zeitabschnitte in Betracht: im ersten wird das Ziel verfolgt, zu Beginn einer Eisperiode den unterwegs befindlichen Schiffen eine offene Rinne zum Erreichen ihrer Bestimmungsorte, eines Umschlagshafens oder wenigstens der am Strome für die Schiffahrt unbedingt nötigen Winterschutzhäfen zu erhalten. Wenn nämlich Wasserstraßen plötzlich vereisen, erwachsen der Volkswirtschaft durch Festliegen von zum Teil verderblichen Frachten erhebliche Schäden, die vermieden werden können, wenn die Bildung einer festen Eisdecke zunächst durch Aufrechterhaltung des Verkehrs noch auf einige Stunden oder Tage verhindert wird. Dies kann mit den in Fahrt befindlichen Schleppern geschehen, solange es nötig und ohne deren ernstliche Beschädigung möglich ist. Wenngleich von seiten der Schiffahrttreibenden oder sonstiger Kreise oft genug unter besonderer Betonung der Dringlichkeit gefordert wird, daß die betreffende Wasserstraße oder Teile von ihr möglichst lange offengehalten werden müsse, so findet das Eisbrechen selbstverständlich seine Grenze in den natürlichen Verhältnissen. Im zweiten Zeitabschnitt kann nach eingetretenem Tauwetter durch künstlichen Eisaufbruch die Verkürzung der Schiffahrtssperre angestrebt werden. Das hierzu anwendbare und einzig wirksame Mittel ist der Einsatz von Eisbrechschiffen. An den großen deutschen Strömen hat sich seit fast 7 Jahrzehnten ein planmäßiger Eisbrechdienst mit reichen Erfahrungen entwickelt, der allerdings im freien Strome meist nur am Ende der Frostperiode den gefahrlosen Eisabgang zu fördern, also hauptsächlich Eisversetzungen zu vermeiden und so die Uferniederungen vor Überflutungen und Hochwasserkatastrophen zu schützen, bezweckte. Immerhin konnte aber gewissermaßen als mittelbare Eisabwehr durch die Tätigkeit der Eisbrechschiffe zu künstlichen Eisaufbruch auch zum Vorteile für die Schiffahrt oft genug die Dauer der unvermeidlichen Sperrzeit abgekürzt werden.

Zum Brechen geschlosenener Eisdecken sind außer eigentlichen Eisbrechfahrzeugen, deren zweckmäßige Bauart für die Verwendung in tidebewegten Seewasserstraßen noch besonders in Teil III 2 a behandelt wird, im allgemeinen nur Fahrzeuge zu gebrauchen, die eine Maschinenstärke von mehr als 300 bis 400 PS besitzen. Sie sollen im vorderen Unterwasserschiff breit gebaut sein und einen gehobenen Steven haben. Dann ist es ihnen nämlich möglich, auf die Eisfläche weit hinaufzufahren und diese durch ihr Gewicht nach unten durchzubrechen. Diese Bauart in der sogenannten "Löffelform" hat sich in erster Linie beim Aufbrechen größerer Eisflächen bewährt. Für derartige Eigenschaften lassen sich ebenso gewöhnliche Schlepper durch Anbringen von Eisschuhen herrichten. Als zweckmäßig und wirksam hat sich in manchen Fällen auch der Einsatz zweier Fahrzeuge hintereinander erwiesen, wobei das hintere Schiff mit seinem Steven in ein hölzernes Polster am Heck des vorderen Fahrzeuges eingreift und dessen Schubkraft verstärkt. Es sollten überhaupt grundsätzlich beim Eisaufbruch und der Lockerung geringerer Eisversetzungen zwei Eisbrechschiffe an der gleichen Stelle tätig sein. Denn wenn das eine vom Eise nicht mehr freikommt, muß das zweite neben das erste auf die Decke fahren, was dann immer zum Freiwerden des ersten führt. Gelegentlich wird aus das 1. durch das 2. nach rückwärts herausgezogen werden müssen, wenn dieses sich besonders festgekeilt haben sollte. Daß bei derartigen Arbeiten für Vorflut der gebrochenen Schollen stromab gesorgt sein muß und deshalb mit dem Eisaufbruch von unterstrom her zu beginnen ist, ist selbstverständlich. Beim Arbeiten in zusammengetriebenem Scholleneis ist die keilartig ausfallende Spantform des Eisbrechschiffes günstiger. Der neueste Typ pflegt mit Verstellpropeller ausgerüstet zu werden, der unter allen beim Eisbrechen wechselnden Verhältnissen ein Arbeiten mit jeweils bestem Wirkungsgrad ermöglicht. Ferner läßt sich durch Einbau einer Stampfeinrichtung unter Abstimmung auf die Stampfperiode des Schiffes eine Auf- und Abwärtsbewegung erreichen, unter deren Einwirkung es sich noch stetig voranarbeiten kann, wenn andere Eisbrecher längst versagen. Die Stampfbewegung geschieht durch zwei Gewichte, die um eine das Schiff durchlaufende horizontale Welle rotieren. Dabei ist immer das vordere Gewicht oben, wenn sich das hintere unten befindet, und umgekehrt!

Katastrophale Eisversetzungen, bei denen unterhalb der Barre nur noch wenig Wasser fließt, sind nicht bekämpfbar. Ist aber noch Vorflut vorhanden, dann haben vom unteren Ende des Eiswalles stromaufwärts angesetzte Sprengungen mit treibenden Sprengstoffen, wie z.B. Schwarzpulver oder Gelatine-Donarit Erfolg. Sie sollen aber nur nach Eintritt von Tauwetter und nur dort vorgenommen werden, wo neben ausreichendem Gefälle die eisfreie Strecke unterhalb genügend lang ist. Der Sprengstoff soll nicht hochbrisant sein, sondern langsam schiebend, da sonst die Wirkung annähernd nur punktförmig ist. Die als Pakete zu etwa 5 Stück in Sprenglöcher eingeführten Ladungen werden nach

fester Verdämmung mit einem elektrischen Zündapparat zur Detonation gebracht. Die treibende Wirkung des Sprengstoffes hebt die Eisdecke, löst die Spanung und lockert die Eismasse so auf, daß danach die Eisbrecher die Schollen zum Abtrieb bringen können. Am Mittelrhein hat sich im harten Winter 1946/47 ein Verfahren bewährt, bei dem sogar eine starke Eisversetzung etwa in der dargestellten Weise erfolgreich bekämpft wurde. Man lockerte durch von unterhalb im Stromstrich aufwärts fortschreitende Sprengungen die versetzten Schollen, so daß die dann in das lose Schollenfeld einfahrenden Brecher das Eis zum Abschwimmen bringen konnten. Dann ging man in der gleichen Weise vor und konnte durch dieses abwechselnde Sprengen und Abtreiben der Schollen in die Eisversetzung eine Rinne treiben; durch sie fraß sich schließlich der Strom ein Bett und verbreiterte sie mit eigener Kraft, bis sich die Versetzung völlig auflöste. Daß die Arbeit der Sprengkolonnen durch Vorhandensein ausreichender Leitern und Bohlen gesichert werden muß, damit in den gelockerten losen Schollenfeldern niemand versinkt, versteht sich von selbst.

In den harten Kriegswintern sind, als es schon lohnend schien und es ja darauf ankam, nur wenige zusätzliche Betriebstage für die Abwicklung von Wassertransporten zu gewinnen, alle noch nicht voll erschlossenen Möglichkeiten aufs genaueste untersucht worden, die die Schiffahrtssperrzeiten durch Eis verkürzen könnten. Man veranlaßte anknüpfend an die bekannte Tatsache, daß die Berliner Wasserstraßen auch in kalten und langen Wintern wegen der dortigen Häufung zahlreicher und umfangreicher Kühlwassereinleitungen nicht zufrieren, eingehende Ermittlungen sowie thermische Berechnungen an allen in Betracht zu ziehenden Wasserstraßen. Dabei sollte versucht werden, die in den Industriewerken am Wasser anfallende Wärme der Kühlanlagen nutzbar zu machen, man dachte daran, daß sich die mittlere Temperatur des Vorfluters örtlich vielleicht so weit heben lasse, daß an besonders früh Eis bildenden Stellen die Unterkühlung fühlbar hintangehalten werde. Im besonderen Falle des riesigen Berliner Wärmebeckens wurde aber festgestellt, daß die zunächst örtlich sehr bedeutenden Auswirkungen der Warmwasser-Einleitungen auf die Wassertemperatur sehr früh (d. h. schon nach 5 bzw. 2 km!) abklingen. Damit wurden die wenig befriedigenden Ergebnisse früherer Untersuchungen in den Gewässern des Berliner Bezirks bestätigt und weitere Forschungen eingestellt.

Wirksamer erwiesen sich die Einleitungen von warmen und salzigen Abwässern der Industrien und der Städte, die im gleichen Zusammenhange beobachtet wurden. Abgesehen davon, daß unter günstigen Umständen, wie in Berlin, die Eisbildung fast vollkommen verhindert wird, sind solche Einleitungen namentlich in Flüssen insofern wertvoll, als dadurch das Eis frühzeitig zermürbt und die Durchführung von Eisaufbrucharbeiten erleichtert, streckenweise sogar ganz entbehrt werden kann. Dies ist beispielsweise in dem harten Winter 1941/42 auf der Elbe bei Magdeburg auf einer Streckenlänge von mehr als 100 km der Fall gewesen. Bei Anwendung dieses Verfahrens auf Strömen ist aber insbesondere hinsichtlich des Zeitpunktes der Einleitung Vorsicht geboten, d. h. es ist erst gegen Ende der Frostperiode ratsam. Denn die entstehenden Eisblänken von größerer oder geringerer Ausdehnung begünstigen ja die Grund- und Schwebeisbildung, die wieder zu Eisstößen und Eisversetzungen führen kann.

Die vorstehend geschilderten Eisabwehrmaßnahmen bezwecken das möglichst lange Offenhalten des Fahrwassers, welchem Ziele jedoch — bei aller Würdigung der Wirksamkeit menschlicher Bemühungen in nicht allzu strenger Winterzeit im offenen Strome ebenso wie im kanalisierten — schließlich dennoch von der Natur die Grenzen gezogen werden. Es seien daher im folgenden

Methoden geschildert, wie man außerdem der Folgen des scharfen Frostes im Wasserlauf Herr wird. Und dies ist in Form der Eisverhütung mittels der Kunstbauten zur Kanalisierung eines Flusses am besten möglich.

2. Kanalisierte Flüsse

In den letzten Jahrzehnten ist man (auch zur Wasserkraftnutzung) in Deutschland mehr und mehr zum Staffelausbau der Flüsse und Ströme übergegangen (Main-, Neckar- und Mittelweserkanalisierung), und die Zukunft wird kaum eine andere Entwicklung bringen (Mosel-, Elbe- und Oberweserausbau). Es muß zugegeben werden, daß die Interessen der Kraftwirtschaft und die Erfordernisse der Schiffahrt einander widerstreiten; aber dies ist nur während einiger Tage der Fall, und man sollte daher bestrebt sein, beide Belange nach Möglichkeit in Einklang zu bringen. Bei kürzerer Frostdauer und Bildung einer nur schwachen, Eisdecke sorgt flüssiger Schiffsverkehr selbst für das Freihalten der Fahrrinne. Selbstverständlich sind Eisdecken den Schiffahrttreibenden durchaus unerwünscht, aber im harten Winter sind sie auf die Dauer auch unter Zuhilfenahme von Eisbrechern doch unvermeidbar, und es gibt durch ihr wegen der Kanalisierung früheres Zustandekommen schließlich Eisschwierigkeiten für den Wasserstraßenverkehr lediglich für die kurze Zeit zu Beginn einer Frostperiode. Sobald nämlich Kälte von — 6° bis — 10° C auftritt, werden je nach Wasserstand und Windverhältnissen auch die Schleusenverschlüsse im Betrieb zu stark beansprucht, so daß an ihnen ständig mit Störungen gerechnet werden und daher auch deshalb der Schiffsverkehr zum Erliegen kommen muß.

Im ganzen gesehen kann aber im folgenden die Flußkanalisierung für die Eisbekämpfung in zweierlei Hinsicht als vorteilhaft bezeichnet werden. Auch bei der Eisabwehr in einer Kraftwasserstraße hat man wie im offenen Strome zwei Zeitabschnitte und zwar den Beginn und das Ende der Frostperiode zu unterscheiden, und zwar sind es im ersten Abschnitt Maßnahmen zur Eisverhütung, im zweiten zur Eisbeseitigung.

Bei der Darstellung der Eisbildung wurde schon gesagt, daß in kanalisierten Flüssen, die namentlich vor den Staustufen als langsam fließende Gewässer anzusehen sind, schon bald nach dem Eintritt scharfen Frostes Decken aus Oberflächeneis oder von den Wehren aufwachsendem Eisstand entstehen. Diese schützen das unter ihnen befindliche Wasser vor weiterer Unterkühlung und verhüten damit die andernfalls sich fortlaufend vollziehende Produktion von Grund- und Schwebeis. So bildet sich auf einem kanalisierten Flusse bei seinen größeren Flächen ruhig fließenden Wassers zwar schneller und mehr Oberflächeneis, aber es verschwindet in sehr vorteilhafter Weise das Grund- und Schwebeis, das in einem nicht ausgebauten Strome mengenmäßig das Oberflächeneis des kanalisierten Flusses um ein vielfaches übertrifft. Hieraus ergibt sich, daß durch den Staffelausbau eines Flusses seine Eisproduktion wesentlich eingeschränkt wird, weshalb schon allein diese Ausbauform im Hinblick auf die Eisverhältnisse als besonders günstig angesehen werden muß. Es kommt hinzu, daß man durch günstige Wahl der Staustufenlage Stromschnellen, die schon im vorigen Abschnitt als die hauptsächlichsten Bildungsstätten des Grund- und Schwebeises gekennzeichnet wurden, überstauen und so unschädlich machen kann. Da nun einmal eine geschlossene Eisdecke als das beste Mittel zur Verhütung oder Einschränkung von Grund- und Schwebeis erkannt ist, sollte man das Verkehrsinteresse nicht ohne Not allzu sehr in den Vordergrund rücken, sich mit dem Unvermeidlichen abfinden und lieber anfängliche Behinderungen und frühere Schiffahrtssperre in Kauf nehmen, um am Ende der Eisperiode dafür um so mehr durch die Erleichterungen entschädigt zu werden, die geringere Eismengen bieten.

Der fortschreitende Ausbau der Ströme und Flüsse zu "Kraftwasserstraßen" ist nicht mehr aufzuhalten, so daß es zweckmäßig erscheint, hier Eisverhütungsmethoden auch in staugeregelten Wasserläufen vorzuschlagen, selbst wenn bei diesen anscheinend die Schiffahrt gegenüber der Energiegewinnung schlechter wegkommt. Es kann infolgedessen die Erwähnung der kraftwirtschaftlichen Interessen nicht unterbleiben, die gerade gleich beim Frosteinbruch — aber auch nur dann! - denen der Schiffahrt zuwiderlaufen; denn vom Kraftwerksbetrieb wird eine möglichst rasche Bildung und anhaltende Pflege einer Eisdecke verlangt, die im offenen Strome die Schiffahrt nur zwangsläufig hinzunehmen gewohnt war, wenn sie bei Frostverschärfung nicht mehr zu verhindern blieb. Wenn bei Beginn einer Frostperiode von zu erwartender längerer Dauer sich im langsam fließenden Wasser unmittelbar oberhalb eines Wehres das Oberflächeneis nicht von selbst bilden sollte, fördert man insbesondere bei Windstille dies sogar noch möglichst durch Abstellen der Turbinen für eine gewisse Zeit. Man hängt mancherorts selbst Strauchwerk, Einzelbäume, Baumketten oder ganze Sprengewerke zum Einfrieren in das Oberwasser ein. Bei anhaltendem Frost setzt sich dann die Decke flußaufwärts immer weiter fort. Das unter ihrem Schutze fließende, wärmere Wasser kann nicht nur nicht zu Grund- und Schwebeis gefrieren sondern sogar sich weit oberhalb unter die Eisdecke schiebende Eisschollen so zermürben, daß sie als Eisbrei aufgelöst ohne Störung des Kraftbetriebes ins Unterwasser gelangen. Im strengen Winter 1928/29 ist am Inn beobachtet worden, daß das am Rückstauende auftretende Treibeis auf dem Wege bis zur Staustufe unter der Decke fast ganz abgeschmolzen war,

Im folgenden sollen nun die Mittel der Eisbeseitigung in kanalisierten Flüssen erörtert werden. Wenngleich in der vorliegenden Darstellung Beginn und Ende des Eiswinters herausgestellt werden, in denen Abwehrmaßnahmen zu treffen sind, so können diese zwei Zeitabschnitte auch in nicht so strengen Wintern oder solchen mit mehreren Frostperioden nicht scharf abgegrenzt sein oder ineinander übergehen. Da mildere Winter sogar häufiger auftreten als die ganz harten, muß hier auch der Fälle Erwähnung getan werden, in denen durch Einsatz von Eisbrechern die Wasserstraße möglichst lange befahrbar gehalten bzw. die Dauer einer dennoch eintretenden Sperre abgekürzt wird. So haben in Kraftwasserstraßen im Gegensatz zu den freien Strömen Eisbrecher im Verlaufe des Winters oft mehrmals in Tätigkeit zu treten. In diesen Fällen sollte vor den Kraftwerken eine möglichst große Eisfläche geschont und eine Ersparnis von Wasser zum Schollenablaß über die Wehne dadurch erzielt werden, daß man das Eis durch die Schiffsschleusen abführt, wie dies beispielsweise für Jochenstein an der Donau gedacht ist. Um ein leichtes Eisabführen zu erreichen, muß man Wehrbauten mit möglichst großen Lichtweiten der Offnungen anlegen und diese mit Verschlußkörpern versehen, die stets und durchaus zuverlässig betriebsbereit sind. Zu im Interesse der Wasserkraftnutzung zu fordernder weitgehender Wasserersparnis sollten die Verschlüsse in ihrem oberen Teil entweder versenkbar eingerichtet sein, oder es müssen auf Hubwehren mindestens in einigen Offnungen Aufsatzklappen angeordnet werden. Neben dem klassischen Walzenwehr, das ausgezeichnete Eisbewährung aufzuweisen hat, haben sich auch die Segment- und Sektorwehre und als Verschluß für Wehre größerer Höhe das Doppelschütz (Hakenschütz) als zur Eisabführung sehr geeignet erwiesen. Das letztgenannte ermöglicht eine im Verhältnis zur Gesamtstauhöhe

große Absenkbarkeit des Oberschützes (mehr als ein Drittel!) und damit den Durchgang von Eisstößen mit Abflüssen bis zu mittleren Hochwässern. Von besonderer Wichtigkeit kann dieser Umstand sein, wenn für den Eisablaß eine plötzliche Freigabe der Offnung nötig wird, weshalb man auch danach streben sollte, rasche Bewegungen der Verschlußkörper durch Anlage und Bemessung der maschinellen Einrichtungen zu ermöglichen. Die gleichen für die Eisabfuhr günstigen Merkmalle wie die Fischbauch-Aufsatzklappen weisen als ausgesprochene Versenk-Konstruktionen die Klappen- und Doppelklappenwehre (Dachwehre) auf. Das Dachwehr ist weniger als andere gegen Geschiebe empfindlich und läßt sich mühelós, rasch, genügend tief und jederzeit, selbst wenn über ihm eine Eisbrücke zusammengefroren ist, für einen stoßweisen Eisabgang absenken. Auch ist bei ihm die stete Betriebsbereitschaft selbst bei schärferem Frost leichter erreichbar als bei anderen Wehrverschlüssen, bei denen trotzbestehender Heizvorrichtungen ein Einfrieren immerhin möglich ist. Wenn die Schollen bei der Eisabtrift über das Wehr abstürzen, brechen sie in kleine Stücke, und durch die Toswirbel des Unterwassers wird vollends mit Sicherheit eine Versetzung des Eises verhindert, wenn hierfür nur genügend Vorflut besteht.

Bisher wurden in diesem Abschnitt mehr die Vorgänge und Eisschwierigkeiten geschildert, die zu Beginn und im Verlaufe einer Frostperiode auftreten. Es gibt aber auch an deren Ende, also bei Einsetzen des Tauwetters und dem zu erwartenden Eisgang ausgesprochene Eisgefahren, denen im kanalisierten Flusse wirksamer als im nicht staugeregelten begegnet werden kann. Beim Nachlassen des Frostes bewegt sich die Temperatur des Wassers im gleichen Sinne wie die der Luft und steigt auch dann, wenn sich die Erwärmung der Luft noch im Bereich unter dem Gefrierpunkt hält. Das Schmelzen von Eisdecken beginnt bereits bei -- 5° C Lufttemperatur und geht hauptsächlich von der Wasserseite her vor sich. Dabei spielt auch die Strömungsgeschwindigkeit eine wesentliche Rolle; denn je mehr Kalorien in der Zeiteinheit vom Wasser an die Eisdecke abgegeben werden, um so schneller schmilzt sie und löst sich nach beendeter Frostwetterlage sehr rasch auf. So erklärt sich auch, daß stehende Gewässer immer noch mit Eis bedeckt sind, wenn Flüsse und Ströme längst eisfrei sind. Im Neckar zeigte sich dies am Ende des Winters 1941/42 sehr deutlich, als das zuletzt in einer Stärke von 0,60 m gemessene Eis im freien Fluß innerhalb einer Woche unter Selbstauflösung völlig verschwand. In den Seitenkanälen der Staustufen dagegen mußten die Decken gebrochen und die Schollen abgeführt werden, da sie sonst zu lange gehalten hätten. Die gleiche Beobachtung wurde im März 1956 im Bereiche der Mittelweserkanalisierung gemacht. In Flachlandflüssen kommt es bei plötzlichem Tauwetter mit starkem Regen auf gefrorenem Boden oft zu erheblichem Ansteigen des Wassers, das dann bestehende Eisdecken mit großer Geschwindigkeit hebt und einen Eisaufbruch (bis zu 15 km/Std.) mit elementarer Gewalt hervorruft. Nun heißt es z.B. im kanalisierten Mittellauf eines Stromes, den Eisgang zweckmäßig und unter Anpassung an die Verhältnisse im Unterlauf zu regeln. Mit Erfolg wird dies immer bei künstlichem Aufbruch durch Eisbrecher geschehen, von denen dann zweckmäßig immer mindestens je einer in allen Haltungen gleichzeitig arbeitet. Sobald der Strom von der Mündung her eisfrei ist, läßt man das gebrochene und bis dahin in den Stauhaltungen verbliebene Eis ab. Auch wenn in kanalisierten Flüssen keine Eisbrecher vorhanden sind, ist es erforderlich, sich von allen Eisbewegungsvorgängen genaue Kenntnis zu verschaffen. Man soll z.B. die Wehrverschlüsse nicht freigeben, wenn nicht dauerndes Steigen des Wassers und Bewegung der Eismassen von oben gemeldet ist. Ist dies aber der Fall und wird

die Aufnahme des Eises im Unterlauf ohne Schaden für Schiffahrt und Stromtal als tragbar erachtet, dann werden möglichst an allen Stufen zugleich die Wehre geöffnet. Dabei geht dann das gebrochene Eis mit einem gleichmäßigen Wasserstande reibungslos innerhalb weniger Stunden ab. Bei guter Zusammenarbeit der einzelnen Dienststellen am Flusse läßt sich aber, wie ebenfalls mit guten Erfahrungen erprobt wurde, das Eis auch von Stufe zu Stufe zum Abgang bringen. Daß zu solcher Eisabwehr eine straffe einheitliche Leitung, engstes Zusammenwirken, ständige Kenntnis über die Bewegung des Wassers und Eises usw. unbedingte Erfordernisse sind, ist zu selbstverständlich, als daß hierüber nähere Ausführungen gemacht werden müßten. Welche Vorteile ein Stauwehr im kanalisierten Flusse auch zur Bekämpfung einer Eisversetzung bis zu 2 km oberhalb der Stufe bietet, hat sich erneut im März 1956 an der Staustufe Petershagen an der Weser bestätigt. Dort konnten durch abwechselndes Heben und Senken der Verschlüsse die immer an der gleichen Stelle auch vor dem Ausbau des Flusses sich bildende Eisbarre in Bewegung gebracht und die Massen zusammengeschobenen Eises von 6 km Stromlänge durch das Wehr geführt werden. Welche Schäden in einer nahegelegenen großen Fabrik oder der Unterstadt Minden im anderen Falle entstanden wären, ist schwer zu sagen.

Zusammenfassend werden demnach als die zwei Vorteile der Flußkanalisierung im Eiskampf die Tatsachen hervorgehoben, daß man durch das schnellere Herbeiführen der Decken die Eisbildung einschränken kann und mit den beweglichen Stauwehren geeignete Instrumente in der Hand hat, den Eisgang in erwünschter Weise zu regeln.

3. Binnenhäfen

Wie im Abschnitt II 1 dargestellt wurde, ist es zu Beginn einer Frostperiode für die Schiffahrt von großer Wichtigkeit, noch vor dem Einfrieren der Wasserstraße ihren Bestimmungsort oder einen Winterschutz- oder Umschlagshafen zu erreichen. Dort muß nach den örtlichen Erfahrungen in straffer Organisation planmäßig vorgegangen werden, um mit dem zur Verfügung stehenden Platz auszukommen und rechtzeitig alle für eine vielleicht wochenlange Liegezeit nötigen Vorkehrungen der Sicherheit für Schiffe, Ladung und Hafenanlage zu gewährleisten. Im folgenden seien eine Anzahl von Richtlinien vermerkt, wie sie beispielsweise in den Duisburg-Ruhrorter Häfen zur Anwendung gelangen:

- a) Die Belegung der Hafenbecken beginnt an ihren Enden.
- b) In der Mitte der Hafenbecken wird stets ein offener Durchfahrtweg freigehalten, um in Notfällen ein Feuerlöschboot oder ein Bergungsboot ansetzen zu können.
- c) Die am Ufer liegenden Fahrzeuge erhalten Anweisung, einen genügend weiten Abstand von der Böschung einzuhalten, damit bei fallendem Wasserstand die Fahrzeuge nicht zum Aufliegen kommen. Tief geladene Kähne werden nach Möglichkeit zur Mitte der Hafenbecken hin abgelegt.
- d) Unter Brücken, Auslegern von Kränen und Verladebühnen ist das Liegen nicht gestattet, weil bei plötzlich steigendem Wasser ein Verholen nicht möglich und Schäden an Fahrzeugen oder an den Verladebrücken unvermeidlich sind. So stieg beispielsweise am 28.1.1942 der Ruhrorter Pegel in einer Stunde um etwa 1 m und in 24 Stunden um 4 m. Der plötzliche Anstau wurde durch eine Eisversetzung auf dem Rheinstrom hervorgerufen, die sich in jedem Winter mit Eisstand wiederholen kann.

- e) Besondere Beachtung ist den Tankschiffen sowie den Fahrzeugen zu widmen, die Spreng- oder selbstentzündliche Stoffe geladen haben. Diese dürfen nicht zwischen anderen Fahrzeugen liegen und sind an die für sie bestimmten Liegeplätze zu verweisen. Von dieser Anordnung sind nur die Tankschiffe ausgenommen, die entgast sind. Sie dürfen jeden freien Liegeplatz einnehmen. Falls ein Hafen Strömung hat, müssen Tankschiffe im Hafen nach Unterstrom gelegt werden, denn wenn durch irgendwelche Umstände auf einem Tankschiff ein Feuer ausbricht, treibt die brennende Flüssigkeit zum Strom hin ab, auf dem sich keine Fahrzeuge befinden; die im Innern des Hafens liegenden Schiffe können aber auf diese Weise nicht in Brand geraten.
- f) Verlade- und Umschlagplätze sind so lange wie möglich für die Ablage von ladenden oder löschenden Fahrzeugen freizuhalten, damit der Umschlag, soweit es die Kälte gestattet, aufnechterhalten bleibt.
- g) Die Einfahrtmündungen dürfen zunächst nicht oder wenigstens nur schwach belegt werden, damit man noch Nachzügler aufnehmen kann. Liegt ein Teil eines Hafens im Hochwasserabflußgebiet, so dürfen hier keine Schiffe abgelegt werden. Anlaß zu dieser Anweisung gab eine Eisversetzung am 30. 1. 1942, durch deren plötzlichen Abgang etwa 52 Fahrzeuge beschädigt wurden, die nicht in ausreichender Sicherheit gelegen hatten.
- h) Sobald die Fahrzeuge ihren Liegeplatz eingenommen haben, erhalten die Schiffsführer Anweisung, in nächster Nähe ihres Fahrzeuges mindestens eine Stelle zum Wasserschöpfen offen zu halten. Diese Verordnung ist auch in der z. Z. gültigen Hafenpolizeiverordnung enthalten.

Daß in der kurzen Zeit, in der die Schiffahrttreibenden ihre Fahrzeuge und schwimmenden Geräte in Sicherheit bringen, auf den größten deutschen Binnenhafen, in dem dann bis zu 1600 Schiffe Zuflucht suchen, ein geradezu überwältigender Ansturm einsetzt, dessen Bewältigung die größten Anstrengungen erfordert, liegt auf der Hand. Als besonders wertvoll haben sich dabei an den Einfahrtmündungen die aufgestellten Lautsprecheranlagen erwiesen, die in dem Unterkunftsraum des Hafenmeisters betätigt werden. Der Hafenmeister hat so Gelegenheit, durch Zuruf dem Schiffsführer seinen Liegeplatz mitzuteilen. Durch diese Einrichtung werden Verkehrsstockungen und Überbelegung einzelner Hafenbecken vermieden.

Mit dem gleichen Tage, an dem die Fahrzeuge den Hafen aufsuchen, beginnen auch die täglichen Aufeisungsarbeiten durch die Eisbrecher. Sie sind notwendig, um den Umschlagsmagazinen die Möglichkeit zu geben, ihren Betrieb so lange wie möglich aufrechtzuerhalten und noch später einlaufende Fahrzeuge aufnehmen zu können.

Hierzu müssen auch hier noch einige Einzelheiten erörtert werden, die sich aus dem Charakter dieser Arbeiten gerade in dem stehenden Gewässer ergeben, das ein Binnenhafen darstellt. In den Becken müssen die Fahrrinnen deshalb täglich aufgebrochen werden, damit bei fallendem Wasser das Ablegen der Schiffe vom Ufer möglich bleibt. Bei Becken mit senkrechten Ufern ist allerdings ein Aufbrechen nicht erforderlich. Im Hafen ist es nicht angängig, das Eis keilartig zu brechen und dann seitlich fortzuschieben, sondern die Eisbrecher müssen hier auf jeden Fall mit dem Vorschiff auf das Eis auffahren und es durch ihr Eigengewicht nach unten drücken. Hierdurch werden nämlich Schäden an stillliegenden Fahrzeugen, wie sie durch das keilartige Aufeisen hervorgerufen würden, ausgeschlossen.

Für die Dauer des Eisbrechens werden die Fahrzeuge, die in der Lage sein müssen, Eisdecken in einer Stärke bis zu 40 cm und noch mehr zu brechen, mit einem besonderen Propeller ausgerüstet. Sie dürfen ihr Kühlwasser nicht von außenbords, sondern durch eine an Bord eingerichtete Umlaufkühlung beziehen. Zu diesem Zweck muß im Heck ein wasserdichter Tank eingebaut sein, der vor Beginn der Aufeisungsarbeiten vollgepumpt wird. Im Umlaufverfahren wird dieses Wasser zur Antriebsmaschine und wieder zurück zum Tank geleitet. Diese Anlage bezweckt, daß

- 1. die Kühlung der Antriebsmaschine nicht mehr durch das sich außenbords bildende Schaumeis unterbrochen,
- 2. durch den Wasserballast der Tiefgang des Achterschiffes erhöht und umgekehrt am Vonderschiff ermäßigt wird. Dadurch wird der Propeller besser vor dem Aufschlagen auf starke Eisschollen geschützt, und das Vorschiff kann sich weiter auf die Eisdecke schieben, wodurch die Aufbruchleistung gesteigert wird.

Zur Auswechselung beschädigter Propeller sollte ein großer Kran zur Verfügung stehen, so daß das Boot nicht auf Helling genommen zu werden braucht.

Wenn hier von den örtlichen Erfahrungen der Eisabwehr in den Duisburg-Ruhrorter Häfen berichtet wird, so deshalb, weil sich dort zu ihrer Sammlung besonders gute Gelegenheit bot. Die Darstellung mag stellvertretend auch für andere Plätze dienen, von denen die einzelnen Maßnahmen übernommen, entsprechend den dort geltenden Verhältnissen abgeändert oder auch noch erweitert werden können.

III. Das Eis und seine Abwehr in Seewasserstraßen und Seehäfen

1. Eisverhältnisse im deutschen Seewasserstraßengebiet

a) Maßgebende Faktoren

Die Eisverhältnisse an den Meeresküsten und in den Flußmündungsgebieten weichen von den vorstehend geschilderten des Binnenlandes nicht unerheblich ab. Sowohl bei der Eisbildung wie auch im späteren Verhalten des Eises wirken sich einige Faktoren maßgebend aus, die auf den Binnenflüssen überhaupt nicht zu beobachten oder nicht in diesem Maße in Erscheinung getreten sind.

Daß die Verhältnisse nicht die gleichen bleiben können, ergibt sich bereits aus dem meist sehr schnellen Anwachsen der Profile unserer schiffbaren Ströme im Küstenbereich nach Breite und Tiefe. Letztere verändern sich nun aber nicht in gleichem Verhältnis, sondern die Strombreite nimmt in viel stärkerem Maße zu. Es gewinnen hierdurch die Wasseroberflächen schnell solche Ausdehnung, daß der Wind auf die Wasserdurchwirbelung, -unterkühlung und -verdriftung entscheidend zur Wirkung kommen kann.

Neben dem Lufttemperaturfaktor kommt daher in den Strommündungsgebieten den Windverhältnissen bei der Eisbildung eine entscheidende Bedeutung zu. Windstärke und Windrichtung beeinflussen aber nicht nur den Ablauf der Unterkühlung des Wassers und damit die Eisentstehung, sondern tragen zur Bewegung der Eisschollen und späterhin der Eisdecke entscheidend bei. Ungünstige Windverhältnisse können an der Küste, in den großen Meeresbuchten und Strommündungen zu starken Eispressungen führen.

Ein weiterer Faktor sind die vom Meer beeinflußten Wasserstandsschwankungen. Die in die Nordsee einmundenden Ströme unterliegen in ihrem Unterlauf der Gezeitenbewegung des Weltmeeres. Im Bereich der Deutschen Bucht sowie in den mit ihr in Verbindung stehenden Strömen bzw. Seewasserstraßen sind täglich zweimalige, periodische, erhebliche Wasserstandsmeldungen anzutreffen

Die Höhe dieser Wasserstandsänderungen ist nach Ort und Zeit verschieden und liegt etwa zwischen 2 m und 4 m. Bedeutsam für die Eisbildung werden diese periodischen Wasserstandsschwankungen infolge einer Eigenart der deutschen Nordseeküste. Dieser ist nämlich ein breites Wattenmeer vorgelagert, dessen Wasserflächen bei Niedrigwasser freifallen und damit der Frosteinwirkung und Eisbildung besonders zugänglich sind.

Neben diesen regelmäßigen periodischen Wasserstandsschwankungen, die sich im Bereich der Ostsee nur stark abgeschwächt zeigen und hier infolge Fehlens der Wattflächen auf die Eisentstehung ohne Bedeutung sind, treten in Nordsee und Ostsee windbeeinflußte Wasserstandsänderungen auf, die in ihrem Extremzustand als Sturmflutwasserstände besonders gefürchtet sind.

Im Nordseeküstenbereich haben die beim Wechsel der Windrichtung eintretenden Erhöhungen der Flutwasserstände das Lösen und Abtreiben der auf den Wattflächen entstandenen Eisfelder zur Folge, im Ostseebereich führen die windverursachten langsamen Wasserstandshebungen und -senkungen durch die damit verbundenen vertikalen Veränderungen der Eisdecke zur Gefährdung fest eingefrorener Landeanlagen, Dalben usw. So fielen im Kriegswinter 1939/40 zahlreiche hölzerne Landungsbrücken vor den Seebädern der Ostsee diesen Eisbewegungen zum Opfer.

Für den deutschen Küstenbereich hat die Gezeitenbewegung des Meeres nicht nur Wasserstandsänderungen, sondern auch einen Wechsel der Wasserströmungen nach Stärke und Richtung zur Folge. Besonders ausgeprägt finden wir diese Tidebewegung im Mündungsgebiet der Flüsse und Ströme, wo auf einige Stunden starken seewärts gerichteten Ebbestromes eine Periode der Strömungsverlangsamung, des Strömungsstillstandes und der Strömungsumkehr folgen, die zu einem mehrstündigen landeinwärts gerichteten Flutstrom überleiten.

Daß dieser Strömungswechsel und zeitweilige Strömungsstillstand auf die Bewegung des Eises, insbesondere das Treiben der Eisschollen und ihr Zusammenfrieren zu einer Eisdecke entscheidenden Einfluß gewinnen kann, liegt auf der Hand.

Schließlich sei noch auf den Salzgehalt des Meerwassers als einen Faktor hingewiesen, der die Eisbildung verzögert, sowie auf die Eisstruktur und das Abschmelzen von Einfluß ist. Er kommt entsprechend den örtlich verschiedenen Mischungsverhältnissen von Meer- und Flußwasser unterschiedlich stark zur Geltung. Er tritt bei dem schnellen Abschmelzen des Küsteneises der Nordsee in Erscheinung. Im Gegensatz hierzu steht das langsame Abschmelzen des Eises der Ostsee und in den Oberläufen der Ströme, das eine wesentlich kernigere Struktur besitzt.

Den Einflüssen von Wind, Tidebewegung und Salzgehalt ist es auch zuzuschreiben, daß Frostmilderungen im Verlauf eines Winters sich auf die Entwicklung der Eisverhältnisse im Küstengebiet viel stärker auswirken als im Binnenland. Wir können in allen Wintern, in denen es zur Eisbildung im Küstengebiet kommt, Frostperioden verfolgen, die zwischenzeitlich das Eis in den Strommündungsgebieten der Nordsee wieder verschwinden lassen. Diese Perioden lassen sich auch in den strengsten Wintern erkennen, in denen im Binnenland nur von einer langen Eiszeit mit durchgehender Schiffahrtsperre gesprochen werden kann.

b) Zeitlicher und örtlicher Verlauf

Die Winter an der deutschen Küste verlaufen recht unterschiedlich. Wir finden milde Winter, in denen keine Eisbildung an den Küsten und in den Strommündungen zu beobachten ist, und strenge Winter, in denen sich das Innnere der Deutschen Bucht bis auf die Höhe Helgoland mit Treibeis füllt und die Ostsee von riesigen treibenden Eisfeldern bedeckt ist.

Graphische Auftragungen des seit 1903/04 von der Deutschen Seewarte bzw. dem Deutschen Hydrographischen Institut gesammelten Beobachtungsmaterials lassen eine Aufteilung der gesamten Eiswinter in fünf Gruppen wie folgt zu:

	Normale Winter	Eis	sreiche Wi	nter	
	eisarme Winter gemä- ßigte Winter	eisreiche Winter	sehr eisreiche Winter	extreme Winter	Gesamte Beobach- tungs- winter
Anzahl der beobachteten Winter	8 24	7	5	1.	45
Anteil in v.H. ausgedrückt	18 % 53 %	16 %	11 0/0	2 0/0	100 %
	71 % der Beobachtung	swinter 19	29 % 03/04 bis 19	947/48	
				The State of the	en

Für den Nordseebereich gilt dann:

In eisarmen Wintern macht sich in den Strommündungsgebieten und den Küstengewässern überhaupt kein oder nur geringes Treibeis aus dem Mittellauf der Ströme bemerkbar, das für die Schiffahrt ohne Bedeutung ist.

In gemäßigten Wintern ist Eisbildung im gesamten Wattenmeer und in salzärmeren Mündungsgebieten der Ströme Elbe, Weser, Ems und im Jadebusen zu beobachten.

In eisreichen Wintern bilden sich darüber hinaus Treibeisstreifen vor den Strommündungen, die sich in sehr eisreichen Wintern zu geschlossenen Treibeisfeldern entlang der nord- und ostfriesischen Inselgruppen vereinigen, so daß der innere Teil der Deutschen Bucht mit Treibeis bedeckt ist. Wir können in den sehr eisreichen Wintern auch einen Eisansatz bei Helgoland, sowie Festeis zwischen den Inseln und der Festlandküste beobachten.

In extremen Wintern schiebt sich der Treibeisgürtel noch über die Insel Helgoland hinaus, während die eigentliche Nordsee unter dem günstigen Einfluß der warmen Wassermassen des Golfstromes auch in den schärfsten Wintern eisfrei bleibt.

Die Eisbildung selbst vollzieht sich in den Strommündungsgebieten wie bei den Binnenwasserstraßen durch Bildung von Grundeis, Schwebeis und Oberflächeneis. Hierbei kommt es häufig überraschend schnell zu einem Eisstand. Ja, man müßte vielerorts mit diesem, die Schiffahrt unterbindenden Zustand viel früher rechnen, wenn nicht ein reger Verkehr von Seeschiffen das schnelle Zusammenfrieren der Eisschollen auf der Strecke zwischen Meer und Seeschiffhäfen verhinderte.

Die Bedingungen für einen schnellen Eisstand liegen vor; es sind die Verlangsamung der Strömung nicht nur infolge Anwachsens der Stromquerschnitte, sondern auch im Zusammenhang mit der bereits erwähnten Tidebewegung, die zeitweilig zum völligen Strömungsstillstand führt, ferner die Rückhaltung und Zusammenführung der Eisschollen, wenn der auflaufende Flutstrom die vom Oberlauf des Stromes herabtreibenden Schollen festhält, und vielfach auch ein das Zusammentreiben und -frieren begünstigender Wind.

So konnte auf der Weser oberhalb der Bremischen Seehäfen verschiedentlich beobachtet werden, daß zwischen dem ersten Auftreten von losem Treibeis und der Bildung einer zusammenhängenden Eisdecke weniger Zeit als 48 Stunden verging. In Zeiten geringerer Wasserführung der Ströme breitet sich ein Eisstand verhältnismäßig schnell nach oberstrom aus, bei stärkerer Oberwasserführung kann sich die Fortbildung der Eisdecke nach oberstrom zu aber erheblich verzögern. Die herabtreibenden Schollen schieben sich dann unter die bereits im Unterlauf vorhandene Eisdecke, frieren dort fest und verursachen die gefürchteten Eisversetzungen.

Da die Binnenschiffahrt auf den Strömen im allgemeinen wenige Tage nach Auftreten des ersten Eistreibens eingestellt wird, liegt es im Interesse der Seehäfen bzw. des Seeverkehrs, daß das von Oberstrom bzw. von seitlichen Zuflüssen in die Seewasserstraße einfließende Treibeis möglichst schnell zum Stehen gebracht wird. Das gelingt verhältnismäßig leicht aus den bereits genannten Gründen in den von der Ebbe- und Flutbewegung berührten Strombereichen, vorausgesetzt, daß die Deckenbildung nicht durch Eisbrecher gestört wird. Ist dieser Zustand auf allen Zuflüssen erst einmal erreicht, wird die Eisvermehrung auf der Seewasserstraße sowie in den Seehäfen nur noch von der Neueisbildung auf diesen Wasserflächen beeinflußt.

Besonders wechselreich gestalten sich die Verhältnisse, wenn an der Tidegrenze im Unterlauf der Ströme ein Wehr errichtet ist, das zwar bei geringer Oberwasserführung infolge seiner Stauwirkung nach oben eine schnelle Eisdeckenbildung im Oberwasser begünstigt, bei zu starker Oberwasserführung aber das Eis über das Wehr treiben läßt, wo es im Unterwasser zu starken Eisansammlungen kommen kann. Die Stromquerschnittsänderung im Unterwasser eines die Tidebewegung begrenzenden Wehres kann so beträchtlich sein, daß die Strömungsverminderung im Unterwasser in Verbindung mit der Tidebewegung bereits innerhalb einer Nacht zu einer kilometerlangen Deckeneisbildung unterhalb des Wehres führen kann, die sich schnellstens zu einer Eisversetzung bis an das Wehr entwicklet. So trat in dem starken Winter 1940/41 auf einer etwa 6 km langen Strecke unterhalb des Bremer Weserwehres, d. i., oberhalb der Einfahrt zu den Seehäfen, eine Eisversetzung auf, die eine Stärke von mehreren Metern erreichte. Ein Teil dieser Versetzung löste sich einige Zeit später bei einer höher auflaufenden Flut und nahm beim Abtreiben die an den Schiffsliegestellen festgemachten Binnenschiffe mit sich. Sie führte ferner zu erheblichen Beschädigungen der Dalbenanlagen.

Noch schwerere Folgen hatte in Bremen ein Eisgang der Nachkriegszeit, als Teile kriegszerstörter Brücken und Behelfsbrücken in noch stärkerem Maße Eisversetzungen begünstigten und gleichzeitig den Einsatz von Eisbrechschiffen behinderten.

Gelingt es aber, durch geschickte Bedienung einer solchen Stauanlage im Strom oberhalb der Seehäfen im Oberwasser schnell eine zusammenhängende Eisdecke zu erzeugen, so hat das auch seine großen Vorteile.

Abgesehen von Zeiten mit extremen Tieftemperaturen, in denen bereits kurz unterhalb des Wehres eine neue Eisbildung durch Schwebeis einsetzt, bildet sich unterhalb der Festeisstrecke des Staubereiches ein oft viele Kilometer langer Streifen freien Wassers, auf dem nicht nur Seeschiffe, sondern auch Binnenschiffe ungehindert verkehren können. Eine Behinderung der Schiffahrt durch Eis tritt dann erst weit unterhalb auf.

Für die Eisentwicklung in den Mündungstrichtern der großen Ströme sowie im Bereich der Meeresbuchten ist die Eisbildung auf den Wattflächen, auf denen sich bei scharfem Frost schnell große zusammenhängende Eisflächen bilden, von größtem Einfluß. Unter Einfluß des Windes geraten diese Eisflächen ins Treiben, sie können das Fahrwasser sperren und an Stromengen zu Eispressungen führen. Diese Eisbildung auf Wattflächen ist im gesamten Wattenmeer zwischen den friesischen Inseln und dem Festland, sowie in den Buchten des Dollarts und Jadebusens zu beobachten. Der während der Winter-Frostperiode herrschende Ostwind führt häufig zu Eisstauungen und Eispressungen an der Westseite dieser Buchten. Diese können sich zu Behinderungen der Schiffahrt für die hier gelegenen Häfen auswirken. Bei Beendigung der Frostperioden führt der dann auf West drehende Wind zu einem Höherauflaufen der Fluten, dem Loslösen der Eismassen auf dem Watt und ihrem Vertreiben in östlicher Richtung. Es treten dann ähnliche Behinderungen für die auf der Ostseite der Buchten gelegenen Häfen ein, doch sind diese stets kurzfristiger Natur, da das Meereseis bei Umschlag der Witterung meist recht schnell abschmilzt.

Über die unterschiedlichen örtlich bedingten Abschmelzzeiten des Eises im deutschen Küstenbereich hat Gertrud Prahm in der Deutschen Hydrographischen Zeitschrift Band 4, Heft 1/2, einen ausführlichen, kritischen Bericht gebracht, der aufzeigt, wie überraschend schnell im Stromunterlauf der Weser und etwas später im Bereich der Elbe Eis und Eiseinwirkung bei Frostbeendigung verschwinden.

c) Einwirkungen auf die Schiffahrt

Die Behinderung der Schiffahrt durch Eis und Eisbildung im Bereich der Strommündungsgebiete sind verschieden. Zuerst seien genannt die unmittelbare Behinderungen, die eintreten durch die Erschwerung bzw. Unterbrechung des Schiffsverkehrs infolge der Bildung von Eisschollen, von Treibeisfeldern und einer geschlossenen Eisdecke. Diese Erschwernisse können sich bei Eisversetzungen und Eispressungen zu einer akuten Gefahr für die Schiffe steigern, die in eine solche Eisversetzung oder Eispressung geraten.

Eisschollen werden für die Hochseeschiffahrt und für die Küstenschiffahrt kaum eine Behinderung sein, sie können nur Schiffen aus Holz gefährlich werden, die aber im Bereich unserer Küsten kaum noch anzutreffen sind.

Treibeisfelder können für schwächere Schiffe eine Gefahr bedeuten, wenn infolge Windauswirkung oder Strömungsauswirkung das Treibeisfeld quer zu einer für die Schiffahrt ausgebaggerten Fahrrinne oder über Untiefen treibt und das Schiff auf die Böschungen der Fahrrinne oder auf die Untiefe drückt.

Mit Eisdecken und Eisversetzungen werden Schiffe mit geringer Maschinenstärke und ohne Eisverstärkung im allgemeinen nicht mehr fertig, sie werden Eisbrechhilfe oder Schlepperhilfe in Anspruch nehmen müssen, wenn sie ihren Bestimmungshafen anlaufen wollen. Ernstlich gefährdet sind die Schiffe, die in Eispressungen geraten, wie wir sie in den Nordmeeren und gelegentlich auch an den Ausgängen der Ostsee und an den Ostseeküsten finden. Im Nordseebereich sind derartige Eispressungen äußerst selten anzutreffen.

Neben dieser unmittelbaren Behinderung der Schiffahrt haben die mittelbaren Behinderungen kaum geringere Bedeutung.

Durch die Eisbildung im Küstenbereich wird das gesamte Betonnungs- und Seezeichenwesen in Mitleidenschaft gezogen. Die großen Bakentonnen sowie die Leuchttonnen müssen eingezogen werden, da sich an dem bakenförmigen Oberbau und bei Leuchttonnen an den Laternen Eisansätze bilden, die bei den Bakentonnen zu einem Umkippen der Tonnen und bei Leuchttonnen zu einem Verlöschen der Leuchten führen können. Diese Tonnen werden daher bei Beginn der Eisbildung eingezogen. Sie werden ersetzt durch Spieren oder Spitztonnen kleineren Formats. Diese Ersatztonnen sind schon an sich nicht so gut kenntlich, dazu leiden sie ebenso wie die übrige Fahrwasserbetonnung durch die Eisbildung. Letztere führt häufig zu einem völligen Verlust des Farbanstriches, so daß am Ende einer langen Eisperiode weder Farbton noch Buchstaben- oder Ziffernkennzeichnung der Tonnen zu bestimmen sind. Weitere Übelstände sind, daß die Tonnen im Eis festfrieren und vertreiben können, daß sie bei dem Darüberhinwegtreiben größerer Eisfelder völlig unterschneiden und dann längere Zeit verschwunden bleiben. Schließlich werden sie auch von ihrer Verankerung losgerissen und gehen völlig verloren. Dies bringt verständlicherweise eine erhebliche Erschwerung des Schiffsverkehrs auf den Seewasserstraßen mit sich.

Die veränderte Betonnung bzw. ihre Umgestaltung infolge von Eistreiben führt auch zu Änderungen des Wasserstraßenbildes auf dem Leuchtschirm des Schiffsradargerätes. Weiterhin verursachen die treibenden Schollen, die meist sehr unebenen Treibeisfelder und die Eisversetzungen Störungen und Lichterscheinungen auf dem Leuchtschirm des Radargerätes, die die Erkennbarkeit von Schiffen, Bojen, Baken und der Ufer erschweren und deren Auslöschung Schwierigkeiten bereitet.

Abschließend sei noch erwähnt, daß durch die Vereisung der Wasserstraßen der Lotsenversetzdienst erschwert, ja sogar unmöglich gemacht wird. In strengen Wintern können die Lotsendampfer genötigt sein, ihre Außenstationen infolge Eisbehinderung oder Eisversetzung aufzugeben und schützende Häfen anzulaufen, ganz zu schweigen davon, daß ein Lotsenversetzdienst mit den üblichen Motorbooten bereits bei etwas stärkerem Eisgang nicht mehr möglich ist. In manchen Hafenbereichen finden wir zu solchen Zeiten den Lotsendampfer als Eisbrecher, der die ein- und auslaufenden Schiffe in Geleitzügen zusammengefaßt lotst, wieder.

2. Abwehrmaßnahmen

a) Auf dem freien Strom und in Tidehäfen

Vorausmaßnahmen

Der bevorstehende Winter mit seinen Frost- und Eisgefahren nötigt die Verwaltung der Seewasserstraßen und Seehäfen nicht nur für die Abwehr der aus dem Eis der Seeschiffahrt erwachsenden Gefahren durch Bereitstellung von gut

ausgerüsteten Eisbrechfahrzeugen, Geräten, Vorräten usw. zu sorgen, sondern erfordert auch Vorausmaßnahmen, die es gestatten, die Schiffahrt über die durch die Eisverhältnisse veränderte Situation auf den Seewasserstraßen und in den Seehäfen zu unterrichten.

Alle wichtigen, die Seeschiffahrt betreffenden Nachrichten, werden, soweit nicht eine besondere Eilbedürftigkeit die Verbreitung durch den Küstenfunk oder Rundfunk erfordert, im Bereich der Deutschen Bundesrepublik durch "Nachrichten für Seefahrer" verbreitet, die allwöchentlich in Heftform veröffentlicht werden. Hierin wird alljährlich zu Beginn des Winters auf die Auswechselung der Sommerbetonnung gegen die Winterbetonnung hingewiesen und auf die der Betonnung durch Eisbildung erwachsenden Gefahren aufmerksam gemacht.

Später, nach Auftreten des Eises, folgen weitere Nachrichten über das Einziehen der letzten Leuchttonnen sowie über den Umfang der Eisbildung und einer etwaigen Behinderung der Schiffahrt. Letztgenannte Nachrichten werden im Hinblick auf ihre Eilbedürftigkeit täglich durch Funk verbreitet. Um dabei Unklarheiten im Ausdruck zu vermeiden und Hörfehler oder Übersetzungsfehler nach Möglichkeit auszuschalten, bedient man sich bei der Durchgabe aller Meldungen über die Eisverhältnisse auf den Seewasserstraßen eines international vereinbarten Zahlenschlüssels. Das Deutsche Hydrographische Institut in Hamburg erhält während der Eisperiode täglich morgens von den Beobachtungsstellen an deutschen Seewasserstraßen Meldung über die Eislage, Einsatz von Eisbrechern usw. und veranlaßt dementsprechend eine Benachrichtigung der Seeschiffahrt über die deutschen Küstenfunkstellen sowie die bekannten Aushangstellen für Seenachrichten in den Häfen.

Maßnahmen zur Bekämpfung des Eises

Von den Abwehrmöglichkeiten gegen das Eis hat sich auf den Seewasserstraßen und in den Seehäfen der Einsatz von Eisbrechschiffen als erfolgreichste Maßnahme erwiesen.

Bis zum Jahre 1870 gab es in Deutschland keine Eisbekämpfung durch Eisbrecher. Man begnügte sich bis dahin mit dem Einsatz von handbetätigten Eisewern und Eiskähnen, die mit 8 bis 16 Mann besetzt waren und mit Eissägen und Eisäxten ausgerüstet wurden. Diese Maßnahmen bezweckten lediglich den Schutz von Ufer- und Strombauwerken bei Eintritt des Tauwetters. Solange die Segelschiffahrt vorherrschte, konnte dieser Zustand hingenommen werden. Mit dem immer stärkeren Vordringen der Dampfschiffe jedoch wurde der Ruf nach ungestörtem Schiffsverkehr auch während der Wintermonate immer lauter und vernehmlicher. Das führte in Deutschland 1871 zum Bau des ersten Eisbrechschiffs auf der Elbe, dem nach seiner Bewährung gleichartige Schiffe auf allen vom Eis heimgesuchten Seewasserstraßen folgten. Nach nunmehr 80 jähriger Entwicklung kann gesagt werden, daß die konstruktiven Gedanken, die dem Bau des ersten Eisbrechschiffes zugrunde gelegen haben, auch heute noch ihre Gültigkeit besitzen, nur daß entsprechend der Fortentwicklung im Schiffbau und insbesondere im Schiffsmaschinenbau die Eisbrecher wesentlich wirksamer geworden sind.

Wenn im folgenden die Konstruktionselemente der Eisbrechschiffe im einzelnen dargelegt werden, so ist es notwendig, darauf hinzuweisen, daß nur Schiffe behandelt werden, die in tidebewegten Flüssen und Häfen eingesetzt werden. Jede Verallgemeinerung der hier vorgetragenen Grundsätze oder ihre

Übertragung auf Seewasserstraßengebiete, die von der Tide nicht berührt sind, ist abwegig und kann unter Umständen zu Fehlschlüssen führen.

Folgende Leitsätze sind bei dem Bau der hier zu betrachtenden Eisbrechschiffe zu berücksichtigen:

- Geringe Länge bei verhältnismäßig großer Breite des Schiffskörpers, L: B = 3,5 bis 3,7.
- 2. Große Antriebsleistung bei verhältnismäßig geringem Schiffsgewicht: N:Depl. = 4 und größer.
- 3. Halbkreisförmiges Hauptspant mit ausfallendem Spant in der CWL.
- Kiel auf 1/3 Schiffslänge im Vorschiff in leichter Kurvenführung hochgezogen und harmonisch in den etwas nach vorn geneigten Vorsteven einführen.
- 5. Völligkeitsgrad der Verdrängung: = 0,45 bis 0,48; auf schlanken Linienverlauf im Hinterschiff ist zu achten.
- 6. Kräftige Ruderanlage, leichte Beweglichkeit des Handrades am Steuerapparat. Möglichst wenige Umdrehungen bei Ruderlegen von Hartbord zu Hartbord.
- 7. Schnelle, absolut sichere Maschinenmanöver von Vorwärtsgang auf Rückwärtsgang und umgekehrt.
- 8. Ausrüstung mit Sprechfunkanlagen.

Ferner ist größtmögliche Wendigkeit und Beweglichkeit ein wichtiges Erfordernis, das bereits bei der Gestaltung der Schiffslinien ausreichend berücksichtigt werden muß. In den viel befahrenen Zugangsstraßen der großen Seehäfen und in diesen Häfen selbst findet man nur selten Kerneis vor. Der Kampf der Eisbrechschiffe richtet sich daher überwiegend gegen das in vielfältigen Formen und Stärken zusammengeschobene und zusammengefrorene Scholleneis, das im Strom durch Ebbe und Flut aufwärts und abwärts hin- und hergeschoben wird, wobei Auflockerung und Verdichtung der Eismengen einander regelmäßig ablösen. Dieses Scholleneis besitzt die unangenehme Eigenschaft — insbesondere wenn mit Schnee vermischt und bei Lufttemperaturen um 0 Grad —, daß es sich eng an die Außenhaut des durchlaufenden Schiffes anschmiegt und die Kiellinie unmittelbar hinter dem Heck des Schiffes wieder mit Eisstücken ausfüllt. Das führt dazu, daß normal gebaute Schiffe sich sehr leicht festfahren und weder mit Vorwärts- noch Rückwärtsgang freikommen können.

Solchen Situationen muß ein Eisbrechschiff, auch wenn es noch so klein ist, auf jeden Fall gewachsen sein. Ein guter Wirkungsgrad der Schiffsschraube bei Rückwärtsgang, schlanke Hinterschiffslinien im Bereich vor der Schraube, geringe Stabilität und demzufolge leichtes Pendeln des Schiffskörpers schaffen hierfür die besten Voraussetzungen. Dazu kommt noch ein angenähert halbkreisförmiger Hauptspantquerschnitt, der die Pendelbeweglichkeit des Schiffes wesentlich erhöht.

Ein weiteres Mittel, um das Festkommen im Eis zu vermeiden bzw. um das Fahren durch das Eis zu erleichtern, ist in der leicht nach außen geneigten Führung der Spanten im Bereich der Hauptwasserlinie zu erblicken. Die Abweichung von der Senkrechten soll mittschiffs etwa 10 Grad und darf nach dem Vorsteven zunehmend bis 30 Grad betragen. Die so nach außen geneigte Schiffswandung zerbricht beim Durchfahren das Kerneis bzw. größere Eisschollen und drückt das abgebrochene Eis zur Seite — im allgemeinen unter das durchfahrene Eis. Wählt man den Neigungswinkel zu groß, so wird das abgebrochene Eis

nicht mehr zur Seite gedrückt, sondern schiebt sich unter den Schiffskörper und taucht dann hinter dem Schiff wieder auf. Hierauf wird es zurückzuführen sein, daß ein breiter Löffelbug — wie er vielfach bei Eisbrechschiffen auf Binnenflüssen angetroffen wird — für das Tidegebiet nicht geeignet ist.

Von wesentlicher Bedeutung für die Eisgängigkeit ist das Längen-/Breiten-Verhältnis der Schiffe. Die günstigsten Werte liegen zwischen 3,5 und 3,7. Ein wichtiges Erfordernis ist ferner, daß ebene Flächen in der Außenhaut unbedingt vermieden werden müssen. Wasserlinien, Spanten und Senten dürfen daher an keiner Stelle geradlinig verlaufen.

Infolge der fortschreitenden Entwicklung im Maschinenbau ist es während der letzten Jahrzehnte gelungen, immer größere und damit leistungsfähigere Maschinenanlagen in Eisbrechschiffe einzubauen; gleichzeitig war es möglich, das Schiffsgewicht durch neuzeitliche Bauweisen zu vermindern. Dieser technische Fortschritt findet seinen Niederschlag in der Entwicklung des Kennwertes: Maschinenleistung / Schiffsgewicht (PS / t). Während dieser Wert noch vor 30 Jahren nur wenig über 2 lag, hat sich für neuzeitliche Schiffe ein Wert von 4 und größer ergeben.

Geringes Schiffsgewicht und Eisbrechfähigkeit scheint auf den ersten Blick ein Widerspruch zu sein. Das geringe Gewicht darf natürlich nicht auf Kosten der Materialstärken des Schiffskörpers im Bereich der Eispressungen erzielt werden. Starke Beplattung im Bereich der Eiswasserlinie, verbunden mit enger Spantentfernung und mehreren kräftigen Seitenstringern, sind unumgänglich erforderlich. Insbesondere darf das Hinterschiff nicht vernachlässigt werden (häufiges Rückwärtsfahren). Andererseits sollen aber alle übrigen Verbände, soweit sie nicht maßgeblich zur Längs- und Querfestigkeit beitragen, möglichst leicht gehalten werden. Insbesondere trifft das zu für die innere Einrichtung und für die Aufbauten.

Die Beweglichkeit und Wendigkeit des Eisbrechschiffes setzt eine gute Ruderanlage voraus. Das Ruder muß gegen Eisdruck bei Rückwärtsfahrt geschützt sein, die Ruderfläche muß reichlich bemessen werden, damit die Steuerfähigkeit auch bei langsam laufender Maschine gewährleistet ist. Von größter Bedeutung ist ein schnelles und sicheres Ruderlegen von Hartbord zu Hartbord. Am Handrad sollten daher nicht mehr als 16 Umdrehungen aufgewendet werden. Als Antriebsart ist Dampf oder bei Motorschiffen Hand- bzw. Elektro-Hydraulik zu wählen.

Alle Eisbrechschiffe müssen mit Sprechfunkanlagen ausgerüstet sein, damit sich jeder Schiffsführer zu jeder Zeit mit den anderen in Verbindung setzen kann. Nur so ist die Gewähr gegeben, rechtzeitig Schwerpunkte beim Eisbrechen zu bilden. Damit führen diese Betrachtungen hinüber zu der Frage der Organisation sowie des Ablaufes des Eisbrechdienstes.

Jedes Seewasserstraßenrevier wird den örtlichen Verhältnissen entsprechend in mehrere Einsatzgebiete einzuteilen sein. Es ist ohne weiteres einleuchtend, daß die Eisverhältnisse im Mündungsbereich eines Stromes andere Maßnahmen erfordern, wie in einem landeinwärts gelegenen Seehafen. Das bezieht sich nicht nur auf die Zahl und Größe der einzusetzenden Eisbrechschiffe, sondern auch auf den Ablauf ihres Einsatzes. Während im Hafenrevier der ununterbrochene Tag- und Nachteinsatz — zumindest einiger Schiffe — unumgänglich notwendig ist, wird man sich im Mündungsgebiet in der Regel nur auf Tageseinsätze beschränken, denn zur sinnvollen und erfolgreichen Bekämpfung der Eismassierungen im Mündungsgebiet eines Flusses ist die Überschaubarkeit

eines größeren Bereiches unerläßlich. Das wird während der Nachtstunden dort in den wenigsten Fällen möglich sein, weil die Orientierungsmöglichkeiten auf den ausgedehnten Wasserflächen äußerst beschränkt sind. Ganz anders liegen in dieser Hinsicht die Verhältnisse in den eng begrenzten, überall gut markierten Hafenbereichen. Hier muß jede Gelegenheit genutzt werden, um Eiserleichterungen herbeizuführen, sei es durch Freimachen von Hafenbecken mit Unterstützung günstig gerichteter Winde, sei es durch Ausnutzung der Ebströmung zur Fortführung des Eises auf dem Strom. Allerdings empfiehlt es sich nicht, jedes Hafenbecken nach einem festgelegten Zeitplan regelmäßig aufzueisen, wenn es der Schiffsverkehr nicht unmittelbar erfordert bzw. wenn das aufgebrochene Eis nicht abtreiben kann. Denn mit jedem Durchfahren vereister Wasserflächen wird das unter der Eisdecke befindliche Wasser in der Fahrrinne hochgerissen, es tritt über die Eisränder und Eisschollen, was zu zusätzlicher Vereisung führt.

Im Mündungsgebiet sowie im Unterlauf des Stromes besteht das Eisbrechen zur Hauptsache darin, festgekommene Eisfelder — die oftmals viele Kilometer lang und mehrere Kilometer breit sind — mehrmals zu durchfahren und dabei das Eis so zu zerkleinern, daß es von der Strömung mitgenommen und fortgeführt werden kann, denn nur durch das in Bewegung befindliche Kleineis vermögen sich Seeschiffe selbständig fortzubewegen. Solche Eisstaugebiete, in denen das Treibeis immer wieder zusammenfriert, gibt es im Unterlauf eines Stromes immer mehrere. Ihre Stärke und Mächtigkeit wird immer wesentlich von der Windrichtung sowie der Stärke des Windes beeinflußt. Zu Geleitfahrten hinter einem Eisbrechschiff kommt es dabei in den seltensten Fällen. Wohl treten hin und wieder zu bestimmten Tidezeiten und an bestimmten Stellen Häufungen von Seeschiffen auf; diese können sich aber im allgemeinen mit fortschreitender Tide, spätestens nach 2 bis 3 Stunden, wieder freimachen. Ist zufällig ein Eisbrechschiff in der Nähe, so wird es selbstverständlich helfend eingreifen, und dabei kommt für eine kurze Zeit eine Geleitfahrt zustande.

Bei den im Mündungsgebiet eingesetzten Eisbrechschiffen handelt es sich um ziemlich große, leistungsstarke (2000 PS und mehr) Fahrzeuge, deren Breite denen der gängigen Seeschiffe entspricht, so daß die von ihnen aufgebrochene Fahrrinne das Nachfolgen der Seeschiffe ermöglicht.

In den Hafengebieten gilt es vor allen Dingen, den Seeschiffen das Herankommen an die vereisten Kaimauern und Schiffsliegeplätze zu ermöglichen, sowie der Hafenschiffahrt zu helfen. Für diese Aufgaben ist eine größere Anzahl kleinerer Schiffe (200 bis 1000 PS) erforderlich, die hinsichtlich ihres Tiefganges Beschränkungen unterliegen, damit sie auch in Flachwassergebieten erfolgreich der Kleinschiffahrt dienen können.

Um dabei mit den naturgemäß nur in beschränkter Anzahl verfügbaren Schiffen einen größtmöglichen Erfolg erzielen zu können, ist hinsichtlich ihres Einsatzes eine ganz enge Zusammenarbeit zwischen den Schiffahrts- und Hafenwirtschafts-Kreisen sowie der Eisbrech-Einsatzleitung erforderlich. Eine von diesen Gremien gebildete Eisbrechkommission hat die Aufgabe, den Einsatz der Eisbrechschiffe zeitlich sowohl als auch örtlich so zu lenken, daß den einkommenden und ausgehenden Seeschiffen sowie den Hafenschiffen — Schleppern, Leichtern und Schuten — die größtmögliche Hilfe zuteil wird, d. h. daß der durch die Eisverhältnisse bedingte Zeitverlust in jedem Fall auf das geringstmögliche Maß beschränkt bleibt.

In diesem Zusammenhange sei hier auf einen Umstand hingewiesen, der leider in Hafenschiffahrtskreisen viel zu wenig beachtet wird, jedoch bei richtiger Erkenntnis der Zusammenhänge entscheidend dazu beitragen würde, die Bekämpfung des Eises in Seehäfen sehr günstig zu unterstützen. Gemeint ist die eisbrechgemäße Gestaltung der von den Hafenreedereien vorgehaltenen Hafenschlepper. Die vorhandenen Schlepper sind in der Regel überaltert, und ihre Erbauer haben seinerzeit die Bedeutung bestimmter Unterwasserformen für das Verhalten dieser Schiffe im Eisgang nicht erkannt. Es sollten nunmehr—nachdem in 6 sehr eisreichen Wintern der letzten 2 Jahrzehnte ausreichende Erfahrungen in dieser Richtung gesammelt worden sind— in Zukunft Neubauten von Hafenschleppern nur noch als Eisbrechschiffe gestaltet werden; und zwar um so mehr, als dadurch Mehrkosten gegenüber den Baukosten der bisherigen Schiffstypen nicht entstehen würden.

Den Abschluß dieser Betrachtungen möge ein kurzer Hinweis auf die Kosten des Eisbrechdienstes bilden.

Im Elberaum erforderte der Eisbrechdienst auf der Strecke Hamburg—Cuxhaven einschließlich des Hafengebietes im Februar/März 1956 einen täglichen Kostenaufwand von 20 000,— DM, wovon 11 000,— DM auf den Hafen und die Hafenelbe und 9000,— DM auf die Unterelbe und das Mündungsgebiet entfielen.

b) In abgeschleusten Häfen

Die Abwehrmaßnahmen gegen die Eisbehinderungen in abgeschleusten Häfen lassen sich örtlich unterteilen in die Abwehrmaßnahmen in der Hafeneinfahrt bzw. im Schleusenvorhafen, in der Schleuse selbst und im Hafeninneren. Allen drei Ortlichkeiten ist es gemeinsam, daß die Hauptbehinderung von der Eisdeckenbildung ausgeht, und daß sie am zweckmäßigsten bekämpft wird durch Einsetzen von Eisbrechern. Hierbei gilt die Hauptsorge der Abführung der bei den Aufbrucharbeiten entstandenen Eisschollen.

Für die Eisabführung aus dem Schleusenvorhafen bzw. der Hafeneinfahrt ist die Lage zur Windrichtung von ganz besonderer Bedeutung. Solche Häfen, die an der Ostseite der großen Ströme und großen Meeresbuchten liegen, wie z. B. Emden am Dollart, Bremerhaven und Bremen an der Weser, haben den großen Vorteil, daß der während der Frostperioden vorherrschende Wind aus östlicher Richtung die Schollen der aufgebrochenen Eisdecke in den Strom abtreibt, der sie in Richtung See weiterführt. Da das einsetzende Tauwetter meist mit Westwinden verbunden ist, ergibt sich für die vorgenannten Häfen die eigentliche Behinderung der Einfahrt erst in der Tauwetterperiode, während der die auf dem Strom abtreibenden Eismassen durch den Wind in die Hafenmündungen hineingedrückt werden. Diese Behinderung ist erfreulicherweise aber meist nur von kurzer Dauer und nicht allzu schwerwiegend, da es sich um Eis in abschmelzendem Zustande handelt. Die Versuche, diese Eisbehinderung durch Auslegen einer Schlengelanlage abwehren zu wollen, haben zu keinem Erfolg geführt.

Als Schleusenbauwerke für abgeschleuste Seehäfen von Bedeutung finden wir an den deutschen Küsten jetzt fast ausschließlich Kammerschleusen. Die früheren Dockschleusen, die noch vor einigen Jahrzehnten bei älteren Hafeneinfahrten zahlreich anzutreffen waren, sind weitgehend außer Betrieb genommen und können für die weitere Betrachtung unberücksichtigt bleiben.

Für den Betrieb der Kammerschleusen erfordert der Frosteintritt bereits einige Vorausmaßnahmen und späterhin laufende Eisbeseitigung. Die in einer in Betrieb befindlichen Schleuse ständig wechselnden Wasserstände führen bei scharfem Frost zu erheblichen Eisansätzen an den Schleusenmauern und an den zum Schutz der Mauern dienenden Reibhölzer, Buschfendern, Schwimmbalken usw. Dieser Eisansatz kann an Buschfendern so stark werden, daß die Ketten, an denen die Fender aufgehängt werden, reißen. Man entfernt daher die Fender — soweit irgend vertretbar —, desgleichen die Schwimmbalken, die infolge von Eisansatz das Kammerinnere einengen würden. Der Verschleißschutz der Mauern ist während der Frostzeit nicht so wichtig, da, wie bereits erwähnt, an den Mauern starke Eisbildungen entstehen, die einen natürlichen Schutz der Mauern bedeuten.

Das Bilden einer festen Eisdecke in der Schleusenkammer selbst wird im allgemeinen durch regen Schiffsverkehr, notfalls bei starkem Frost durch Einsatz eines hinreichend starken Schlepppers verhindert.

Der schwierigste Punkt für die Aufrechterhaltung des Schleusenbetriebes ist die Erhaltung der Bewegungsmöglichkeit der Schleusentore. Dabei gilt in gleicher Weise für Stemmtore und Schiebetore, daß die Antriebsvorrichtungen hinreichend kräftig bemessen werden müssen, um Eisstücke, die sich in der Tornische zwischen Tor und Wandung festklemmen, zu zerdrücken, ohne daß Teile der Torhalterung oder der Antriebsvorrichtung brechen. Beim Schließen von Schiebetoren tritt viel der Übelstand auf, daß sich bei einer starken Vereisung des Hafens und der Schleuse Eisschollen in großer Zahl und Stärke in der Tornische ansammeln und das völlige Schließen der Tore verhindern. Hiergegen hat es sich bewährt, ständig einen Schlepper in der Schleusenkammer bereitzuhalten, der die Tornische kurz vor dem endgültigen Schließen des Tores durch sein Schraubenwasser freispült.

Um die großen Schiebetore der Seeschleusen leichter bewegen zu können, und um die Rollenkonstruktionen, auf denen die Tore sich bewegen, sowie die Antriebsmaschinen leichter halten zu können, ist es üblich, die Tore mit Schwimmkästen zum möglichst weitgehenden Abfangen des Torgewichts auszurüsten. Die Schwimmkästen liegen im allgemeinen unterhalb des Tideniedrigwasserstandes. Bei starker Eisbildung im Hafen und in der Schleuse werden im Laufe der Zeit durch den sich ständig wiederholenden Schließvorgang zahlreiche Eisschollen in die meist offenen Versteifungskonstruktionen des Schiebetores hineingeschoben und lagern sich auf den Schwimmkästen ab.

Diese Eisansammlungen, die zu mächtigen Blöcken zusammenfrieren können, bedeuten bei niedrigen Wasserständen eine gewaltige Auflast; sie können den Schließvorgang der Tore in einem derartigen Umfang erschweren und behindern, daß man von einer Bewegung der Schiebetore zur Niedrigwasserzeit absehen muß. Der erhöhte Kraftbedarf für die Überwindung der durch die Auflast erhöhten Rollenreibung, sowie der durch die Querschnittsvergrößerung verstärkten Bremswirkung des Wassers und der Behinderung durch Eisschollen wird meist dadurch ausgeglichen, daß man durch Verlangsamung der Torbewegung entsprechende Kräfte freimacht.

Das Problem der Eisbildung in der Torkammer läßt sich auf verschiedene Weise lösen. Eine Überdeckung der Torkammer kann in unserem Küstenbereich die Eisbildung völlig verhindern. Von Vorteil ist weiterhin eine reichliche Bemessung der Torkammern, wie das Beispiel der Doppelschleuse des Fischerei-Hafens in Geestemünde zeigt, wo das in die Torkammer eingedrungene oder dort entstehende Eis in seitliche Nischen eintreten kann und die Torbewegung nicht wesentlich behindert. Bei der Großen Kaiserschleuse in Bremerhaven war

es möglich, Eisöffnungen in der Torkammer vorzusehen, die es gestatten, das durch die Torbewegung zerkleinerte Eis aus der Torkammer in die Häfen bzw. in die Schleusenkammer zu spülen. Letzten Endes besteht aber auch die Möglichkeit, Eisansammlungen in der Torkammer, sobald sie lästig werden, mit Hilfe eines Greifbaggers aus der Torkammer zu entfernen.

Eine andere Behinderungsgefahr für den Schleusenbetrieb ist das Festfrieren der Schütze zum Einlaß des Schleusungswassers. Die Gefahr ist bei den in die Tore eingebauten Schützen besonders groß, der man aber bei Neubauten durch elektrische Anwärmung der Dichtungen begegnen dürfte. Günstiger liegen die Verhältnisse bei einem Wasserausgleich durch Umläufe in den dicken Betonwandungen einer Seeschleuse. Hier ist es möglich, Koksöfen in die Schützschächte zu versenken und eine hinreichende Erwärmung der Schützkonstruktion herbeizuführen.

Moderne Schleusenanlagen werden vielfach von einem Befehlsstand zentral gesteuert. Für die Einleitung der einzelnen Schleusenvorgänge ist eine genaue Wasserstandsanzeige unerläßlich. Diese wird bei Frost durch ein Festfrieren der Schwimmer in den Pegelschächten in Frage gestellt. Bei der meist geschützten Anbringung der Pegelschächte hat es sich als ausreichend erwiesen, elektrische Tauchsieder in den Pegelschacht zu versenken und zu betreiben, um das Einfrieren der Pegelschächte zu verhindern.

Schließlich wird man sich beim Auftauen einzelner Schleusenteile und vor allem von Bewegungseinrichtungen der Stemmtore gern eines Dampfschleppers bedienen, der durch Dampf- und Warmwasserabgabe Rettung vor dem Einfrieren bietet.

Im Hafeninneren selbst bringt stärkere Eisdeckenbildung erhebliche Beschwernis mit sich. Eine Eisdecke bzw. starkes Scholleneis behindert nicht nur die Anlegemanöver größerer Schiffe an den Kaimauern erheblich, sondern sie bringt auch den Verkehr von Binnenschiffen und Leichtern nahezu zum Erliegen. Durch die Hafenverwaltungen wird meist durch Schlepper oder Eisbrecher eine Fahrrinne in Hafenmitte aufgebrochen, während es den Schiffen und den Inhabern bestimmter Kaimauern überlassen bleibt, die Liegeplätze für die Schiffe frei zu halten. Daß unter diesen Umständen Anlegemanöver häufig erhebliche Zeit beanspruchen, liegt auf der Hand.

Man wird bemüht sein, bei günstigen Wind-, Strömungs- und Wasserstandsverhältnissen das aufgebrochene Eis eines Hafens möglichst weitgehend auszuschleusen. Begünstigt wird dieser Vorgang, wenn das Hafenbecken einen Binnenzufluß hat, da es dann möglich ist, den beim Schleusungsvorgang eingetretenen Wasserverlust auszugleichen, ohne daß bei dem sonst erforderlichen Wassereinlaß durch die Schleuse das eben ausgeschleuste Eis wieder in den Hafen hineintreibt.

Eine große Erleichterung der Eisbekämpfung in abgeschleusten Häfen kann der Einlaß größerer Mengen angewärmten Industriewassers bringen, wie es beim Betrieb größerer Kraftwerksanlagen anfällt.

Schließlich sei noch eine Aufgabe erwähnt, die der Hafenverwaltung bei starker Eisbehinderung erwächst, nämlich die Versorgung eingefrorener oder bewegungsbehinderter kleinerer Schiffe mit Wasser, Brennstoff und Proviant.

Es hat sich gezeigt, daß die Hafenverwaltungen der deutschen Nordseeküsten auch unter den verschäften Bedingungen der Kriegszeit und in den strengsten Eiswintern seit der Jahrhundertwende den Betrieb in den abgeschleusten Handelshafenanlagen aufrechterhalten konnten. Von besonderer Wichtigkeit

war dabei, daß rechtzeitig ein oder mehrere hinreichend starke Schlepper zur Meisterung der vielseitigen bei Eisbildung auftretenden Aufgaben verantwortungsbewußt eingesetzt wurden.

3. Schutz von Bauwerken

Die bei winterlicher Kälte durch Eisbildung entstehenden Gefahren für die Hafenbauwerke und die gegebenenfalls an und auf diesen Bauwerken auftretende Beeinträchtigung oder Gefährdung des Verkehrs — sei es, daß die Schiffe selbst, bzw. die Beförderung von Gütern oder von Personen betroffen sind — lassen sich grundsätzlich auf eine Reihe typischer Fälle zurückführen und in zwei Gruppen einteilen. Die erste Gruppe umfaßt die Gefährdung der Bauwerke durch Eis auf dem Wasser. Ursache können hier sein

- a) treibende Eismassen oder Eisschollen auf dem Flusse, im Tidestrom oder an der offenen Seeküste,
- b) die mehr oder weniger geschlossene, stehende Eisdecke.

In der zweiten Gruppe seien die Gefahren genannt, die infolge Eisansatzes an und auf den Bauwerken selbst entstehen. In Betracht kommt dabei der Eisansatz

- 1. an Hafenbauwerken vom Wasserspiegel aus,
- 2. an den Bauwerken aus der Atmosphäre, der als Winterglätte zu bekämpfen ist.

Die aufgezählten Gefahren für Bauwerke, Schiffahrtsbetrieb und Personenverkehr steigern sich rein theoretisch gesehen — in umgekehrter Reihenfolge der vorgenommenen Gruppierung; die atmosphärische Eisbildung ist also als die geringste Gefährdung zu beurteilen und auch am leichtesten zu beherrschen, der Eisansatz kann sich schon als gefährlicher herausstellen, und schließlich kann das Treibeis gelegentlich als unübersehbar starke Naturkraft auftreten. Die nachfolgende Erörterung dieser Gefahren auf Grund der im nordwestdeutschen Küstengebiet vorliegenden Erfahrungen wird daher zweckmäßig beim einfachsten Gegenstand beginnen.

Bauliche Maßnahmen zur Verhinderung der Winterglätte bei Ufereinfassungen, Kaimauern, Molen, Brücken, Fähranlagen usw. sind nicht möglich. Wenn eine Anlage dieser Art im Regelfall verkehrssicher ist, ist sie es auch bei Frost, Glatteis, Schnee, Hagel oder Rauhreif, sofern nur der Vorschrift entsprechend Schnee und offenes Eis weggefegt werden und örtlich festsitzendes Eis entweder mechanisch losgeschlagen oder durch Streuen mit Sand und Asche abgestumpft wird.

Die Notwendigkeit, für solchen Streudienst zusätzliches Personal zu beschäftigen, ergibt sich meist erst in der zweiten Gruppe der Eisabwehr, sobald es sich also darum handelt, feste oder schwimmende Hafenbauwerke von dem Eisansatz zu befreien, der auf den Wasserstandswechsel während der Frostperiode zurückzuführen ist. Zu betrachten sind hier Kaimauern, Spundwände, Dalben, Leitwerke und Pontons. Bei den erstgenannten Ufereinfassungen lassen sich die geschlossene und die offene Bauart unterscheiden. Haben sie wasserseitig eine glatte, möglichst wasserdicht ausgeführte Begrenzungsfläche aus Holz, Mauerwerk, Stahlbeton oder Stahl, kann ihnen der Frost meist nichts anhaben. Eine etwa in der Zone der wechselnden Tidewasserstände sich ansetzende Eiskruste wird durch das Treibeis im Strom oder den Schiffsverkehr meist soweit abgerieben, daß irgendeine Gefährdung für das Bauwerk oder eine Behinderung des Verkehrs nicht auftritt.

Dagegen können "offen" konstruierte Kaimauern möglicherweise Eisschäden erleiden, sobald die Rostplatte so hoch über dem mittleren Wasserstand liegt, daß sich in Frostperioden innerhalb des Pfahlwerkes Treibeis festsetzen und mit dem sich dort neu bildenden Eis zu einer kompakten Masse vereinigen kann. Liegt hinten keine Spundwand, sondern nur eine befestigte Böschung, so besteht eine Gefahrenquelle für hierzu verwendete Schüttsteine, Ziegelbrocken usw. Diese frieren sehr leicht zusammen und werden dann bei dafür geeigneten Wasserständen in entsprechender Windrichtung von den abtreibenden Eismassen leicht mitgenommen. Die Standfestigkeit der Böschung ist infolgedessen nach der Frostperiode möglicherweise in Frage gestellt.

Schäden an den Spundwänden selbst oder am Pfahlrost wurden weniger beobachtet, sofern diese genügend robust ausgebildet waren. Allerdings kann für freistehende Gründungspfähle eine zusätzliche Knickgefahr entstehen, wenn Eisansatz oder Scholleneis Schiffsstöße in waagerechter Richtung überträgt. Noch größer bei solchen Eisbelastungen ist allerdings die Gefahr für Dalben, freistehende Pfahlwerke und die schwimmenden Landungsanlagen.

Deshalb müssen im Tidegebiet die Führungsdalben zumindest an den häufig mit Gleitschienen ausgerüsteten Berührungskanten für Pontons und deren Führungskonsolen selbst immer völlig frei vom Eis gehalten werden, zumal sich neben dem neu gebildeten Eis auch treibende Eisschollen leicht dazwischen setzen und die Pontonführung verklemmen. Wird das Freieisen nicht regelmäßig durchgeführt, verengert sich der Spielraum zwischen Dalben und Konsolen immer mehr und der Ponton gerät dann in die Gefahr, bei steigendem Wasser unterzuhaken oder sich zu verklemmen bzw. sich bei fallendem Wasser aufzuhängen. Beides kann für Bauwerk und Personen gefährlich werden. Insbesondere in eng gestellten Holzpfahlbündeln bilden sich leicht kompakte Eismassen, die schnell nach Breite und Höhe wachsen und neben der Pontonanlage möglicherweise auch noch die anlaufende Schiffahrt gefährden.

Es hat sich gezeigt, daß im allgemeinen an Stahldalben ein geringerer Eisansatz zu bemerken ist als an den am gleichen Ort früher verwendeten Holzdalben. Die glatte Oberfläche der im ganzen schmaleren Stahlpfahlprofile, ihre geringere Anzahl und ihr größerer Abstand sowie auch die geringere Zahl und gedrungene Form der Verbände sind in bezug auf Eisansatz offensichtlich günstiger als die vielfach rauhen, zum Teil gespaltenen und dabei eng gestellten Holzpfähle mit den massigen Zimmermannsverbänden. Das Freieisen ist bisher bei Stahl nicht nur seltener notwendig, sondern auch weniger mühevoll gewesen als beim Holz.

Desgleichen haben sich die Stahldalben im normalen Treibeis besser bewährt als die seinerzeit für gleichwertig erachteten Holzdalben. Die typische Sägewirkung der Eisschollen kann nämlich den Stahlprofilen an Dalben, Leitwerken, Brückenjochen oder den sogenannten "Eisbrechern", den Schutzbauwerken vor Brückenjochen, nicht leicht etwas anhaben. Entsprechend konnten die auch zum Schutze vorgeschobener Bauwerke im Strom — meistens Landungsanlagen oder Vertäudalbenreihen — vielfach benötigten "Eisbrecher" aus Stahl konstruktiv leichter und einfacher durchgebildet werden, wenngleich sie geometrisch eine ähnliche Form wie die hölzernen Bauwerke erhalten.

In Hamburg haben sich dafür zwei allgemeine Typen herausgebildet und bei normalen Eisverhältnissen auch bewährt:

1. Die spitze, aber kurze und gedrungene Form, der sogenannte "Eisabweiser" oder "Eissporn". Er schiebt die antreibende Scholle lediglich beiseite, aber

schützt das dahinter liegende Bauwerk je nach seiner Breite vor Eisdruck in Stromrichtung; diese Form steht oftmals in konstruktiver Verbindung mit einem dahinter stehenden Führungs- oder Schutzdalben.

2. Die gestreckte Form mit sehr flach geneigter Auflaufkante als überkommene Bauart, die möglichst freistehend und von sonstigen Dalben unabhängig wirken soll. Die vom Strom auf die schräge Kante getriebenen Schollen sollen zerbrechen, wodurch sich die Kraft des Eisstromes für das zu schützende Bauwerk zumindest sehr verringert.

Einige neuere Landungsanlagen im Stromstrich bestehen aus Stahlbetonpontons und sind mit Stahlführungsdalben ausgerüstet, die zusätzlich als Eisabweiser dienen können. Dafür ist der schmale, aus Peiner Kastenspundbohlen bestehende Dalben durch einen in Stromrichtung geneigten, jedoch oben biegungssteif angeschlossenen, kantigen Schrägpfahl gleicher Breite, ergänzt. Auch einige Eisabweiser in Winkelform aus Peiner Kastenspundbohlen sind an gefährdeten Punkten des Hafens und der Elbe an Stelle der früher vorhanden gewesenen, sehr schweren und aus vielen Pfählen zusammengesetzten hölzernen Eissporne errichtet worden.

Schwimmende Landungsanlagen in der Nähe eines geböschten Ufers — wie sie im Hamburger Hafen vielfach vorkommen — sind auch dadurch gefährdet, daß die geschlossene Eisdecke landseits der Pontons bei fallendem Wasser einen Eindruck ausübt, der die Pontons, Dalben und Eissporne stromwärts zu drücken sucht. In diesem Falle hilft nur rechtzeitiges Freispülen durch das Schraubenwasser von Eisbrechschiffen oder sorgfältiges Freieisen der Pontons und Dalben durch eingesetzte Arbeitskolonnen.

Alle diese Bau- und Betriebsmaßnahmen sind dazu bestimmt, gegen normale Eisgefahren im Tidegebiete ausreichenden Schutz zu bieten. Mit ihrer Hilfe ließen sich auch jahrzehntelang größere Schäden an Schiffen und Bauwerken vermeiden, so daß man im allgemeinen zufriedenstellend über sie berichten kann. Es gibt allerdings auch Wetterverhältnisse, die durch wirtschaftlich zu erstellende Baumaßnahmen nicht mehr beherrschbare Eisgefahren nach sich ziehen können.

Derartige Witterungseinflüsse zeigten sich z. B. Anfang März des Jahres 1956, als unmittelbar nach Beendigung der Frostperiode mit beginnendem Tauwetter mehrere Sturmfluten eintraten. Das sonst üblicherweise ungefährlich abtreibende Scholleneis war zu dieser Zeit zu ausgedehnten Eisfeldern neu zusammengefroren und wurde dann durch den Wind in Bewegung gebracht, oder es wurde an exponierten Punkten der Stromufer zu Packeis mehrere Meter hoch aufgeschichtet. Überdies ließen die hohen Wasserstände auch ganze zusammenhängende Eisflächen der Nebenarme und Totwassergebiete in den Stromstrich geraten, wo sie durch Eisbrechdampfer nicht mehr rechtzeitig zerkleinert werden konnten. Auf diese Weise sind mehrere neu gebaute, großenteils mit schweren hölzernen oder Stahldalben und entsprechenden Eisbrechern ausgerüstete Landungsanlagen der Unterelbe zum Teil zerstört, zum Teil stark beschädigt worden.

Diese Schäden konnten nur eintreten, weil der Eisstrom nicht in gewohnter Richtung an diesen Stellen verlief, sondern außerordentlich große lebendige Kräfte seitlich, meist quer zum Stromstrich wirksam waren. So wurden wiederholt zusammenhängende Eisfelder von mehreren hundert Meter Seitenlänge im Sturm in Schrägrichtung antreibend beobachtet; solchen Beanspruchungen waren die für diese Kraftrichtung nicht bemessenen Eisabweiser und Führungsdalben

nicht gewachsen, einerlei ob die Pontons selbst noch auslagen oder des Winters wegen eingezogen worden waren. Es liegt auf der Hand, daß die durch derartige Eismassen im Verein mit Sturm und hohen Wasserständen ausgeübten Kräfte unberechenbar sind und sich durch Bauwerke von angemessener Stärke nicht auffangen lassen, da die Kosten von Eisschutzbauwerken nun einmal in einem vertretbaren Verhältnis zum Wert der zu schützenden Anlage stehen müssen. Der wirtschaftliche Spielraum für den Einsatz bautechnischer Mittel zur Eisabwehr ist also in derartigen Fällen als überschritten zu bezeichnen.

Abteilung II — Seeschiffahrt

Frage 1

Maßnahmen, die zu treffen sind, um den Umschlag von Stückgut zwischen Seeschiff und Kai oder Binnenverkehrsmittel und umgekehrt wirtschaftlicher zu gestalten.

Von Dr.-Ing. E. h. Friedrich Mühlradt, Hafenbaudirektor, Leiter der Abteilung Strom- und Hafenbau bei der Behörde für Wirtschaft und Verkehr, Hamburg, Hermann Benrath, Oberbaurat bei der Behörde für Wirtschaft und Verkehr, Strom- und Hafenbau, Hamburg.

Zusammenfassung:

Einleitung: Die Wirtschaftlichkeit des Stückgutumschlags zwischen Schiff und Land wird im wesentlichen von zwei Faktoren beeinflußt; den Umschlagkosten und der Umschlaggeschwindigkeit. Die Entwicklung zum großen Schiff gibt dem Zeitfaktor ein immer größeres Gewicht. Ein Tag eingesparte Hafenliegezeit kann schon erhöhte Umschlagkosten infolge höherer Investitionen rechtfertigen. Gleichzeitig kann ein rascherer Umschlag zu erhöhter Ausnutzung der Hafeneinrichtungen und damit zur Einsparung von Neuinvestitionen führen. Man muß daher die Wirtschaftlichkeit der gesamten Umschlagkette vom Schiff bis zu den Landverkehrsmitteln betrachten.

Umschlaggeschwindigkeit, Umschlagkosten und Arbeitskräftebedarf sind abhängig von der baulichen Gestaltung und der maschinellen Ausrüstung der Umschlaganlagen. Dazu kommen aber stets besondere Eigenarten und eine in jedem Hafen andere Verkehrsstruktur, so daß Erfahrungen an einer Stelle nicht ohne weiteres auf andere Häfen übertragbar sind. Die folgenden Ausführungen stützen sich in erster Linie auf die Erfahrungen der großen deutschen Stückguthäfen, insbesondere Hamburgs.

Es werden technisch hochwertige Stückgutanlagen mit Kaimauern, Kaischuppen, Hebezeugen sowie Gleis- und Straßenanschluß vorausgesetzt. Die gegenseitige Anordnung und die Gestaltung dieser Teile ist ein wichtiger Faktor für die Wirtschaftlichkeit der Gesamtanlage.

1. Kaikran oder Schiffsgeschirr:

Mit Zunahme der Tageskosten der immer größer werdenden Seeschiffe wird die Umschlaggeschwindigkeit und damit die Zahl der Hafentage zu einem immer wichtigeren Faktor der Betriebskosten. Eine Beschleunigung des Umschlags durch Einsatz von — allerdings teueren — Kaikränen wird daher immer rentabler.

Besonders zeigt sich das in Häfen, bei denen gleichzeitig nach der Land- und Wasserseite des Seeschiffs umgeschlagen wird. Für westdeutsche Verhältnisse lohnt sich der Einsatz von Kaikränen für den Hafen schon dann, wenn sie die Leistung und damit die Ausnutzung der Landanlagen um mindestens 17 % erhöhen. Erfahrungen zeigen, daß diese Leistungssteigerung in der Praxis meist über 20 % liegt. Hinzu kommt die Geländeersparnis, die für alle nordwesteuropäischen Häfen wegen ihres Raummangels von besonderer Bedeutung ist. Hinzu kommt weiter die Ersparnis für den Reeder durch Verkürzung der Hafenliegezeiten und damit der unproduktiven Kosten, die für ein mittleres Frachtschiff auf jährlich 240 000,— DM berechnet wird.

2. Abstimmung der baulichen Anordnung auf die Verkehrsstruktur:

Die wirtschaftlichste Gestaltung der Landanlagen ist abhängig von der Verkehrsstruktur des jeweiligen Hafens und deshalb nicht ohne weiteres auf andere Häfen übertragbar. Maßgebend ist der Anteil der Binnenverkehrsmittel' — Binnenschiff, Schiene, Straße — am Umschlag. Daher weisen "Wasserhäfen" eine andere Kaigliederung auf als "Landhäfen". Für die stärkere Umschlagrichtung wird der Ieistungsfähigere Kaikran eingesetzt, für die schwächere das Schiffsgeschirr. Die günstigste Kaianordnung für den "Landhafen" Hamburg wird im einzelnen dargestellt und begründet.

 Neben der Gesamtanordnung ist auch die richtige Bemessung der Einzelteile für die Wirtschaftlichkeit des Umschlags von großer Bedeutung. Die Anordnung zweistöckiger Kaischuppen oder die Verbindung von Kaischuppen und Speicher in einem mehrstöckigen Bauwerk wird mit zunehmender Umschlaggeschwindigkeit immer schwieriger, da die Abfertigungslängen für die Landfahrzeuge sich nur in der ersten Potenz vermehren lassen, während gleichzeitig die Abfertigungsmengen in der dritten Potenz steigen.

3. Mechanisierung der Flurförderung:

Die Ansichten über die zweckmäßigste Form der Flurförderung und die wirtschaftlichen Grenzen der Mechanisierung gehen — selbst in dem gleichen Hafen — einstweilen noch ziemlich weit auseinander. Am Beispiel der Einführung des Gabelstaplers im Hafen werden grundsätzliche Fragen zum Thema "Mechanisierte Flurförderung" behandelt. Der Hauptvorteil des Gabelstaplers im Stückgutumschlag liegt in der Möglichkeit, die Kaischuppen in Zeiten des Spitzenverkehrs durch Höherstapeln der Ware besser auszunutzen und dadurch an Investitionen zu sparen.

Ein "Durchpalettisieren" — d. h. die Weiterverladung der Paletten auf Seeschiffe, Binnenschiffe, Eisenbahn und Lastkraftwagen — ist bisher in Hamburg nicht akut geworden, muß aber für die Zukunft erwartet werden. Bei langen Überseefahrten könnte an die Verwendung "verlorener" Paletten gedacht werden. Das Hauptproblem für einen weiteren Ausbau der Palettisierung liegt auf organisatorischem Gebiet, und zwar auf internationaler Ebene.

Als weiteres Mittel zur Erhöhung der Wirtschaftlichkeit des Stückgutumschlags wird der Straßenkran kurz behandelt.

4. Behälter- und Trailerverkehr:

Ein stärkerer Ausbau des Behälterverkehrs kann den Umschlag erheblich beschleunigen und verbilligen. Seine Entwicklung ist jedoch im Überseeverkehr des Hafens Hamburg bisher noch nicht über. Anfänge hinausgekommen. Andere Formen des Behälterverkehrs sind aus den USA bekanntgeworden und können in näherer Zukunft auch für europäische Häfen aktuell werden; die Verladung von Lkw-Anhängern auf Trailer-Ships, die Beförderung von abnehmbaren Lkw-Anhängerkästen auf besonders ausgerüsteten Tankschiffen und der Bau von Spezialschiffen mit Aufzügen zur Lkw-Beförderung.

5. Entlastung der Kaianlagen von umschlagfremden Funktionen:

Die höchste Leistung wird eine Umschlaganlage dann erzielen, wenn sie von allen umschlagfremden Funktionen entlastet wird. Der Kaischuppen darf nicht als Lagerhaus, die Ladegleise nicht als Abstell- und Rangierbahnhof und die Ladestraße nicht als Parkplatz benutzt werden.

6. Organisatorische Maßnahmen:

Das reibungslose Zusammenspiel des Seeschiffs mit dem Kaibetrieb und den drei Landverkehrsmitteln erfordert eine gute Organisation und geschickte Menschenführung. Erwähnt wird ein guter Schiffsmeldedienst, eine zweckmäßige Zollabfertigung, eine Vormeldung der Fahrzeuge des Binnenverkehrs, eine gute Arbeitseinsatzorganisation, hochqualifiziertes Personal in den Schlüsselpositionen und eine sozial gesicherte und zufriedene Arbeiterschaft.

Schlußbemerkung

Ergänzend werden noch einige Faktoren außerhalb des Hafens behandelt, die auf die Wirtschaftlichkeit des Umschlags einwirken, wie der Zustand der Seewasserstraße, die Gestaltung der Hafenbahnhöfe, die Qualität der Hinterlandsverbindungen auf Schiene, Straße und Binnenwasserstraße u. a. m.

Nochmals wird betont, daß die Erfahrungen eines Hafens nicht ohne weiteres auf andere Häfen übertragbar sind und daß bei jeder Neuplanung grundsätzliche verkehrstechnische Untersuchungen über die Struktur des Hafenumschlags und seine wirtschaftliche Durchführung anzustellen sind.

Gliederung:	•	Seite
	Einleitung	165
	1. Kaikran oder Schiffsgeschirr	166
	2. Abstimmung der baulichen Anordnung auf die Verkehrs-	
	struktur	170
	3. Mechanisierung der Flurförderung	175
	4. Behälter- und Trailerverkehr	177
	5. Entlastung der Kaianlagen von umschlagfremden Funk	-
	tionen	
	6. Organisatorische Maßnahmen	180
	Schlußbemerkung	180

Einleitung

Die Wirtschaftlichkeit des Stückgutumschlags zwischen Seeschiff und Land wird im wesentlichen von zwei Faktoren beeinflußt: den Umschlagkosten und der Umschlaggeschwindigkeit. Daneben beginnt in verschiedenen Häfen — insbesondere Europas — infolge der zunehmenden Erschöpfung der Arbeitskraftreserven auch der Bedarf an Menschen eine Rolle zu spielen. — Die Tendenz zu immer größeren und kostspieligeren Schiffsgefäßen verleiht dabei dem Zeitfaktor ein immer größeres Gewicht. Ein Tag eingesparter Hafenliegezeit kann schon eine Erhöhung der Umschlagkosten durch neue Investitionen rechtfertigen; andererseits kann aber auch ein rascherer Umschlag zu erhöhter Ausnutzung der Hafeneinrichtungen und damit zur Einsparung von Hafeninvestitionen führen; hier liegen sogar die größeren Möglichkeiten. Es genügt daher nicht, die Wirtschaftlichkeit der einzelnen Glieder der Umschlagkette zwischen Seeschiff und Landverkehrsmittel für sich allein zu betrachten; es muß vielmehr das wirtschaftliche Ergebnis der gesamten Kette — also Kai und Schiff — in den Vordergrund gestellt werden.

Umschlaggeschwindigkeit, Umschlagkosten und Arbeitskräftebedarf sind in erster Linie von der baulichen Gestaltung und der maschinellen Ausrüstung der Umschlaganlagen abhängig; aber auch die Bauart der Seeschiffe und ihre Ausstattung mit Hebezeugen sind nicht ohne Einfluß. Neben diesen technischen Gesichtspunkten spielen aber oft auch Gebräuche und Usancen, d. h. Organisationsformen und Menschen eine so entscheidende Rolle, daß zuweilen trotz mangelhafter Umschlageinrichtungen gute und trotz guter Umschlageinrichtungen schlechte Leistungen erzielt werden. Aber gerade auf diese individuellen Faktoren des Umschlags ist eine Einflußnahme mit dem Ziel einer Verbesserung der Wirtschaftlichkeit meist viel schwieriger als bei den technischen Maßnahmen.

Da aber nicht nur in dieser Beziehung, sondern auch im Hinblick auf Verkehrsstruktur, historische Entwicklungen und örtliche Gebundenheiten die Verhältnisse in jedem Hafen verschieden liegen, lassen sich die Erfahrungen eines Hafens nicht ohne weiteres auf andere Häfen übertragen. Das muß besonders nachdrücklich betont werden, weil immer wieder Vergleiche gezogen werden, die die jeweiligen verschiedenartigen Gegebenheiten nicht beachten. Es sei daher einschränkend festgestellt, daß sich die folgenden Ausführungen im wesentlichen auf die Erfahrungen der großen deutschen Stückguthäfen, insbesondere Hamburgs, stützen.

Bei der Behandlung des Themas dürfen technisch hochentwickelte Umschlaganlagen vorausgesetzt werden; primitivere Umschlagformen z.B. mit Leichtern und Brandungsbooten auf offener Reede u. dgl. bleiben daher außer Betracht. Zu einer solchen hochwertigen Stückgutumschlaganlage gehören demnach:

- a) die Uferbefestigung (Kaimauer oder ähnliches),
- b) der Kaischuppen,
- c) die Straßenanlage,
- d) die Eisenbahnanlage,
- e) die Hebezeuge für den Schiffsumschlag (See- und Binnenschiff),
- f) die Flurfördermittel.

Lagerspeicher sind in diese Betrachtungen nicht einbezogen, da sie nicht eigentlich dem Umschlag dienen und daher nicht unbedingt auf dem Umschlagkai untergebracht werden müssen.

Aus der Anordnung und Gestaltung der einzelnen Teile einer Stückgutumschlaganlage und aus ihrem Zusammenspiel ergibt sich in erster Linie — neben organisatorischen Maßnahmen — die Wirtschaftlichkeit des Umschlags. Daß daneben die Menschen, die diesen technischen Apparat bedienen, ebenfalls von wesentlicher Bedeutung sind, wurde bereits erwähnt. Selbstverständlich ist, daß bei allen Überlegungen das Seeschiff den Vorrang hat; nach ihm muß sich der Ablauf des Umschlaggeschäfts richten. Die Gründe dafür sind klar: Es kann einen Minutenfahrplan nicht einhalten; es ist kostspielig in Bau und Betrieb; es ist großräumig und sperrig in der Handhabung; es ist international.

Die Aufgabe der Umschlaganlage ist im einzelnen vielseitig: sie muß den Umschlag vom Seeschiff zur Eisenbahn, zum Lastwagen und auch zum Binnenschiff und umgekehrt ermöglichen; sie muß diesen Umschlag sowohl zwischen Seeschiff und Landverkehrsmitteln direkt als auch über den Kaischuppen ermöglichen; sie muß die Umschlaggeschwindigkeit zwischen dem großräumigen Seeschiff und den kleineren Landverkehrsmitteln ausgleichen und daher in gewissem Umfang kurzfristige Lagermöglichkeit auf dem Kaischuppen sowie Aufnahmeanlagen für Eisenbahnwagen, Lastkraftwagen und Binnenschiffe in der Nähe bereithalten.

In den folgenden Ausführungen sollen einige Gesichtspunkte behandelt werden, die auf die wirtschaftliche Lösung dieser vielgestaltigen Aufgaben von Einfluß sein können.

1. Kaikran oder Schiffsgeschirr

Ein erster wichtiger Gesichtspunkt ist die Frage, wie der Umschlag zwischen Seeschiff und Land bewirkt werden soll. Hier sind größere Hubhöhen zwischen den Laderäumen des Schiffes und der Höhenlage des Kais zu überwinden, die bei großen Wasserstandsschwankungen durch Tide- oder Witterungseinflüsse sich noch beträchtlich steigern können. Die Wirtschaftlichkeit des Umschlaggeschäfts für Schiff und Kai erfordert, daß die gesamte nach Land abzugebende Gütermenge in möglichst kurzer Zeit umgeschlagen wird. Das führt zu folgenden Forderungen:

- 1. möglichst viele Hebezeuge an einer Luke;
- 2. möglichst große Arbeitsgeschwindigkeit (Heben und Drehen);
- 3. möglichst große Tragfähigkeit des Hebezeugs, d. h. möglichst große Hieven.

Die Grenzen dieser Möglichkeiten sind zunächst einmal durch den Stand der technischen Entwicklung bedingt; aber auch innerhalb dieser technischen Grenzen wird, da ja die mehr oder weniger weitgehende Erfüllung dieser Forderung

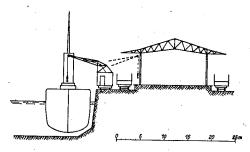
entsprechend hohe Investitionen erfordert, sich ein wirtschaftliches Optimum ergeben, das von der Umschlagstruktur, der Umschlagmenge, den Umschlagkosten und den laufenden Kosten des Schiffs beeinflußt wird. Dieses Optimum muß also für jeden Hafen besonders ermittelt werden und ist nicht ohne weiteres auf andere Häfen übertragbar.

Ursprüngliche und einfachste Form des Umschlags ist die mit Hilfe der üblichen Ladebäume des Schiffes, deren Zahl und Umschlagleistung durch seine Bauart festliegt. Mit zunehmender Größe und Kostspieligkeit der Schiffe, damit der umzuschlagenden Ladungsmengen und daraus folgend der Investitionskosten für die Landanlagen, aber auch mit zunehmender Hubhöhe ergibt sich die Frage einer Ergänzung oder gar eines Ersatzes des Schiffsgeschirrs durch Kaikräne auf dem Lande. Auch heute ist selbst in großen Stückguthäfen die Ausrüstung mit Stückgutkränen als Hauptumschlagmittel keineswegs selbstverständlich. So führen z.B. die USA-Häfen mit ganz geringen Ausnahmen, die allerdings neueren Datums sind, ihren Stückgutumschlag ohne Kaikräne — allein mit dem Ladegeschirr des Schiffes — durch. Über das Thema "Stückgutkräne ja oder nein" ist - vor allem in den Jahren nach dem zweiten Weltkrieg, aber auch schon zwischen den Weltkriegen — sehr viel geschrieben und auf Kongressen geredet worden. Es ist nicht möglich, in diesem Rahmen das Für und Wider in vollem Umfang auseinanderzusetzen. Das vielseitige Problem muß vielmehr vereinfacht und auf einen kurzen Auszug aus dem Blickwinkel der Umschlagleistung und ihrer Wirtschaftlichkeit beschränkt werden. Geht man von der auf den einzelnen Hafenarbeiter entfallenden Umschlagleistung aus, dann bringt die Benutzung eines Stückgutkrans im allgemeinen keine Leistungssteigerung. Vergleiche von Arbeitsleistungen in einzelnen USA-Häfen ohne und in europäischen Häfen mit Kränen ergaben mitunter sogar höhere Leistungen in den USA-Häfen. Derartige Vergleiche hinken aber, da die verschiedene körperliche Leistungsfähigkeit (z.B. Neger—Weiße), die Qualität der Stauarbeit (in USA-Häfen wird schlechter gestaut als in europäischen Häfen) und andere örtliche Gegebenheiten und Gewohnheiten dabei nicht berücksichtigt werden können. Nehmen wir also im großen Durchschnitt gleiche Leistungen der Arbeiter sowohl ohne als auch mit Kaikränen an, dann müssen die Häfen, die mit Stückgutkränen arbeiten, nachweisen, daß für ihre Verhältnisse die Benutzung des Stückgutkranes trotz seiner höheren Kosten gegenüber der kranlosen Anordnung wirtschaftlicher ist. Hierbei sollen bewußt alle Gründe beiseite gelassen werden, die außerhalb des rein wirtschaftlichen für die Vorhaltung von Stückgutkränen sprechen können, wie z.B, stark wechselnde Wasserstände, starker Binnenschiffumschlag, Konkurrenz benachbarter Häfen usw. Im reinen Umschlaggeschäft liegt der Vorteil des Stückgutkrans in der Möglichkeit, gleichzeitig mehr Lasthaken am Schiff ansetzen zu können, als dieses selbst in Form seines eigenen Schiffsgeschirrs mitbringt. Das gilt besonders dann, wenn das Seeschiff — wie es in Hamburg häufig vorkommt — einen Teil seiner Ladung außenbords an Hafenfahrzeuge oder Binnenschiffe abgibt. Dazu werden fast ausschließlich die Ladebäume des Schiffes benutzt, so daß schon aus diesem Grunde für den Umschlag vom Schiff zum Kai und umgekehrt der Kaikran benötigt wird. Mit seiner Hilfe können an jeder Schiffsluke 2—3 Lasthaken arbeiten und damit wesentlich mehr Arbeitsgänge eingesetzt werden, als es bei alleiniger Verwendung des Schiffsgeschirrs möglich wäre. Außerdem kann bei ungleichen Lösch- und Lademengen an den einzelnen Schiffsluken ein Ausgleich dergestalt ermöglicht werden, daß die Arbeit an allen Schiffsluken gleichzeitig beendet werden kann. Verschiedene Häfen haben ermittelt, daß durch den mit Hilfe der

Stückgutkräne ermöglichten gleichzeitigen Mehreinsatz von Arbeitsgängen sich die Gesamtleistung am Schiff und damit die Kaiausnutzung um etwa 20 $^{\circ}/_{\circ}$ erhöht, was dann gleichzeitig auch eine entsprechende Verkürzung der Schiffsliegezeit bedeutet. Zahlenangaben, die von 50-70 % Leistungssteigerung sprechen, dürften, wenn sie überhaupt stichhaltig sind, Ausnahmen darstellen. In der Praxis wird sich bei einem Versuch, derartige Ergebnisse exakt zu ermitteln, sicher eine starke Streuung zeigen; als Unterlage für eine überschlägliche Rechnung kann man aber diese 20 % verwenden, um überhaupt Größenordnungen zu gewinnen. — Die Baukosten eines Schiffsliegeplatzes von 150 m Länge am seeschifftiefen Kai mit 10,0 m Wassertiefe betragen für westdeutsche Verhältnisse rd. 7,0 Mill. DM; davon entfallen auf die Kräne mit Zubehör rd. 1,0 Mill. DM. Eine um 20 % erhöhte Kaiausnutzung bringt also dem Hafen einen Gewinn an Liegeplatzkapazität im Werte von 0,2 imes 6,0 = 1,2 Mill. DM, also 20% mehr als die Kranausrüstung kostet. — Man kann auch umgekehrt sagen, daß die Benutzung von Stückgutkränen für einen Hafen dieser Größenordnung dann wirtschaftlich ist, wenn sie mindestens eine Steigerung der Schiffsliegeplatzausnutzung in Höhe der Krankosten, also rd. 17% ermöglicht. Bei dieser Rechnung ist die Geländeersparnis noch unberücksichtigt geblieben. Da alle nordwesteuropäischen Häfen knapp an Erweiterungsgelände für Stückgutanlagen sind, resp. es nur unter erheblichem Kostenaufwand schaffen können, ist für sie eine Steigerung der Kaiausnutzung von doppeltem Wert.

Aber auch für den Reeder ergeben sich aus der Verkürzung der Hafenliegezeit finanzielle Vorteile. Ein mittleres Frachtschiff verursacht je Tag rd. 10 000 DM Kosten aller Art. Rechnet man nur mit einer 40% igen Hafenliegezeit, d. i. 120 Tage im Jahr — sie liegt im Durchschnitt wesentlich höher —, so bringt eine Verkürzung um 20 % gleich 24 Tage schon um 240 000 DM geringere Unkosten. —

Stückgutkai mit Rollkran (um 1900)



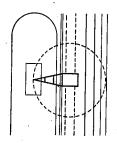


Bild 1: Stückgutkai mit Rollkränen um 1900. Querschnitt und Grundriß.

Es ist ganz interessant, daß die Praxis in etwa diese Rechnung bestätigt. Der Hafen Melbourne hält Kailiegeplätze mit und ohne Kräne vor. Die Reeder drängen regelmäßig zu den mit Kränen ausgerüsteten Kaiplätzen, obwohl sie die Zusatzkosten für die Kräne entsprechend bezahlen müssen. Im übrigen zeigen Vergleiche, daß die europäischen Häfen gegenüber den USA-Häfen relativ größere Umschlagleistungen vollbringen.

Es braucht nicht erwähnt zu werden, daß die obere Leistungsgrenze und die Wirtschaftlichkeit im Umschlag entscheidend von dem jeweiligen Stand der technischen Entwicklung des Kaikrans beeinflußt wurde. In Hamburg ist diese Entwicklung vom Rollkran, der auf dem Kai läuft (Bild 1), über den Hallportalkran mit starrem Ausleger (Bild 2) zum modernen Vollportalwippkran mit 3 t Tragkraft (Bild 3) gegangen. Heute wird das Bild aller großen europäischen

Stückgutkai mit Halbportalkran (um 1920)

Bild 2: Stückgutkai mit Halbportalkränen mit starrem Ausleger um 1920. Querschnitt und Grundriß

Häfen vom Wippkran geprägt. Er hebt sich in Form, Ausladung und leider auch Anschaffungspreis so sichtbar aus dem Krantyp der zwanziger Jahre heraus, daß man von ihm auch eine entsprechende Steigerung der Umschlagleistung und eine Senkung der Umschlagkosten gegenüber seinen Vorgängern erwarten muß. Dies wird zwar nur bedingt erreicht, aber — und das ist für seine Verwendung entscheidend — die moderne Kaiaufteilung wäre, wie im nächsten Abschnitt noch erörtert wird, ohne diese Kräne gar nicht möglich.

2. Abstimmung der baulichen Anordnung auf die Verkehrsstruktur

Ließen sich die Betrachtungen über die Wirtschaftlichkeit von Kaikränen noch mit gewissen Einschränkungen verallgemeinern, so ist die entscheidend von der jeweiligen Verkehrsstruktur beeinflußte Gestaltung der Umschlaganlagen am Lande fast völlig eine individuelle Angelegenheit des einzelnen Hafens. Trotzdem wird ihr Studium auch für jeden auswärtigen Hafenfachmann von Nutzen sein, wenn ihm gleichzeitig mit der gewählten Anordnung auch die zugehörige Verkehrsstruktur und die örtlichen Gegebenheiten bekanntgemacht werden. Zur

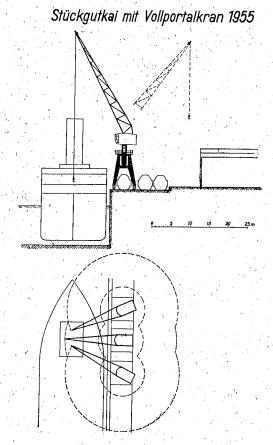


Bild 3: Stückgutkai mit Vollportal — Wippkränen um 1955. Querschnitt und Grundriß

Vermeidung von Fehlschlägen wird man aber stets kritisch überlegen müssen, welche Gedankengänge auf die eigenen Verhältnisse übertragbar sind und welche nicht.

Grundlage für die räumliche Anordnung der Stückgutanlage ist der Anteil der Binnenverkehrsmittel am Umschlag. Es gibt Häfen, die überwiegend auf Binnenschiffe umschlagen (z. B. Rotterdam, Amsterdam, Emden — hier kurz "Wasserhäfen" genannt —) und solche, deren Hinterlandsverkehr sich vorwiegend über Land abwickelt (z. B. Bremen, Hamburg — hier kurz "Landhäfen"

genannt —). In beiden Hafengruppen muß die bauliche Anordnung von Stückgutanlagen grundsätzlich verschieden aussehen, da man den Hauptumschlag dem landfesten Stückgutkran als der leistungsfähigsten Umschlageinrichtung überläßt, In "Wasserhäfen" übernimmt daher der Kaikran den Umschlag vom Seeschiff zum Binnenschiff und' umgekehrt, in "Landhäfen" dagegen den Umschlag vom Seeschiff zum Land und umgekehrt.

Bei dem geringen Anteil der Landverkehrsmittel Eisenbahn und Lastwagen vertragen sich diese in "Wasserhäfen" gut; man braucht sie nicht zu trennen. — In "Landhäfen" übernehmen diese Verkehrsmittel aber den Hauptteil des Gesamtumschlags; sie stören sich daher gegenseitig; man muß sie voneinander trennen.

In "Wasserhäfen" übernimmt das Schiffsgeschirr den Umschlag vom Seeschiff zum Land und umgekehrt. Bei seiner geringen Ausladung kann dieses die Ladung nur direkt an der Kaikante absetzen und aufnehmen. Den Zwischentransport vom und zum Kaischuppen übernimmt ein Flurfördergerät, entweder ein schneller Straßenkran oder der Elektrokarren oder Gabelstapler. Der Kaischuppen darf daher keine wasserseitige Rampe haben. Der Querverkehr in Höhe der Kaistraße ist bei dem geringen Längsverkehr von Straße und Eisenbahn hier möglich. — In "Landhäfen" muß der Stückgutkran vom Seeschiff über die wasserseitig liegenden Eisenbahngleise auf die Schuppenrampe reichen, die hier die Eisenbahn-Be- und Entladung erleichtert, also richtig ist. Der starke Längsverkehr macht es dabei nötig, daß der Kaikran die Löschgüter zwischen Schiff und Schuppen in der zweiten höheren Ebene über die Eisenbahnwaggons hinweg befördert.

In "Wasserhäfen" müssen die Stückgutkräne eine weite Ausladung haben, um über das Seeschiff hinweg noch zwei außenbords liegende Flußkähne bedienen zu können. In "Landhäfen" genügt eine geringere Ausladung, um von Mitte Luke des Seeschiffs über die Eisenbahngleise hinweg eine breite Rampe bestreichen zu können. Die Ausladung des Kranes wird hier also nach beiden Richtungen ausgenutzt.

Die danach grundsätzlich anzustrebende Kaianordnung für die Verkehrsstruktur des "Landhafens" Hamburg sei noch einmal kurz zusammengefaßt (Bild 4b): Breite Hafenbecken, durch eine Kaimauer eingefaßt, die eine Abfertigung des Seeschiffs am Kai einschließlich des Außenbordumschlags (Binnenschiff und Hafenschute) gestatten. Auf der Kaimauer drei Eisenbahngleise, die nicht eingepflastert sind, also den Lastwagen nicht zulassen. Diese Gleise dienen dem Be- und Entladen der Stückgüter von der Eisenbahn zum Kaischuppen und umgekehrt, außerdem zunehmend dem Direktumschlag zwischen Eisenbahn und Seeschiff und umgekehrt. Über dem wasserseitigen Gleis laufen Vollportal-Wippkräne mit 6,0 m Spurweite, 3 t Tragkraft und 25 m Ausladung. Eine breite Rampe vor dem Schuppen (10,0-11,0 m) dient dem Aufund Abnehmen der Kranlasten, der Lagerung schwerer und wetterfester Einzelgüter, die den Kaischuppen nicht brauchen, dem Eisenbahnumschlag vom und zum Kaischuppen und dem nur gelegentlich vorkommenden Direktumschlag vom Lastwagen zum Seeschiff; die wasserseitigen Schuppenrampen sind deshalb an den Schuppenenden durch Auffahrtrampen mit der landseitigen Kaistraße verbunden. Der Kaischuppen in einer Breite von rd. 40-50 m für die Überseeschifffahrt und von 20—35 m für die Europaschiffahrt dient der Sammlung und Verteilung der abgehenden und einkommenden Stückgüter, außerdem dem Verwiegen, der Markierung und dem Probenziehen bei einzelnen Gütern. Hinter

dem Kaischuppen mit einer schmalen landseitigen Rampe (3,0 besser 4,0 m) liegt die Straße für die Lastwagenabfertigung, die so breit gehalten ist, daß die Lastwagen sowohl von der Seite als auch mit dem Heck zur Rampe be- und entladen werden können und daß daneben noch genügend Fläche für den Längsverkehr verbleibt, der allerdings im Richtungsverkehr auf zwei getrennten Einbahn-

Querschnitt durch eine Stückgutumschlaganlage al. In "Wasser" Häfen (z.B. Rotterdam) Umschlag überwiegend auf Binnenschiffe Umschlag überwiegend auf Landverkehrsmittel (Eisenbahn und Lastkraftwagen)

Bild 4: Querschnitt durch eine moderne Stückgutumschlaganlage a) in einem "Wasserhafen" (Rotterdam)

b) in einem "Landhafen" (Hamburg)

straßen abgewickelt wird. Rangier- und Abstellgruppen (Bezirksbahnhöfe) für die Eisenbahn und Parkplätze für den Lastwagen an der Kaiwurzel vervollständigen die Gesamtanlage, die von Kaimauer zu Kaimauer eine Breite von rd. 190 m benötigt.

Die geschilderte Anordnung, die seit 1945 bei fast allen wiederaufgebauten oder neuerbauten Stückgutanlagen je nach den örtlichen Umständen in mehr oder weniger reiner Form ausgeführt wurde, begünstigt neben ihren sonstigen Vorzügen bewußt den Direktumschlag von der Eisenbahn zum Seeschiff und umgekehrt, denn dieser Umschlag ist relativ billig und vor allem schnell. Die Praxis hat die Zweckmäßigkeit dieser Planung bestätigt, denn der Direktumschlag hat sich von 1951—1955 von 16 % auf 25 % des gesamten Kaiumschlags, also ganz beträchtlich, gehoben. Seine reibungslose Abwicklung setzt allerdings voraus, daß die Eisenbahnanlagen im Hafen und auf den anschließenden großen Rangierbahnhöfen — vor allem in Spitzenbelastungszeiten — über geeignete und ausreichende Abstellanlagen verfügen, in denen die für den Direktumschlag bestimmten Eisenbahnwagen vorübergehend abgestellt werden können, wenn sie wegen verspäteter Schiffsankunft am Kai noch nicht gebraucht werden kön-

nen. Da die Schuppengleise nur noch dem Umschlag dienen, sind für die Feinrangierarbeit vor Kopf der einzelnen Kaianlage die bereits erwähnten Bezirksbahnhöfe vorzusehen, die, je nach den örtlichen Verhältnissen, in verschiedenen Formen (Durchgangs- oder Kopfform) angeordnet werden können (z. B. Bild 5).

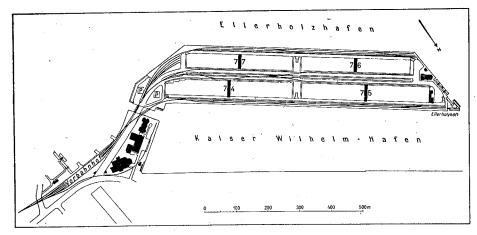


Bild 5: Lageplan einer modernen Hamburger Kaizunge mit Bezirksbahnhöfen in Durchgangs- und Kopfform und Parkplätzen (P) an der Kaiwurzel.

Es sei hier eingeschaltet, daß die dargestellte Hamburger Kaiaufteilung der heutigen Verkehrsstruktur entspricht. Diese ist aber von der vor 50 Jahren völlig verschieden. Bis 1914 vollzog sich der Hinterlandsverkehr zu 80 % auf dem Wasser (Elbe) und zu 20 % auf der Eisenbahn; die Straße spielte im Überlandverkehr noch keine Rolle. Infolgedessen hatten die damaligen Stückgutanlagen eine völlig andere Gesamtanordnung, auf die aber hier nicht weiter eingegangen werden kann.*) Wenn nicht die Ereignisse des zweiten Weltkrieges mit ihrer starken Zerstörung des Bestandes an Kaischuppen und Kaimauern teilweise einen den veränderten Verhältnissen angepaßten radikalen Neuaufbau ermöglicht hätten, hätte auch in Hamburg wohl kaum eine für die heutige Verkehrsstruktur wirtschaftliche Kaiaufteilung geschaffen werden können. — Erwähnt sei jedoch in diesem Zusammenhang noch, daß auch die in den Bildern 1-3 dargestellte technische Entwicklung des Kaikrans immer durch die verkehrsbedingte Entwicklung der Kaianordnung erzwungen wurde, die ihrerseits aber - wie schon betont — durch die Wandlungen in der Struktur des Binnenverkehrs und die Entwicklung des Seeschiffs zu immer größeren Gefäßen ausgelöst wurde. Die moderne Kaiaufteilung ist ohne den Wippkran mit großer Ausladung überhaupt nicht möglich. Erst nach Einführung dieses Krantyps konnte man 3 oder 4 Gleise an der Wasserseite anordnen, ohne daß die dadurch bedingte große Ausladung eine massierte Aufstellung der Kräne am Schiff verhinderte.

Neben der Gesamtanordnung ist aber auch die richtige Bemessung der Einzelteile für die Wirtschaftlichkeit des Umschlags von größter Bedeutung, das gilt — neben den bereits erwähnten Straßen- und Rampenbreiten, den Gleisanlagen

^{*)} vgl. Agatz/Mühlradt: The latest developments in Bremen/Bremerhaven and Hamburg, XVIIIth International Navigation Congress Rom 1953, Section II, Communication 2, S. 5—36.

und Kränen — in erster Linie für den Kaischuppen. Er dient der Verteilung des einkommenden Gutes, der kurzen Aufbewahrung, der Probeentnahme, dem Verwiegen einzelner Güter, dem Sammeln des ausgehenden Gutes — nicht aber der längeren Lagerung. Er ist der Sortiertisch des Hafens. Länge und Breite der Kaischuppen sind von den Abmessungen der Seeschiffe abhängig. Bei der Länge ist das Gesetz dieser Abhängigkeit klar: Die Länge soll ein Vielfaches derjenigen des am Schuppen abzufertigenden Regelschiffes sein, also heute für das Weltregelschiff ein Vielfaches von 150 m. Der Hamburger Normalschuppen für Überseeschiffe hat daher bei 2 Schiffsliegeplätzen eine Länge von 300 m. — Für die Breite ist eine Regel, die der Praxis standhält, nicht zu finden. Der Schuppen soll so breit sein, daß er

- a) den für ihn bestimmten Ladungsteil des Schiffes auf die Schiffslänge aufnehmen und für den Abnehmer sortiert lagern kann;
- b) Restladungen, die noch nicht abgeholt sind, wenigstens in begrenzten Mengen vorübergehend lagern kann;
- c), ausgehende Ladungen, die das löschende Schiff aufnehmen soll, sammeln kann;
 - d) gewisse Manipulationen an den ein- und ausgehenden Waren ermöglicht.

Die Breite ist daher weitgehend davon abhängig, wie groß der Anteil der im Schuppen zu behandelnden Ware am Gesamtumschlag ist und ob in der Regel Teil- oder Volladungen für den Schuppen bestimmt sind. Keine dieser Angaben läßt sich theoretisch ermitteln. In Hamburg hat sich gezeigt, daß die schon früher festgelegte Breite von 50 m auch heute noch für die Regelfrachtschiffe von etwa 10 000—12 000 BRT ausreicht. Selbst die Liberty-Einheiten, die nach 1945 zunächst nur Volladungen brachten, die geschlossen über den Schuppen gingen, konnten über diese Schuppen mit 50 m Breite — wenn auch mit einigen Schwierigkeiten — abgefertigt werden.

Hamburg hat die eingeschossige Bauart beibehalten. Alle Einzelversuche mit zweigeschossigen Schuppen haben zu negativen Ergebnissen geführt, d.h. der Betrieb verteuerte sich wesentlich. Hinzu kommt, daß mit zunehmender Umschlaggeschwindigkeit die An- und Abfuhr mit Eisenbahn und Lkw, die normalerweise je nur ebenerdig stattfinden kann, erhöhte Schwierigkeiten bringen muß. Bezeichnenderweise erklärt die Port Authority of New York, daß sie - trotz der hohen Bodenpreise in New York — nur dort zweigeschossige Schuppen für betrieblich tragbar hält, wo sie mit Lkw auf Rampen das Obergeschoß bedienen kann. Selbstverständlich sind Obergeschosse für die Passagierabfertigung und für andere Sonderzwecke anders zu betrachten. — Wie schon bei dem Vergleich zwischen "Wasserhäfen" und "Landhäfen" (Seite 171) gesagt wurde, dürfen wasserseitige Rampen dort nicht angebracht werden, wo Schiffsgeschirr nach Land arbeitet. In Hamburg ist an beiden Schuppenseiten die Eisenbahn- und Lkw-Bedienung sehr stark. Es sei noch einmal wiederholt: 92 % des Gesamtumschlags geht über Landverkehrsmittel. Hier haben sich die Rampen als wirtschaftlich erwiesen. Die sehr breite wasserseitige Rampe wird — wie bereits erwähnt — auch zur Lagerung von Schwergütern und zum gelegentlichen Direktumschlag Seeschiff/Lkw und umgekehrt benutzt.

Wichtig für einen einwandfreien, raschen und wirtschaftlichen Umschlag ist eine gute Beleuchtung des Kaischuppens. Das leichte Erkennen der verschiedenen Markierungen und Ladezeichen an den Gütern beschleunigt den Umschlag und vermeidet weitgehend Fehlleitungen, die in einem Sechafen besonders peinliche Folgen haben können. Zur Verbesserung der Beleuchtung ist

Hamburg beim Wiederaufbau neue Wege gegangen: Breite Fensterbänder mit kittloser Verglasung in den Außenwänden sorgen für gutes Tageslicht, neuzeitliche Leuchtstoffröhren für gute Nachtbeleuchtung.

In vielen Häfen spielt die Frage eine Rolle, ob man Kaischuppen und Speicher trennen oder übereinander in einem gemeinsamen Bauwerk vereinigen soll. In großen Seehäfen kommt wohl nur die getrennte Anordnung in Frage. Nur in Einzelfällen, wenn ein Großempfänger zugleich auch Lagerei betreibt, kann eine gemeinsame Anlage betrieblich billiger sein. Sobald ein Verteilerbetrieb (also Kaischuppenbetrieb) aber im wesentlichen Fremdgüter behandelt, die also seinen eigenen Lagerbetrieb nicht berühren, wird die getrennte Anordnung, falls genügend Platz vorhanden ist, billiger. Im übrigen lassen sich an einem vertikal gegliederten zusammengefaßten Schuppenspeicher bei stärkerem Umschlag die erforderlichen Verkehrsflächen für Eisenbahn und Straße nicht mehr so unterbringen, daß Reibungen vermieden werden.

Auch diese Überlegungen gelten naturgemäß zunächst im wesentlichen für die Hamburger Verkehrsstruktur. Neben der allgemeinen Umschlagintensität und dem Anteil der über den Schuppen gehenden Gütermenge spielt aber auch die Menge der einzulagernden Ware und die durchschnittliche Lagerdauer eine Rolle. Die folgende Überlegung gilt für alle derartigen Planungen: Im allgemeinen nimmt bei wachsender Schiffsgröße Länge, Breite und Tiefgang des Seeschiffs in einem bestimmten Verhältnis zueinander zu. Mit wachsender Schiffslänge steigt also die zu befördernde und damit die umzuschlagende und auf dem Schuppen unterzubringende Ladungsmenge in der 3. Potenz. Die Schuppenfläche kann dagegen nur nach zwei Dimensionen (Länge und Breite) vergrößert werden, so daß — gleiche Verhältnisse in der Flurförderung vorausgesetzt — die Breite schneller wachsen muß als die Länge, immerhin ist hier ein Ausgleich noch möglich. Bei den Abfertigungslängen für den Landverkehr, für den im wesentlichen nur die land- und wasserseitige Längsseite der Kaischuppen zur Verfügung steht, ist dieser Ausgleich nicht mehr möglich. Die Abfertigungslänge für den Landverkehr wächst also nur linear, während die abzufahrende Warenmenge mit der 3. Potenz zunimmt. Mit zunehmender Schiffsgröße tritt daher die Gefahr von Störungen in der landseitigen Abfuhr infolge Erschöpfung der Abfertigungskapazität ein, die nur durch künstliche Vergrößerung der Abfertigungslängen, also teure Maßnahmen, in gewissem Umfang behoben werden kann. Damit sind der Vergrößerung der Abfuhrmengen durch ein oder mehrere Obergeschosse auch von dieser Seite her wirtschaftliche Grenzen gesetzt.

3. Mechanisierung der Flurförderung

Die stärkste Wandlung im Laufe der letzten Jahrzehnte hat die Flurförderung durchgemacht. Das reicht von der Sackkarre über den Elektrokarren, den Elektrozug, die verschiedenen Stapelgeräte bis zum Gabelstapler. Es ist interessant festzustellen, daß sich in den Ansichten über die zweckmäßigste Form der Flurförderung die Individualität der Häfen besonders stark ausprägt. Es soll daher hier nur über die Hamburger Erfahrungen berichtet werden, und selbst dieser Bericht wird auch aus dem eigenen Raum nicht ohne Widerspruch bleiben. Die Unsicherheit, die in weiten Kreisen fraglos noch darüber herrscht, wie weit man in der Mechanisierung der Flurförderung in den Häfen gehen kann und soll, zeigt, wie schwierig das Problem tatsächlich ist. Man kann nur sagen, daß jede Umstellung von der Handarbeit auf die Mechanisierung sehr genauer technischer

Uberlegungen und im besonderen organisatorischer Anpassung bedarf. Hier soll zunächst die Einführung des Gabelstaplers im Hafen etwas eingehender behandelt werden, da an diesem Beispiel einiges Grundsätzliche zum Thema "Mechanisierte Flurförderung", die Zusammenarbeit der einzelnen Verkehrsmittel und die wirtschaftliche Gestaltung der Umschlagvorgänge gesagt werden kann. Die Tatsache, daß die Frage nach der Wirtschaftlichkeit des Gabelstaplers von den Umschlagfirmen des Hafens Hamburg selbst sehr verschieden beantwortet wird, — von begeisterter Zustimmung bis zur Ablehnung — zwingt dazu, sich mit diesen Dingen eingehender zu befassen.

Überlegt man, wo sich der Gabelstapler als Flurfördergerät bisher optimal durchgesetzt hat und warum gerade dort, dann stellt man fest, daß sein Hauptanwendungsgebiet zunächst unbestritten im geschlossenen Industriebetrieb liegt; hier kann man den entscheidenden Vorteil, im eigenen Bereich mit Hilfe der Palette einen durchgehenden Transport der Ware ohne Umladung von Hand zu organisieren, voll ausnutzen. Hier kann man vom Lager durch den Betrieb hindurch bis zur Auslieferung einheitliche Beförderungsbedingungen schaffen. — Schwieriger wird die Sache, wenn Transporte auf Eisenbahn und Lkw eingeschaltet werden sollen. Dann muß man sich über Abmessungen und Qualität der Paletten, Art der Verpackung, Tragfähigkeit der Gabelstapler, Rücktransport oder "Verrechnung" der Paletten mit fremden Betrieben und Transportunternehmern verständigen. Es ist bekannt, daß derartige Vereinbarungen zum Teil schon weit gediehen sind, z.B. in der Schweiz, daß sie aber zum großen Teil noch in den Anfängen stehen. Bei Verladung palettisierter Fabrikware über den Seehafen — die es in Hamburg noch nicht gibt; man wartet aber darauf tritt die Schwierigkeit hinzu, daß für den Umschlag vom Kai zum Seeschiff und umgekehrt — sei es mit Kaikran oder Schiffsgeschirr — die meist 1000 imes 1200 mm messenden Industrie- oder Eisenbahnpaletten mit etwa 600 kg Gesamtgewicht zu klein sind, weil sie die Tragfähigkeit der Hebezeuge (3 t) nicht genügend ausnutzen. Um ein Absinken der Kranleistung durch kleinere Hieven zu vermeiden, hat man sich daher in Hamburg zu einer Schuppenpalette von $1000 imes 1600 ext{ mm}$ entschlossen, die mit 1000 bis 1200 kg Gesamtgewicht etwa der bisherigen durchschnittlichen Nutzlast einer Hieve entspricht. Man ist bemüht, die Schuppenpalette bereits im Seeschiff zu beladen und sie unverändert über Kran, Rampe, Schuppen bis an den Eisenbahnwaggon oder Lkw zu befördern. Das ist in vielen Fällen möglich, so daß dann der Hauptvorteil des Gabelstaplers, mit Hilfe der Palette Umladearbeit zu sparen, voll ausgenutzt werden kann. — Oft kommt aber die Ladung so bunt aus dem Schiff heraus, daß das Sortiern und das nach Empfängern getrennte Stapeln auf dem Schuppen eine volle Palettisierung unwirtschaftlich macht. Wenn ein Fruchtdampfer Citrusfrüchte in genormten Kisten anbringt, die nach 15 verschiedenen Marken und 20 verschiedenen Empfängern sortiert werden müssen, dann bringt die Verwendung der Palette im Seeschiff — obwohl es sich um genormte Kisten handelt — keinen Vorteil für die Flurförderung. Man muß dann die Ware mit der bisher üblichen Stauerplatte aus dem Schiff herausnehmen und auf der Rampe auf Schuppenpaletten sortieren.

Diese an den Anfang gesetzte negative Darstellung soll verständlich machen, daß eine Mechanisierung der Flurförderung im Stückgutumschlag auch mit Hilfe des Gabelstaplers oft auf große Schwierigkeiten stößt, die nicht etwa nur auf der konservativen Haltung der Praktiker beruhen, obwohl diese natürlich auch eine Rolle spielt. Wenn heute an den Hamburger Kaischuppen trotzdem fast durchweg Gabelstapler und gestapelte Stückgüter zu finden sind, dann aus einem

andern Grunde als dem der mechanisierten Flurförderung. Mit Hilfe des Gabelstaplers kann man mit geringem Mehraufwand und ohne zusätzliche Handarbeit Güter stapeln, die man früher nebeneinander abstellen mußte. Der Kaibetrieb kann daher bei Spitzenbelastung in kürzester Zeit Schuppenflächen für nachfolgende Seeschiffe frei machen und dadurch eine bessere Ausnutzung der Schiffsliegeplätze erreichen. Welche Bedeutung diese Möglichkeit allein für den Hafen Hamburg hat, zeigt eine kleine Rechnung. Nutzt man in Verkehrsspitzen die jetzt an den Stückgutschuppen vorhandenen rd. 120 Schiffsliegeplätze mit Hilfe des Gabelstaplers nur um 10% stärker aus, so bringt das einen Gewinn von 12 Liegeplätzen. Bei einem Durchschnittsherstellungspreis für einen Schiffsliegeplatz von 7,0 Millionen DM bringt das eine Erspärnis an Investitionsmitteln von rd. 84 Millionen DM. Die Einführung des Gabelstaplers lohnt also schon und der Erfolg, der darin liegt, hat allgemein überrascht. Natürlich ist diese Rechnung nur ein grober Überschlag, denn man kann auch ohne Gabelstapler die Güter aufstapeln. Da das aber wesentlich unbequemer und teurer ist, unterbleibt es meist, zumal wenn die dafür nötigen Arbeitskräfte fehlen.

Auch im Lagereigeschäft hat sich der Gabelstapler mit wechselndem Erfolg eingeführt, bei einer Firma z. B. mit Verdoppelung der Leistung.

Es bleibt noch kurz das Thema "Durchpalettisieren im Seeverkehr* zu streifen, also die Mitnahme der Paletten durch das Seeschiff. Hier gehen die Ansichten zur Zeit noch sehr stark auseinander. Im Europaverkehr, vor allem bei den Wochendampfern im festen Fahrplan zwischen benachbarten Häfen, wird sich dieser Transport sicher stärker durchsetzen. Am einfachsten und wirksamsten ist natürlich auch hier eine Organisation, bei der ein Betrieb Spedition, Kaiumschlag und Seeschifftransport in einer Hand vereinigt, wie das bei einer dänischen Reederei der Fall ist, die den gesamten Umschlag auf Spezialschiffe ohne Kräne allein mit Gabelstaplern und Paletten durchführt. Dieses Beispiel zeigt die technische Durchführbarkeit und den Weg, den eine Organisation gehen müßte. Mit Rücksicht auf den Rücktransport von Paletten, der auf weiten Strecken kostspielig werden kann, könnte man bei Überseefahrten an die Verwendung von Paletten denken, die nur einmal gebraucht werden, also entsprechend billiger sein müssen. Solche "verlorenen Paletten", mit denen die Ware durch Stahlband oder Draht verbunden wird, sind bereits im Überseeverkehr verwendet worden.

In Hamburg ist die Frage einer Weiterverladung der Schuppenpaletten mit Seeschiff, Eisenbahn oder Kraftwagen bisher nicht akut geworden.

Als ein Mittelding zwischen Flurfördermittel und Hebezeug kann der Straßenkran angesehen werden, der als ein vielseitig verwendbares, bewegliches und wirtschaftliches Umschlaggerät von der Industrie für die Häfen entwickelt wurde. Er kann überall dort eingesetzt werden, wo außerhalb des Bereichs der Kaikräne Kranhilfe gewünscht oder erforderlich wird. Der Einsatz von Straßenkränen hat in Hamburg dazu geführt, daß die selten benutzten landseitigen Wandkräne der Kaischuppen eingespart werden konnten.

4. Behälter- und Trailer-Verkehr

Außer den bereits geschilderten Maßnahmen ist eine wirtschaftlichere Gestaltung des Umschlagvorganges auch durch einen stärkeren Ausbau des Behälter-Verkehrs in seinen verschiedenen Formen durchaus denkbar. Im Übersee-Verkehr des Hafens Hamburg sind zwar Anfänge auf diesem Gebiet gemacht,

doch liegen über neuere Entwicklungsformen vorwiegend Berichte aus dem Ausland vor, die zur Vorbereitung auf künftige Entwicklungen aufmerksam beobachtet werden.

Zur Zeit werden Behälter vor allem für den Transport von wertvollen Gütern und Sammelgut benutzt und haben sich hauptsächlich im europäischen und im Nordatlantikdienst eingeführt. Eine besondere Gesellschaft, die Contrans-Gesellschaft für Überseebehälterverkehr GmbH., hat die Verwendung und Vermietung der Behälter übernommen. Schwierigkeiten haben sich vor allem durch zollbehördliche Vorschriften, durch den großen Raumbedarf des Leerbehälters und durch seine ungenügende Auslastung ergeben, außerdem in der Überwachung der erforderlichen Unterhaltung. Inzwischen haben die deutschen Reeder die besonderen Möglichkeiten zur wirtschaftlicheren Gestaltung des Umschlags, die in einer Ausdehnung des Behälterverkehrs liegen, erkannt und bei ihrem Fachverband, dem Verband Deutscher Reeder, einen Arbeitskreis für Behälterverkehr gegründet, der die technischen, organisatorischen und wirtschaftlichen Fragen des Behälterverkehrs untersuchen und Vorschläge und Anregungen zu seinem weiteren Ausbau erarbeiten soll. Man verspricht sich von einem verstärkten Behältereinsatz vor allem eine Beschleunigung des Umschlags und damit eine Verkürzung der Hafentage.

Eine neue Entwicklung, die unter bestimmten Voraussetzungen große Vorteile bringen kann, bahnt sich in den USA in Form des sogenannten "Trailer" genant) mit Stückgut direkt auf hierfür besonders gebaute Seeschiffe verladen. Der aus Sattelschlepper und Trailer bestehende Lkw-Schleppzug soll unmittelbar in das Schiff fahren, wo dann der Trailer abgehängt und verstaut wird. Aufzüge in den Seeschiffen sollen die Ausnutzung aller Schiffsdecks für die Trailerfracht ermöglichen. Das beabsichtigte System würde in etwa dem der "Seatrain"-Schiffe entsprechen die schon seit mehr als zehn Jahren zwischen New York, den Golfhäfen und Havanna verkehren und beladene Eisenbahnwaggons befördern. Zum Bau eines Spezial-Trailer-Ships ist es nach dem Kriege bisher noch nicht gekommen.

Die Entwicklung ist vielmehr zunächst einen anderen Weg gegangen. Die Pan Atlantik S.S. Corp. in Mobile hat 1955 zwei Tanker von rd. 16 000 tdw gekauft und diese Schiffe für den Transport von ihrem Chassis abnehmbarer Lkw-Anhängerkästen umbauen lassen. Die "Container", so muß man die Anhänger ja nun nennen, werden mit Dübeln auf das entsprechend ausgebaute Deck fest aufgesetzt. Jedes Schiff befördert so 58 Trailer mit je 20 t Gesamtgewicht. In den Transporten zwischen New York und New Orleans bzw. Mobile haben sich die Umschlagkosten sowohl im Verschiffungs- wie Empfangshafen jeweils von 3,50 auf 0,40 \$ pro Tonne gesenkt. Die Umladung geschieht mit 20-t-Kränen. Die Gesellschaft beabsichtigt, 10 weitere Tanker aufzukaufen und für den Stückgutverkehr umzubauen. Interessant ist, daß die gesamte Reederei sich im Besitz einer der großen amerikanischen Lkw-Transportgesellschaften befindet, die sich mit Erfolg eine Verbilligung derartiger Transporte verspricht. Also auch hier sind einige Voraussetzungen gegeben, wie Fehlen von Zollgrenzen, eine durchgehende Organisation, große Entfernungen, die in Europa nicht ohne weiteres gegeben sind.

Weitere Pläne mehr in der zuerst beschriebenen Richtung (Bau von Spezialschiffen mit Aufzügen zur Lkw-Beförderung) bestehen bei anderen amerikanischen Gesellschaften, die auch schon mit europäischen Häfen Fühlung aufgenommen

haben. Hamburg hat einen ähnlichen Verkehr nach 1945 erlebt, der sich aber rein auf den Transport von Militärfahrzeugen der englischen Armee beschränkte. Er ließe sich aber ohne Schwierigkeiten auch auf zivile Transporte anwenden. Interessant war für die Hafenverwaltung, daß Anfragen bei einigen größeren Reedereien völlig gegenteilige Meinungen über die Zukunftsaussichten derartiger Transporte ergaben. Es würde zu weit führen, die Gründe dafür anzugeben.

5. Entlastung der Kaianlagen von umschlagfremden Funktionen

Eine Hochleistungsumschlaganlage für Stückgut wird dann die höchste Leistung erzielen können, wenn sie von allen umschlagfremden Funktionen, die die reibungslose Abwicklung des Umschlaggeschäftes stören könnten, entlastet wird. Aufgabe des Kaischuppens ist es — wie oben bereits ausgeführt wurde — als Sammel- und Ausgleichsbecken sowie als Sortiertisch für die Einund Ausfuhrgüter zu dienen. Ein reibungsloser Umschlag bedingt, daß die Ware nicht über die notwendige Zeit hinaus auf dem Schuppen liegen bleibt. Für Güter, die aus bestimmten Gründen manipuliert, ausgestellt, besichtigt oder umgepackt werden müssen, kommt unter Umständen die Unterbringung in einem besonderen Obergeschoß in Frage. Im übrigen müssen Güter, die aus irgendeinem nicht durch den Umschlag bedingten Grunde länger lagern sollen, vom Schuppen entfernt und in besondere Lagerspeicher verbracht werden. Wenn man zuläßt, daß der Kaischuppen für Lagerzwecke mißbraucht wird, so sinkt seine Leistungsfähigkeit bei steigenden Kosten, d.h. die Wirtschaftlichkeit des Umschlags verringert sich.

In den Eisenbahnanlagen darf das Umschlaggeschäft nicht durch Rangierarbeiten gestört werden; das Sortieren der Waggons nach Ladestellen und Schiffsluken sollte vielmehr in besonderen Gleisgruppen erfolgen, die der Kaianlage vorgelagert sind und am besten in Durchgangsform, wenn das aber aus räumlichen Gründen nicht möglich ist, auch in Kopfform angelegt werden können. In Hamburg ist diese Lösung seit 1945 planmäßig mit gutem Erfolg durchgeführt worden (Bild 5). Waggons, die am Schuppen noch nicht gebraucht werden, müssen außerhalb der Umschlaganlagen abgestellt werden; soweit die bereits erwähnten Bezirksgruppen hierfür ausreichen, können sie für diese Aufgabe mit herangezogen werden; im übrigen müssen aber ausreichende Abstellund Wartegleise an anderen Stellen des Hafens vorgehalten werden. — Bei einer solchen Trennung des Rangier- und Abstellgeschäftes vom eigentlichen Ladegeschäft ist es möglich, das Auswechseln der Waggons an den Ladegleisen in den kurzen Arbeitspausen (Mittag, Schichtwechsel) des Umschlagbetriebes durchzuführen, im übrigen aber während der ganzen Arbeitszeit eine Störung des Umschlaggeschäftes durch Rangierarbeiten zu vermeiden und damit die Wirtschaftlichkeit des Umschlags zu erhöhen.

Ahnliches gilt für die Straßen anlagen. Bei starker Straßenan- und -abfuhr muß eine Verstopfung der Kaistraßen durch parkende Fahrzeuge unter allen Umständen verhindert werden, wenn das Umschlaggeschäft flüssig bleiben soll. Die An- und Abfuhr am Schuppen muß sich jederzeit ungehindert vollziehen können. Nach Beendigung des Ladegeschäftes am Straßenfahrzeug muß der Rampenplatz von diesem sofort geräumt und mit einem neuen Fahrzeug besetzt werden. Für wartende und parkende Fahrzeuge müssen daher außerhalb der Kaianlage ausreichende Parkplätze vorgehalten werden (vgl. Bild 5); von hier aus müssen die An- und Abmeldeformalitäten in den Schuppenbüros erledigt und bei starkem Andrang die Fahrzeuge zu den frei werdenden Ladeplätzen abgerufen werden.

6. Organisatorische Maßnahmen

Ein reibungsloses Zusammenspiel des Umschlagbetriebes mit dem Seeschiff und den drei Binnenverkehrsmitteln (Schiene, Straße, Binnenschiff) erfordert selbstverständlich neben den technischen Einrichtungen eine gut durchdachte Organisation und eine geschickte Menschenführung. Die Schwierigkeiten dieser notwendigen Zusammenarbeit sind groß, ja so groß, daß sie bisher trotz der Bemühungen bedeutender internationaler Organisationen noch nirgendwo restlos überwunden werden konnten. Schlechte Organisation, mangelhafter Nachrichtendienst, soziale Spannungen und bürokratische Hemmungen können aber selbst bei technisch gut gestalteten Anlagen zu einem starken Absinken der Leistung führen.

Aus dem weiten Gebiet organisatorischer Maßnahmen in einem großen Seehafen seien hier nur einige Beispiele angeführt:

- 1. Ein weitgespannter Schiffsmeldedienst muß exakte Angaben über die zu erwartenden Schiffsankunfte so frühzeitig liefern, daß eine wirtschaftliche Disposition der Schiffsliegeplätze und eine rechtzeitige Vorberitung aller der zahlreichen Maßnahmen möglich ist, die zum Verbringen des Schiffs an den Liegeplätz und zur Vorbereitung des Löschens erforderlich sind.
- 2. Zur raschen und reibungslosen Abfertigung des Seeschiffes ist es wichtig, daß der Ort und die Form der Zollkontrolle so gewählt wird, daß das Umschlaggeschäft weder aufgehalten noch behindert wird. Am vollkommensten wird dieses Ziel erreicht, wenn die Stückgutanlage in einem Freihafen liegt, da dann die Zollabfertigung erst während des Abtransportes der Ware ins Binnenland beim Passieren der Freihafengrenze erfolgt, das Umschlaggeschäft selbst also von Zollformalitäten völlig unberührt bleibt.
- 3. Zur rationellen Betriebsführung auf den Schuppen wäre es sehr erwünscht, auch im Binnenverkehr über den voraussichtlichen Ladungsanfall schon am Vortage unterrichtet zu sein. Das bedingt aber eine Vormeldung, die sich bei der Eisenbahn und der Binnenschiffallrt verhältnismäßig leicht organisieren läßt, während sich der Lastkraftwagen einer solchen Regelung vorerst noch völlig entzieht.
- 4. Da der Arbeitsanfall im Hafen je nach den Schiffsankünften und den Witterungsverhältnissen großen Schwankungen unterliegt, ist eine elastische Arbeitseinsatzorganisation erforderlich, die die jeweils benötigten Arbeitskräfte rasch zur Verfügung stellen kann. Zur Vermeidung sozialer Spannungen muß dabei durch Schaffung einer Ausgleichskasse dafür gesorgt werden, daß auch zeitweise unbeschäftigt bleibende Hafenarbeiter eine Lohngarantie erhalten.
- 5. Daß in dem so wechselvollen und vielseitigen Geschehen eines großen Seehafenumschlagbetriebes mehr noch als in der Industrie ein qualitativ hochwertiges Personal in den Schlüsselpositionen und eine gut geschulte, ihres Wertes bewußte, sozial gesicherte und zufriedene Arbeiterschaft von entscheidendem Einfluß auf die Wirtschaftlichkeit des Umschlages ist, sei nur der Vollständigkeit halber noch erwähnt.

Schlußbemerkung

Auch der Zustand und die Leistungsfähigkeit der Verkehrsanlagen außerhalb des eigentlichen Stückgutkais ist — insbesondere in Zeiten des Spitzenverkehrs — nicht ohne Einfluß auf die Leistungsfähigkeit und Wirtschaftlichkeit des Um-

schlags. So führt ein gleichmäßiges Heranführen der Seeschiffe auch bei unsichtigem Wetter, z.B. mit Hilfe einer Kette von Landradarstationen durch Vermeidung von Verkehrsballungen und Wartezeiten zu einer Verkürzung der Hafenliegezeiten und einer Verbesserung der Wirtschaftlichkeit des Umschlagbetriebes. So sichern ausreichende Hafenbahnhöfe und daran anschließende leistungsfähige Rangierbahnhöfe und Abfuhrstrecken eine flüssige Zu- und Abfuhr auf der Schiene; das gleiche gilt für das Netz der Hafen-, Stadt- und Landstraßen bis zu dem Netz der Fernstraßen und Autobahnen. Auch die Binnenund Hafenschiffahrt braucht neben guten Binnenwasserstraßen auch im Hafen Liegeplätze für Wartezeiten oder als schwimmende Läger, die so zu den Seeschiffsliegeplätzen und Umschlaganlagen liegen müssen, daß eine störungsfreie An- und Abfahrt gesichert ist. Endlich braucht auch das Seeschiff neben genügend tiefen und sicheren Zufahrten von See her auch Werften und Ausrüstungsanlagen zur Vermeidung unwirtschaftlicher Leerfahrten. Erst aus dem richtigen Zusammenspiel aller dieser vielfältigen Einzelanlagen und der vernünftigen Organisation der Einzeltätigkeiten der verschiedenen Arbeitsgruppen, also der beteiligten Menschen ergibt sich das wirtschaftlich beste Ergebnis.

Dabei muß nochmals betont werden, daß eine Übertragung der Erfahrungen eines Hafens auf andere immer nur bedingt möglich ist, da Verkehrsstruktur und örtliche Gegebenheiten wohl nur selten die gleichen sein werden. Da die Wirtschaftlichkeit des Umschlags — wie oben ausgeführt — entscheidend von der baulichen Gestaltung der Anlagen abhängt, da die Hafenbauten teuer sind und da falsche Bauten auf Generationen nicht geändert werden können, ist es erforderlich, vor jeder Neuplanung gründliche verkehrliche und technische Untersuchungen über die Struktur des Hafenumschlags und seine wirtschaftliche Durchführung anzustellen. Die gegenwärtige Situation in der Weltschiffahrt macht die Mechanisierung und Rationalisierung des Umschlags zu einer besonders dringenden Aufgaben:

- a) um die Umlaufzeiten der Schiffe zu verkürzen,
- b) um durch Kosteneinsparung die Verbraucherpreise zu senken,
- c) um Arbeitskräfte zu sparen.

Abteilung II — Seeschiffahrt

Frage 2

Anlagen zum Empfang großer Tanker. — Handhabung ihrer Ladungen. — Rohrleitungssystem und Schlauchausrüstung für das Be- und Entladen der Tanker. — Einrichtungen für die Weiterverteilung auf Straße, Schiene und kleinere Schiffe. — Sicherheitsmaßnahmen. — Maßnahmen, um der Verschmutzung der Hafengewässer vorzubeugen oder sie zu verringern. — Einrichtungen zum Entgasen und Säubern des Innenraumes der Tanker.

Von Dr.-Ing. Heinrich Ebeling, Hamburg,

Dr.-Ing. Karl-Eduard Naumann, Baudirektor bei der Behörde für Wirtschaft und Verkehr, Strom- und Hafenbau, Hamburg,

Erich Stehr, Baurat bei der Behörde für Wirtschaft und Verkehr, Strom- und Hafenbau, Hamburg.

Thema: "Rohrleitungssystem und Schlauchausrüstung für das Be- und Entladen der Tanker. — Einrichtungen für die Weiterverteilung auf Straße, Schiene und kleinere Schiffe. — Sicherheitsmaßnahmen beim Mineralölumschlag sowie beim Entgasen und Reinigen von Tankschiffen. — Maßnahmen, um der Verschmutzung der Hafengewässer durch die Schiffahrt vorzubeugen oder sie zu verringern."

Zusammenfassung:

1. Rohrleitungssystem und Schlauchausrüstung für das Be- und Entladen der Tanker

Der Pumpenraum der Oltanker befindet sich in den meisten Fällen unmittelbar vor dem Hauptmaschinenzaum, von dem er durch ein gasdichtes Schott getrennt ist. Gelegentlich werden die Pumpen auch in einem mittschiffs angeordneten Pumpenraum angeordnet. Wegen der größeren Sicherheit gegen Feuer- und Explosionsgefahr werden meistens dampfgetriebene Pumpen eingebaut; bei elektrisch betriebenen Pumpen sind die Motoren vom Pumpenraum getrennt in einem gasdichten Raum aufzustellen.

Wegen der großen Fördermengen, die in kurzer Zeit zu löschen sind, werden als Förderpumpen fast ausschließlich Kreiselpumpen eingebaut, die so tief wie möglich anzuzuordnen sind. Als Restölpumpen dienen selbstansaugende Kolben- oder Rotationsverdrägerpumpen, die gegebenenfalls auch dickflüssige Rückstände fördern müssen.

Die Schlauchanschlüsse für Übergabe und Abnahme von Ol befinden sich auf beiden Seiten des freien Decks. Meistens werden auch Anschlüsse vorgesehen, um eine Be- und Entladung über das Heck durchführen zu können. Für den gleichzeitigen Transport verschiedener Olsorten werden mehrere Übernahme- und Abgabeanschlüsse vorgesehen Allgemein ist die Schaltung des Olleitungssystems so angeordnet, daß die Pumpen aus jeden Tank saugen und in jeden Tank drücken können. Die für das Laden und Löschen vorgesehene Ringladeleitung wird nach Möglichkeit in einer Ebene mit etwas Neigung zu den Pumpenräumen hin über dem Schiffsboden verlegt.

Bei der Erprobung korrosionsbeständiger Rohrleitungsbaustoffe hat sich ergeben, daß Grauguß in besonderem Maße geeignet ist, die Korrosionsbeanspruchungen zu ertragen.

Angesichts des ständig wachsenden Olbedarfs treten die früheren Standardtypen der Oltanker mit einer Tragfähigkeit von 12 bis 18 000 t immer mehr in den Hintergrund; an ihrer Stelle wurden moderne Großtanker entwickelt, die mit ihrem erhöhten Fassungsvermögen bei höherer Geschwindigkeit auch höhere Wirtschaftlichkeit im Betrieb aufweisen. Es wurde daher ein Turbinen-Tankertyp entwickelt, der alle Vorteile des Supertankens aufweist, dabei aber einschränkungslos überall eingesetzt werden kann.

Für die Übernahme der Schlauchleitungen sind die Tanker mit Ladebäumen ausgestattet; außerdem haben die Löschbrücken im allgemeinen neben den Meßeinrichtungen

auch einen Derrick. Das Ol ist durch dichte Schlauchleitungen, die durch feste Verschraubungen mit den Olleitungen der Tanker verbunden sind, überzupumpen. Bei der Verwendung von Elektromotoren, die von einer Stelle außerhalb des Olltankers mit Strom versorgt werden, muß das Verbindungskabel stets auf der Tankerseite zuerst angekuppelt werden. Beim Entkuppeln ist stets zuerst die Verbindung mit der Stromquelle zu lösen.

2. Einrichtung für die Weiterverteilung auf Straße, Schiene und kleinere Schiffe

Die Einrichtungen der Olhäfen für die Weiterverteilung der zum Umschlag kommenden Produkte auf Straße, Schiene und kleinere Schiffe bestehen neben den Tankanlagen aus Olleitungen, Pumpenanlagen, Heizstationen, den erforderlichen Verladeanlagen nebst sonstigen Hilfseinrichtungen.

Der Ollagerung dienen vorwiegend zylindrische Tanke aus Stahlblech in oberindischer oder unterirdischer Anordnung. Die Vorteile der Untergrundlagerung großer Olmengen werden durch hohe Investitionskosten bei größerem Zeitbedarf für den Bau solcher Anlagen aufgehoben, so daß Oltanke mit ebenem oder schrägem Boden, zylindrischem Mantel und kugeligem Dach mit freitragendem Gespärre bevorzugt werden. Der geschweißte Oltank ist um 10 bis 15 % billiger herzustellen als der genietete Tank, der nur noch dort Verwendung findet, wo das Bedürfnis besteht, ihn öftens umzusetzen. Erhebliche Vorteile weisen die neuerdings gebauten Schwimmdachtanke auf.

Die Verbindung zwischen Oltanken und den zugehörigen Bauwerken sowie die Verbindungen von und zu den Olhafen- und Raffinerieanlagen werden durch Olleitungen hergestellt. Bei schwer viskosen Olen erfordert die Erzielung wirtschaftlicher Pumpenleistungen eine Aufheizung des Oles. Die Frage, ob der Transport hochviskoser Ole durch erdverlegte oder durch isolierte Leitungen über Tage wirtschaftlicher ist, kann nicht eindeutig beantwortet werden. Es ist daher für jeden Einzelfall unter Berücksichtigung aller vorhandenen Umstände zu untersuchen, welches die günstigste Lösung ist. Bei erdverlegten Leitungen ist meistens eine Aufheizung an der Eingangsstelle nötig.

Die Erwärmung des Oles erfolgt durch Vorwärmer, Heizhauben oder durch Heizstationen. Wenn vor Beginn des Pumpvorganges eine Olstapelung erforderlich ist, erfolgt die Erwärmung durch Heizschlangen oder Heizhauben, die in den Tanken angeordnet sind. Wenn bei größeren Förderstrecken eine Endtempenatur von 30° bis 35° nicht gehalten werden kann, muß die Olaufheizung erhöht oder es müssen Zwischenheizstationen vorgesehen werden.

Während bei erdverlegten Olleitungen oft auf eine Wärmeisolierung verzichtet werden kann, ist bei oberindisch verlegten Leitungen eine Isolierung wichtig. Diese kann durch Glasmatten oder Sillan-Schalen enfolgen; letztere haben sich besonder gut bewährt, zumal sie einfache Montage und Demontage sowie leichte Begehbarkeit der Olleitungen gestatten.

Der Reinigung der Olleitungen von Ansätzen und Ablagerungen dienen Reinigungsmolche; der Trennung verschiedener Flüssigkeitssäulen bzw. verschiedener Olsorten sog. Trennmolche. Die Entleerung der Leitungen erfolgt durch Preßluft, für die ein Kompressor vorhanden sein muß.

Die beim Oltransport durch Leitungen dominierende Pumpe ist die Kolbenpumpe, gelegentlich kommen auch Kreiselpumpen mit steiler Charakteristik zur Verwendung. Letztere ist dort unzweckmäßig, wo Rohöle verschiedener Provenienz mit unterschiedlicher Viskosität zu verpumpen sind. Insbesondere werden Olpreßpumpen und Zahnradpumpen neuerdings bevorzugt. Der Antrieb der Pumpen erfolgt durch Dampfkraftanlagen oder Elektromotoren explosionsgeschützter Bauart.

Sicherheitsmaßnahmen beim Mineralölumschlag sowie beim Entgasen und Reinigen von Tankschiffen

Hamburg, der wichtigste Umschlaghafen Deutschlands für Mineralöle (rund 72 Prozent des westdeutschen seewärtigen Mineralölumschlags), bereitet den Erlaß neuer Sicherheitsvorschriften für den Umschlag von Mineralölen vor. Der materiell fertiggestellte Verordnungsentwurf sieht folgende Vorschriften vor:

K 1- und K 2-Stoffe dürfen nur in besonderen Tankschiffhäfen umgeschlagen werden, denen jeder anderweitige Schiffsverkehr ferngehalten wird. Tankschiffe dürfen mit dem Umschlag erst beginnen, nachdem eine Untersuchungskommission die entsprechenden Bordeinrichtungen geprüft hat. Schiffen, die den Hafen Hamburg häufiger anlaufen, wird die Zulassung für einen längeren Zeitraum erteilt. Die Kommission besteht aus

Vertretern der Sicherheitsbehörden und der Handelskammer. Für die Schläuche sind technische Sicherheitsbestimmungen vorgesehen, ebenso für die Ant der Henstellung der Verbindungen zwischen Schiff und Land. Verbindungen dürfen nur von sachkundigen und erfahrenen Personen hergestellt und müssen von verantwortlich leitenden Personen überprüft werden, bevor mit dem Umschlag begonnen wird. Während des Umschlags muß eine Schlauchwache ständig die Schlauchverbindungen beobachten und sofort Alarm geben, wenn sich Gefahren ankündigen.

Die Förderleistung der Pumpen muß dem freien Querschnitt der Druckausgleichsöffnungen angepaßt sein, so daß im Schiff weder Unter- noch Überdruck entsteht. Das zusätzliche Offnen ungesicherter Luken ist strikt verboten; auch müssen alle notwendigen Offnungen der Schiffstanke mit Flammendurchschlagsicherungen versehen sein. Die Verordnung enthält noch weitere Sicherheitsvorschriften.

Ein Tankschiff, das zuletzt K 1- oder K 2-Stoffe geladen hatte, muß gasfrei gemacht werden, bevor es in eine Werft verlegt wird, Reparaturen ausführt oder eingedockt wird. Nach dem Gasfreimachen muß ein behöndlich zugelassener vereidigter Sachverständiger ein "Gasfreiheitszeugnis" ausstellen, das in der Regel alle 24 Stunden zu erneuern ist, solange die Reparaturarbeiten andauern.

Solche Sachverständige werden von der Arbeitsschutzbehörde nach besonderen Vorschriften zugelassen. Der Sachverständige muß die Untersuchungen selbst durchführen und darf Hilfskräfte nur für untergeordnete Arbeiten verwenden, die im Zusammenhang mit der Untersuchung anfallen. Weitere Vorschriften regeln die Registrierung der Gasfreiheitszeugnisse und die Aufbewahrung der darüber geführten Arbeitsbücher.

Für Schiffe, die K 3-Stoffe umschlagen, gelten Erleichterungen. Der Umschlag solcher Stoffe ist nicht an die Tankschiffhäfen gebunden, jedoch sind auch hierbei Schlauchwachen und andere Sicherheitsmaßnahmen vorgeschrieben. Bei Reparaturarbeiten von Tankschiffen, die zuletzt K 3-Stoffe geladen hatten, braucht nur ein einmaliges Gasfreiheitszeugnis beigebracht zu werden.

Maßnahmen, um der Verschmutzung der Hafengewässer vorzubeugen oder sie zu verringern.

Einer Verschmutzung der Hafengewässer läßt sich nur dann erfolgreich entgegentreten, wenn zwei grundlegende Vonaussetzungen erfüllt sind:

- 1. Eine eindeutige Rechtsgrundlage muß klarstellen, was verboten ist, was mit Schmutzstoffen zu geschehen hat und muß ermöglichen, schnell und wirksam gegen Verunreiniger vorzugehen, notfalls mit empfindlichen Strafen.
- 2. Eine gute technische Einrichtung muß die Abnahme, den Transport und die schadlose Vernichtung der Abfallstoffe zu wirtschaftlich tragbaren Bedingungen gewährleisten. Zu hohe Abgabekosten stellen jeden Erfolg in Frage, eine kostenlose Abgabe muß andererseits vermieden werden, um die Mengen möglichst klein zu halten.

Im Jahre 1954 nahm Hamburg in sein neu gefaßtes Hafengesetz den modernen Verhältnissen angepaßte Reinhalte-Bestimmungen auf. Sie sehen u. a. Geldbußen bis 10 000,— DM vor, die von der Gewässeraufsichtsbehörde unmittelbar verhängt werden können. Das ist erfonderlich, weil ein Gerichtsvenfahren bei der schnell beweglichen internationalen Schiffahrt zu schwenfällig ist. Eine nachträgliche gerichtliche Entscheidung kann selbstverständlich herbeigeführt werden. Die Behörde ist bestrebt, jeden Fall individuell zu behandeln und wirkt dauernd aufklärend durch Rundschreiben und Veröffentlichungen. Erfolge sind bereits zu erkennen.

Von 1952 bis 1954 wurden im Hamburger Hafen acht Erdbecken von je 3000 m³ Inhalt für mineralische und tierisch-pflanzliche Olrückstände eingerichtet. Eine Aufarbeitung bzw. Vernichtung der Rückstände mißlang zunächst. Seit 1955 ist eine Spezialfirma vertraglich verpflichtet, alle pumpfähigen Mineralölrückstände abzunehmen. Entscheidend ist, daß durch sie das Aufarbeitungsproblem gelöst ist, andernfalls muß jede Auffanganlage "ersticken". Bereits in den ersten zehn Monaten wurden 70 000 t Tankwaschwässer abgenommen. Die Abgabekosten werden durch staatliche Subventionen verbilligt. In jüngster Zeit wurde auch ein Verfahren zur Aufarbeitung von tierisch-pflanzlichen Ol-Wasser-Gemischen erarbeitet. Das Problem der Bilgenwässer der Hafenfahrzeuge bleibt ungelöst, solange nicht billige Kleinseparatoren greifbar und gesetzlich vorgeschrieben sind.

Neben ölhaltigen Flüssigkeiten dürfen die festen Abfälle nicht übersehen werden, wie da sind Reinigungsrückstände aus den Laderäumen, Verpackungsmaterial, Werftabfälle, Schlamm aus den Heizöltanks, seuchenhygienisch beanstandete Waren usw. Bisher wurden sie in Hamburg durch Private abgefahren und auf Land gelagert. Z. Z. wird dafür eine Art Müllverbrennung entwickelt.

		Seite
Gliederung:	l. Rohrleitungssystem und Schlauchausrüstung für das Be- und Entlanden der Tanker	185
	2. Einrichtungen für die Weiterverteilung auf Straße, Schiene und kleinere Schiffe	192
	3. Sicherheitsmaßnahmen beim Mineralölumschlag sowie beim Entgasen und Reinigen von Tankschiffen	206
	3.1 Vorschriften für den Mineralölumschlag	207
	3.2 Vorschriften für das Entgasen und Reinigen von Tank- schiffen	211
	4. Maßnahmen, um der Verschmutzung der Hafengewässer durch die Schiffahrt vorzubeugen oder sie zu verringern	213

1. Rohrleitungssystem und Schlauchausrüstung für das Be- und Entladen der Tanker

Während das Beladen der Oltanker im allgemeinen durch Pumpenanlagen von Land aus erfolgt, wird das Löschen der Ladung durch Ladeölpumpen des Tankers selbst besorgt, die in besonderen Pumpenräumen aufgestellt werden. In den meisten Fällen befindet sich der Pumpenraum unmittelbar vor dem Hauptmaschinenraum, von dem er durch ein gasdichtes Schott getrennt ist. Wegen der kürzeren Saugeleitungen werden die Pumpen gelegentlich auch in einem mittschiffs gelegenen Pumpenraum untergebracht. Große Tanker besitzen zuweilen zwei Pumpenräume. Wegen der größeren Sicherheit gegen Feuer- und Explosionsgefahren werden in den meisten Fällen dampfgetriebene Pumpen eingebaut. Sollen elektrisch betriebene Pumpen zur Aufstellung gelangen, so müssen die Motoren vom Pumpenraum getrennt in einem besonderen gasdichten Raum aufgestellt werden, da der Einbau von Elektromotoren im Pumpenraum wegen der damit verbundenen Gefahren als unzulässig anzusehen ist. Die gasdichte Durchführung der Antriebswellen durch das den Pumpenraum vom Motorenraum trennende Schott oder durch das Maschinenraumschott erfolgt in der Regel unter Verwendung von Stopfbuchsen.

Neben dem Löschen der Ladung dienen die Hauptladeölpumpen zum Umpumpen des Ladeöles. Ist zum Füllen oder Entleeren der Ladeöltanke mit Ballastwasser keine besondere Ballastpumpe vorgesehen, so wird diese Aufgabe ebenfalls von den Ladeölpumpen übernommen.

Wegen der großen Fördermengen, die in möglichst kurzer Zeit (etwa 12 Stunden) zu löschen sind, werden auf modernen Oltankern fast ausschließlich Kreiselpumpen eingebaut. Die Höhe der stündlichen Fördermenge richtet sich naturgemäß nach dem Fassungsvermögen des Tankers. Damit ein guter Zulauf zu den Pumpen gesichert ist, sollen diese so tief wie möglich angeordnet werden. Zum Entleeren der Restmengen dienen als Restölpumpen selbstansaugende Kolben- oder Rotationsverdrängerpumpen, die geeignet sein müssen, gegebenenfalls auch dickflüssige Olreste zu fördern.

Die Schlauchanschlüsse für die Übernahme und Abgabe nach beiden Tankerseiten befinden sich auf dem freien Deck. In den meisten Fällen werden auch Anschlüsse vorgesehen, um eine Be- und Entladung über das Heck durchführen zu können. Für den gleichzeitigen Transport verschiedener Olsorten werden mehrere Übernahme- und Abgabeanschlüsse vorgesehen. Hinter den Schlauchanschlüssen liegen Siebkästen in den Übernahmeleitungen.

Allgemein ist die Schaltung eines Leitungssystems derart angeordnet, daß die Pumpen aus jedem Tank saugen, bzw. in jeden Tank drücken können. Die für das Übernehmen und Löschen der Olladungen vorgesehene Ringladeleitung wird nach Möglichkeit in einer Ebene mit etwas Neigung zu den Pumpenräumen hin über dem Schiffsboden verlegt.

Gegenüber den Oltankern weisen die Rohrleitungssysteme solcher Spezialtanker Besonderheiten auf, die dem Transport von Chemikalien dienen. Wenn ihre Ladeleitungen innerhalb des Schiffes zum Pumpenraum geführt werden müssen, ist darauf zu achten, daß keine Verunreinigung der einzelnen Stoffe durch Leckagen möglich ist. Daher werden die Ladeleitungen von Schiffen, bei denen ausschließlich die Mitteltanke für den Transport chemischer Erzeugnisse vorgesehen sind, nicht direkt durch die übrigen Mitteltanke, die gegebenenfalls mit anderen Produkten gefüllt sind, hindurchgeführt. Sie werden vielmehr zunächst durch die Längsschotte verlegt und dann in den Seitentanken, die entweder beim Transport von schweren Stoffen leer gefahren werden oder mit Ol gefüllt sind, oder in den Kofferdämmen zum Pumpenraum geführt. Um eine Durchführung der Leitungen durch andere Tanke zu vermeiden, gelangen auch Tiefbrunnenpumpen zur Verwendung, deren Antriebsmotor an Deck angeordnet ist. Hier sind auch ausreichende Anschlüsse für die Übernahme und das Löschen der Ladungen vorzusehen.

Der ständig anwachsende Bedarf an Transportraum für verflüssigte Gase, wie Butan und Propan, hat gleichfalls zur Entwicklung von Spezialtankern geführt. Da bei der Anordnung der Gastanke die vertikale Aufstellung bevorzugt wird, ragen die Tanke selbst oder ihr Halsstück bzw. ein aufgesetzter Dom aus dem Oberdeck heraus, so daß die Rohranschlüsse auf dem Deck zweckmäßig angebracht werden können. Da die Gase schwerer als Luft sind und sich daher bei Leckagen der Rohrleitungen unten im Schiffsraum sammeln, ist es notwendig, daß die Leerräume um die Tanke ausreichend belüftet werden. Im übrigen sind alle Tanke an eine Entlüftungsleitung angeschlossen, die in der bei Oltankern üblichen Weise an den Masten hochgeführt wird.

Im allgemeinen erfolgt das Be- und Entladen solcher Gastanker mit Hilfe des eigenen Gasdruckes. Das verflüssigte Gas wird durch den Druck der eigenen Gasdämpfe in die leeren Tanke übergeschleust, wobei man neuerdings die Lagertanke an Land auch mit einer Tankheizung versieht, um beim Überfluten des Gases den erforderlichen Überdruck im zu entleerenden Behälter zu erzielen. Die Gasdämpfe werden nach der Füllung der Tanke an Bord wieder in die Vorratstanke an Land zurückgeleitet. Um beim Laden und Löschen möglichst unabhängig von entsprechenden Anlagen an Land zu sein, verwendet man auch Pumpen, mit denen man das flüssige Gas aus den Tanken herauspumpt. Neben den Ladepumpen, die wie alle Rohrleitungen ebenfalls an Deck angeordnet sind, sind noch ausreichende Dampfkompressoren vorzusehen, mit deren Hilfe die nach der Entladung der Flüssigkeit durch die Pumpen verbleibenden Restgasmengen aus den Gastanken herausgedrückt werden können.

Der wechselweise erfolgende Transport von Rohöl, Benzin und Seewasser — letzteres als Ballast — stellt im Oltankerbau an die Korrosionsbeständigkeit der verwendeten Werkstoffe erhebliche Anforderungen. Besonders die im Tank eingebauten Lade- und sonstigen Olleitungen werden einer starken Korrosionsbeanspruchung ausgesetzt. Es war daher früher notwendig, diese Rohrleitungen in Abständen von jeweils zwei Jahren auszuwechseln, so daß während der Lebenszeit der Tanke eine mehrmalige Erneuerung der Rohre vorgenommen werden mußte. Bei der Erprobung korrosionsbeständiger Rohrleitungsbauwerkstoffe hat sich im Verlauf der letzten Jahrzehnte erwiesen, daß Grauguß in besonderem Maße geeignet ist, die vorhandenen Korrosionsbeanspruchungen zu ertragen. Gußeisen neigt dazu, bei auftretenden Korrosionsangriffen nicht lochfraßähnliche örtliche Perforierungen auszubilden, sondern es findet eine flächige Abtragung der Gesamtoberfläche statt. Die größere Wanddicke des gegossenen Rohres verbürgt selbst bei gleicher Werkstoffabtragung gegenüber anderen Werkstoffen an sich schon eine höhere Lebensdauer. So haben auch gußeiserne Olleitungen in den Tankräumen nicht nur die Lebensdauer der Tankbauelemente erreicht, sondern sie konnten in vielen Fällen nach Einbau neuer Tankwände wieder verwendet werden. Die Rohre werden in gerader Linie durch die Schotten hindurchgelegt und mit besonderen Formstücken an den Schottendurchführungen befestigt. Der Kompensation der Ausdehnung dienen gußeiserne Stopfbüchsen.

Um die Schwierigkeiten, die bei der Montage von Gußrohren auftreten, und um die höheren Kosten herabzumindern, benutzt man für die geraden Längen auch Stahlrohre und führt lediglich die Krümmer und sonstigen Armaturen in Guß aus. Die Stahlrohre werden dann wegen der Anfressungen, die besonders im unteren Teile der Rohre auftreten, von Zeit zu Zeit gedreht.

Angesichts des ständig anwachsenden Olbedarfes treten die früheren Standardtypen der Oltanker mit einer Tragfähigkeit von 12 000 bis 18 000 t Tragfähigkeit immer mehr in den Hintergrund und an ihrer Stelle wurden moderne Großtanker entwickelt, die mit ihrem erhöhten Fassungsvermögen bei höherer Geschwindigkeit auch zugleich eine höhere Wirtschaftlichkeit im Betriebe aufweisen. Die größten dieser Supertanker weisen so große Abmessungen auf, daß sie nur wenige Häfen der Welt anlaufen können, so daß ihr Einsatz auf spezielle Routen beschränkt ist. Die ESSO entwickelte daher einen Turbinentankertyp, der alle Vorteile des Supertankers aufweist, dabei aber ohne Einschränkungen überall eingesetzt werden kann.

Die Lade- und Löscheinrichtungen sind entscheidend für die Liegezeit im Hafen, die hinsichtlich der Wirtschaftlichkeit eines Oltankers von erheblicher Bedeutung ist. Sämtliche Ladetanke sind bei diesem Tankertyp durch 4 Rohrleitungssysteme, die oberhalb der Bodenkonstruktion des Tankers verlaufen, mit den Pumpenräumen verbunden. Der lichte Durchmesser dieser aus dickwandigen Stahlrohren bestehenden Leitungen beträgt 350 mm. In den Schotten sind Durchgangsstutzen eingeschweißt, mit denen die Rohre durch Flanschen verbunden sind. Im hinteren Pumpenraum sind 4 Ladepumpen mit einer Leistung von je 960 m³/h aufgestellt. Diese werden durch Turbinen angetrieben, die im Maschinenraum angeordnet sind und deren Wellen durch das Schott in den Pumpenraum bis zu den Pumpen geführt sind. Durch die von Deck aus über Gestänge bedienten Verbindungsschieber können die Tanke wahlweise mit den einzelnen Pumpen verbunden werden. Von diesen führen wiederum getrennte Rohrleitungen an Deck, wo hinter dem Mittschiffsaufbau die Übernahmebzw. Abgabestationen, und zwar auf der Backbord- sowohl wie auch auf der Steuerbordseite angeordnet sind. Mit diesen Ladeölpumpen kann die Tankerladung in 10 bis 12 Stunden gelöscht werden. Die Restmengen werden durch 2 Stripping-Pumpen, die im hinteren Pumpenraum aufgestellt sind, und eine Leistung von je 160 m³/h haben, über ein getrenntes Leitungssystem entfernt. Für dickflüssige Ole sind außerdem in den Tanken zwischen den Boden-Längsspanten Heizschlangen aus besonders starken nahtlosen Stahlrohren angeordnet. Die größte Gefahr tritt beim Füllen der Ladetanke auf, wenn das einströmende Ol das Gas-Luft-Gemisch herausdrückt. Daher sind sämtliche Tanke an besondere Entgasungsleitungen angeschlossen, die von jeder Tankluke über ein Be- und Entlüftungsventil in Sammelleitungen führen, die an den Ladepfosten hochgeführt sind, so daß das Gasgemisch erst in 14,00 m Höhe über Deck austritt, wo es vom Luftzug besser weggeführt wird.

Der Tanker "Tina Onassis" nimmt seine Olladungen in 9 Mitteltanken und 9 Seitentanken auf, während die übrigen Mittel- und Seitentanke der Aufnahme von Heizöl sowie als Ballasttanke dienen.

Im Hauptpumpenraum, der im Achterschiff an die letzten Ladeöltanke anschließt, sind 4 Ladeölpumpen und eine Ballastpumpe untergebracht, deren Antrieb durch Dampfturbinen erfolgt, die im Hilfsmaschinenraum aufgestellt sind. Bei diesen Pumpen handelt es sich um horizontale, einstufige Kreiselpumpen mit einer Förderleistung von 1000 m³/h bei 92,00 m Förderhöhe und 1600 U/min.

Ladeölsystem und Ballastsystem sind voneinander getrennt. Das Ladeölsaugsystem besteht aus 4 Hauptleitungen von je 350 mm Durchmesser, von denen je 2 auf der Backbord- und auf der Steuerbordseite liegen und Abzweigungen von 250 mm Durchmesser zu den einzelnen Saugstellen führen. Die Hauptballastleitung verläuft auf der Steuerbordseite. Die Pumpen sind durch ihre Hauptsaugeleitungen direkt mit ihren zugeordneten Tanken verbunden. Außerdem können die Ladeölpumpen durch eine Verbindungsleitung der Saugeleitungen im Pumpenraum aus jedem Tank einer anderen Gruppe sowie durch eine Seewasserleitung aus See saugen. Die Hauptsaugeleitungen haben in den Tanken Verbindung untereinander, die durch je 2 Schieber absperrbar sind, so daß auf diesem Wege aus 2 Tanken einer Tankgruppe mit 2 Pumpen getrennt gesaugt werden kann.

Durch eine Verbindungsleitung der Druckleitungen im Pumpenraum sowie durch Verbindungen zwischen Druck- und Saugeleitungen kann weiterhin OI von einem Tank nach jedem anderen Tank einer anderen umgepumpt werden. Die Hauptdruckleitungen führen auf das Deck bis zu den hinter dem Mittelschiffsaufbau liegenden 5 Übergabequerleitungen, die an ihren Steuerbord- und Backbordenden Absperrschieber und abnehmbare Zwillingsübergabestutzen haben. Von den 5 Decksdruckleitungen führen durch Eckventile absperrbare, direkte Fülleitungen hinunter zu den zugehörigen Hauptsaugeleitungen in den Oltanken. Das Ladeölsystem ermöglicht das gleichzeitige Laden mehrerer Olsorten.

Für das Nachlenzen sind im Hauptpumpenraum 4 vertikale Duplex-Dampfkolbenpumpen mit einer Förderleistung von 120 m³/h bei 95,00 m Förderhöhe und 40 Doppelhüben in der Minute aufgestellt. Die Nachlenzpumpen saugen über eine gemeinsame Leitung aus der Hauptnachlenzleitung und aus der Vorsaugeleitung für die Ladeölpumpen sowie mit Einzelleitungen aus den Ladeölsaugeleitungen. Eine der Nachlenzpumpen ist außerdem zum Lenzen von Pumpenraum und Kofferdamm vorgesehen.

Von der Hauptnachlenzleitung, die von einem Mitteltank aus auf der Backbordseite zum hinteren Pumpenraum verläuft, führen Abzweigungen zu den Saugstellen in den Ladeöltanken. Da gewisse Seitentanke auch für die Aufnahme von Heizöl vorgesehen sind — das Füllen erfolgt über entsprechende Abzweigungen der Heizöldecksleitungen — kann eine der Nachlenzpumpen über eine durch Wechselkrümmer herstellbare Verbindung aus diesen Tanken saugen und in die Heizöl-Decksumpumpleitung drücken. Die Nachlenzpumpen können über eine gemeinsame Verbindungsleitung in die Ladeöldruckleitungen sowie in die Nachlenzdecksleitung drücken, die in einer Übergabequerleitung endigt. Das in den Ladeöltanken anfallende Schmutzöl wird von den Nachlenzpumpen herausgeholt und über eine von der Sammel-Nachlenzdruckleitung abzweigende Rohrleitung in gewisse Seitentanke gedrückt, von wo es an geeigneter Stelle über Bord gegeben wird.

Im Hauptpumpenraum des Oltankers "World Grandeur", der an die Ladeöltanke anschließt, sind die von im Maschinenraum untergebrachten Dampfturbinen angetriebenen 5 Ladeölpumpen angeordnet. Es handelt sich bei diesen um horizontale, einstufige Kreiselpumpen mit einer Förderleistung von 1000 m³/h bei 92 m Förderhöhe und 1600 Umdrehungen in der Minute. Das Ladeölsaugesystem besteht aus 5 Hauptleitungen, von denen 2 auf der Backbord- und 3 auf der Steuerbordseite der Mitteltanke liegen. Die Leitungen sind aus starkwandigem Stahlrohr hergestellt.

Die Ladeölpumpen können über eine Verbindungsleitung der Saugeleitungen im Pumpenraum aus jedem Tank irgendeiner Gruppe sowie über eine Seeleitung aus See saugen.

Durch eine Verbindungsleitung der Druckleitungen im Pumpenraum und durch Verbindungen zwischen Druck- und Saugeleitungen kann Ol von einem beliebigen Tank nach jedem anderen Tank umgepumpt werden. Die Hauptdruckleitungen laufen vom Pumpenraum über das Deck bis zu den hinter dem Brückenaufbau liegenden 5 Übergabe- und Übernahmequerleitungen, die an ihren Steuerbord- und Backbordenden mit Absperrschiebern und abnehmbaren Zwillings-Hosenstutzen ausgestattet sind. Von 3 Ladeöldecksleitungen führen durch Eckventile absperrbare, direkte Fülleitungen hinunter zu den Hauptleitungen in den Tanken. An den Deck-Ladeölleitungen sind Anschlüsse zum Reinigen mit Dampf sowie mit der Butterworth-Anlage vorgesehen.

Gleichfalls sind im Hauptpumpenraum für das Nachlenzen 4 vertikale Duplex-Dampfkolbenpumpen aufgestellt, die eine stündliche Förderleistung von 115 m³ beim 92,00 m Förderhöhe und etwa 35 Doppelhüben in der Minute aufweisen. Die Nachlenzpumpen saugen über eine gemeinsame Leitung aus den beiden, Hauptnachlenzleitungen, von denen je eine an der Steuerbord- und Backbordseite der Ladeölmitteltanke liegt. Von der Steuerbord- und Backbord-Nachlenzleitung führen Abzweigungen zu den Saugestellen der entsprechenden Tanke. Die beiden Haupt-Nachlenzleitungen sind in einem Mitteltank durch eine Querleitung, die durch doppelte Schieber absperrbar ist, verbunden, so daß aus einem Tank mit 2 Leitungen oder gleichzeitig aus 2 benachbarten Tanken mit verschiedenen Olsorten gesaugt werden kann. Die Nachlenzpumpen saugen weiter über die gemeinsame Saugeleitung aus den Ladeölsaugeleitungen. Eine Nachlenzpumpe dient außerdem zum Lenzen des Pumpenraumes, der Kofferdammtanke und des Lecköltanks. An eine weitere Nachlenzpumpe ist die Vorsaugeleitung für die Ladeölpumpen angeschlossen.

Die Nachlenzpumpen können über eine gemeinsame Querleitung und Einzelverbindungen in die Ladeöldruckleitungen drücken. Die Nachlenz-Decksleitung läuft in eine Übergabequerleitung aus, die an ihren beiden Enden mit Schiebern versehen ist und durch kurze, absperrbare Verbindungsrohre an die benach-

barte Ladeöl-Übergabeleitung angeschlossen werden kann, so daß es möglich ist, das Restöl durch den hier bereits angeschlossenen Ladeölschlauch über Bord zu geben.

Die Schieber und Ventile der Ladeöl- und Nachlenzleitungen in den Tanken werden durch Ferngestänge vom Hauptdeck aus betätigt. Das verwendete Ladeölsystem gestattet das gleichzeitige Laden und Entladen verschiedener Olsorten.

Die 4 Ladeölpumpen des Turbinentankers "Arcturus" gestatten die gleichzeitige Übernahme von 4 Olsorten in die 30 Ladeöltanke, die in 4 Tankgruppen unterteilt wurden.

Jede Tankgruppe hat außer einer eigenen Ladeölpumpe eine Saugleitung von 350 mm Durchmesser in den Oltanken und eine Übernahme- bzw. Abgabeleitung an Deck. Bei den Ladeölpumpen handelt es sich um turbinengetriebene, horizontale, einstufige Kreiselpumpen mit einer Leistung von 1000 m³ stündlich gegen 92,00 m WS bei 1600 Umdrehungen in der Minute. Alle 4 Ladeölpumpen sind im hinteren Pumpenraum angeordnet, die dazugehörigen Antriebsturbinen im anschließenden Hilfsmaschinenraum.

Durch Querverbindungen der Sauge- und Druck-Ladeölleitungen im Pumpenraum können die Pumpen auch aus jedem Tank einer anderen Gruppe und aus See zum Ballastnehmen saugen und in die Tanke und Abgabeleitungen der anderen Gruppen und in die See drücken. In den Tanken ist die Saugeleitung der einen Gruppe mit der nächsten Saugeleitung verbunden, so daß auch mit 2 Pumpen getrennt aus einer Tankgruppe gesaugt werden kann. Die Sauger haben 250 mm Durchmesser und sind mit Absperrschiebern ausgerüstet. Alle Querverbindungen sind so eingerichtet, daß jeweils 2 Absperrorgane die Tankgruppen voneinander trennen, damit verschiedene Olsorten gefahren werden können.

An den Olübernahmestationen Backbord und Steuerbord, die sich hinter dem Brückenaufbau befinden, sind die Stutzen so angeordnet, daß man an die 4 Übernahmeschieber je einen Schlauch oder durch Verwendung eines Hosenstutzens je 2 Schläuche anschließen kann. Durch umgekehrte Verwendung der Hosenstutzen kann durch einen Schlauch in 2 Übernahmeleitungen gleichzeitig gefüllt werden. In jeder Übernahmeleitung ist ein Filter eingebaut. Am Heck des Tankers ist noch ein weiterer Übernahme- und Abgabeanschluß vorgesehen, der an alle 4 Übernahmeleitungen angeschlossen ist, so daß alle Übernahmeleitungen untereinander verbunden sind.

Die Übernahme- und Abgabeleitungen an Deck sind mit den zugehörigen Saugeleitungen in den Tanken unter Zwischenschaltung von Schiebern direkt verbunden, damit OI von den Übergabestationen unter Umgehung des Pumpenraumes direkt in die Tanke fließen kann.

Im hinteren Pumpenraum sind 4 vertikale Duplex-Dampfpumpen als Nachlenzund Restepumpen eingebaut. Diese Pumpen haben eine Leistung von 115 m³/h gegen 90,00 m Druckhöhe bei 38 Doppelhüben in der Minute. Die Pumpen saugen aus den beiden Haupt-Nachlenzleitungen, aus den Saugeleitungen der Ladeölpumpen, oben aus dem Gehäuse der Ladeölpumpen und aus See und drücken in die beiden Resteabgabeleitungen an Deck, in die 4 Ladeölabgabeleitungen an Deck, in einen Ladeöltank als Restetank und in See. Die Backbord-Nachlenzleitung ist an die beiden hinteren Tankgruppen und die Steuerbord-Nachlenzleitung an die vorderen Tankgruppen angeschlossen. Zwischen ihnen sind zwei Querverbindungen vorhanden. Die Schieber in den Tanken werden durch Antriebsgestänge von Deck aus betätigt.

Die gesamten Ladeöltanke des Turbinentankers "World Gratitude" sind ebenfalls in 4 Tankgruppen aufgeteilt; jede Tankgruppe mit der zugehörigen Ladeölpumpe, der Luftabsaugeleitung, Hauptladeölleitung und den Decksverbindungen bildet ein vollständig eigenes System. Durch besondere Querleitungen mit entsprechenden Absperrorganen können jedoch die verschiedensten Schaltungen zwischen den einzelnen Gruppen vorgenommen werden. Die Hauptsauge-, Hauptdruck- und Abgabeleitungen haben einen Durchmesser von 350 mm, die Zweigsaugeleitungen in den Tanken haben 250 mm Durchmesser. Die Füllleitungen von der jeweiligen Decksabgabeleitung zu der entsprechenden Hauptsaugeleitung jeder Tankgruppe haben ebenfalls einen Durchmesser von 350 mm. Die 3 Kolbenpumpen saugen aus der Hauptnachlenzleitung, ferner können sie saugen aus den Hauptsaugeleitungen sowie aus der Luftabsaugeleitung der Ladeölpumpen und drücken entweder in die Nachlenzleitung oder in die hinteren Ladeöl-Mitteltanke.

Unmittelbar vor dem Hilfsmaschinenraum liegt der Ladeölpumpenraum, in dem die 4 horizontalen einstufigen Turbo-Ladeölpumpen von je 1000 t/h sowie 3 vertikale Duplex-Nachlenzpumpen mit je 120 t/h aufgestellt sind. Der Antrieb der Ladeölpumpen erfolgt durch die im Hilfsmaschinenraum stehenden Getriebeturbinen mittels elektrisch gekuppelter und gasdicht durch das Schott geführter Verbindungswellen. Sämtliche Ladetanke verfügen über Tankheizung (Heizschlangen).

Der Ladeölpumpenraum der 10 "Olympic"-Turbinentanker ist unmittelbar vor dem Hilfsmaschinenraum angeordnet und enthält 4 horizontale, einstufige Ladeölpumpen System Worthington mit einer Leistung von je 685 t/h bei 90,00 m Druckhöhe. Die Pumpen werden über ein Übersetzungsgetriebe durch Dampfturbinen angetrieben, die im Hilfsmaschinenraum aufgestellt sind. Im Pumpenraum sind weiterhin 3 vertikale Duplex-Pumpen als Nachlenzpumpen mit je 120 t/h vorgesehen.

Die gesamten Ladeöltanke sind in 4 Tankgruppen eingeteilt, von denen jede mit der zugeordneten Ladeölpumpe, den Luftabsaugeleitungen, der Hauptladeleitung und den Decksleitungen zunächst je ein vollständig unabhängiges System ergibt. Mittels Querleitungen und Absperrschieber wurde jedoch die Möglichkeit geschaffen, daß jede Ladeölpumpe aus jedem Tank saugen und an Deck drücken oder aus einem Tank in einen anderen Tank umpumpen kann. Die Hauptsauge-, Hauptdruck- und Abgabeleitungen auf Deck haben einen Durchmesser von 350 mm, während die Abzweigungen zu den Tanken 250 mm Durchmesser aufweisen.

Jede der 4 Hauptsaugeleitungen besitzt eine eigene Fülleitung von Deck. Die Nachlenzpumpen saugen direkt aus der Hauptnachlenzleitung von 150 mm Durchmesser, aus den Ladeölpumpen-Hauptsaugeleitungen und aus der Luftabsaugeleitung der Ladeölpumpen.

Sämtliche Ladeöltanke sind mit Heizschlangen ausgestattet, wobei auf 1 Quadratfuß Heizfläche mit 100 Kubikfuß Tankinhalt gerechnet wurde.

Für die Übernahme der Schlauchleitungen zum Laden und Löschen der Ölfracht sowie für das Übernehmen von Trockenladung sind die Öltanker mit Ladebäumen ausgestattet, die im allgemeinen direkt am Mast aufgehängt oder zu beiden Seiten des Mastes oder auch an Ladebaumpfosten angeordnet werden. Zum gleichen Zweck sind auch die Ölleitungen zu den Tankanlagen an Land aufnehmenden Lösch- und Ladebrücken mit Derricks ausgerüstet.

Unter allen Umständen ist das Ol durch dichte Schlauchleitungen, die durch feste Verschraubungen mit den Olleitungen der Tanker verbunden sind, überzupumpen. Während des Überpumpens darf in der Nähe der Leitungen nicht geraucht und kein offenes Feuer oder Licht benutzt werden. Die Tanker sind möglichst schnell, ununterbrochen und möglichst während der Tageszeit zu löschen und zu beladen. Das Lösch- und Ladegeschäft der Oltanker kann während der Nacht gestattet werden, wenn der Tanker ausreichend beleuchtet ist.

Falls zum Betriebe der erforderlichen Pumpen Elektromotoren Verwendung finden, die von einer Stelle außerhalb des Oltankers mit Strom versorgt werden, so muß das Verbindungskabel stets auf der Tankerseite zuerst angekuppelt werden. Die darauf folgende Ankupplung auf der anderen Seite ist nur dann zulässig, wenn dort Einrichtungen vorhanden sind, die die Bedienung der Stromschalter verhindern, solange das Kabel noch nicht angeschlossen ist. Beim Entkuppeln ist stets zuerst die Verbindung mit der Stromquelle zu lösen und dann erst die Verbindung am Oltanker.

2. Einrichtungen für die Weiterverteilung auf Straße, Schiene und kleinere Schiffe

Mit der fortschreitenden Festigung der wirtschaftlichen Verhältnisse nach dem zweiten Weltkrieg waren die deutschen Tankanlagen der Olhäfen, Olraffinerien und Großverteiler nach Gesichtspunkten zu orientieren, die ihre Wirtschaftlichkeit sichern. Es wurde daher notwendig, den Tankraum seiner Größe nach in ein bestimmtes Verhältnis zum Umschlag bzw. zum Verbrauch zu bringen. Durch den Übergang vom Import zur Eigenproduktion haben die Tankanlagen überdies als Puffer zu dienen, um die während des ganzen Jahres gleichbleibende Produktion mit dem jahreszeitlich schwankenden Bedarf in Übereinstimmung zu bringen. Alle einschlägigen Überlegungen führten zu Tankanlagen bestimmter Größenordnung, deren technische Einrichtungen so vollkommen sind, daß sowohl Schiffsladungen sowie Kesselwagenlieferungen aufgenommen werden können. Hinzu traten moderne Füllstationen für großräumige Straßen-Tankwagen, die für die Versorgung von Tankstellen und Händlerlagern eingesetzt werden. Darüber hinaus war die Anpassung der Tankanlagen an die besonderen Anforderungen der Spezialprodukte (insbesondere Heizöl) erforderlich.

Die Einrichtungen der Olhäfen für die Weiterverteilung der zum Umschlag kommenden Produkte auf Straße, Schiene und kleinere Schiffe bestehen neben den Tankanlagen im wesentlichen aus Olleitungen, Pumpenanlagen und den erforderlichen Verladeanlagen nebst sonstigen Hilfseinrichtungen.

Der Ollagerung dienen vorwiegend zylindrische Tanke aus Stahlblech in oberirdischer oder unterirdischer Anordnung. Die Vorteile der Untergrundlagerung großer Olmengen werden durch die sehr hohen Investitionskosten bei längerem Zeitbedarf für die Herstellung solcher Anlagen aufgehoben, so daß im wesentlichen Oltanke mit ebenem oder schrägem Boden, zylindrischem Mantel und kugeligem Dach mit freitragendem Gespärre bevorzugt werden. Mit zunehmender Verbreitung der elektrischen Lichtbogenschweißung setzte sich diese im Tankbau durch, zumal der geschweißte Tank um etwa 10 bis 15 % billiger herzustellen ist als der genietete Tank, der nur noch dort Verwendung findet, wo das Bedürfnis besteht, ihn öfters umzusetzen. Entgegen der Annahme, daß das Losnieten und Neuzusammennieten am anderen Orte einfacher und billiger sei als das Demontieren und Wiederaufrichten eines geschweißten Tanks ist festzustellen, daß man durch maschinelles Schneidbrennen genau in den Schweiß-

nähten und darauf folgendes Wiederzusammenschweißen am neuen Aufstellungsort schneller zum Ziele kommt.

Ein sachgemäß geschweißter Tank bleibt unbedingt dicht, während bei einem genieteten Tank früher oder später Undichtigkeiten auftreten, die besonders an der Südseite von Mantel und Dach erkennbar sind, wo die Erwärmung durch Sonneneinstrahlung Spannungen und Verformungen auslöst. Da die Dächer der Sonneneinstrahlung am stärksten ausgesetzt sind, sind erhebliche Leistungen aufzuwenden, um genietete Dächer durch dichtende Anstriche und andere Mittel dicht zu erhalten. Aus diesem Grunde ging man bereits zum Schweißen von Tankdächern über, als man im übrigen Tanke noch nietete. Da sich Erwärmung und Verformung fast nur auf das Dachblech beschränken und das Gespärre relativ kalt bleibt, hat es sich bewährt, die Dachhaut lose auf das Gespärre aufzulegen und sie lediglich mit dem Mantel zu verschweißen. Es ist wichtig, daß die äußere Form geschweißter Tanke und die Qualität der Schweißungen allen Anforderungen genügt. Derjenige Tank ist regelmäßig der beste, der sich in seinem Aussehen der theoretischen Form möglichst nähert und keine Beulen und Abplattungen aufweist.

Die bisher im Oltankbau üblichen Formen lassen im Gasraum nur geringe Uberdrücke zu, wodurch bei leicht siedendem Tankinhalt Abblasverluste unvermeidlich sind. Das Bestreben geht daher im Tankbau dahin, die Tanke so druckfest zu gestalten, daß sie die zu erwartenden Gasdrücke so vollkommen wie möglich auszuhalten vermögen, um eine weitgehende Ausschaltung der Gasverluste zu erreichen. Die zu diesem Zwecke neu entwickelten Tankformen sind Sphäroide sowie die tonnenähnlichen Formen mit tief gewölbtem Boden. Diese Formgebung besitzt überdies den Vorzug, daß sich innere oder äußere aussteifende Stahlkonstruktionen erübrigen.

Der Ausschaltung unerwünscht großer Gasräume, die bei Tanken mit festem Dach unvermeidlich sind, dienen die neuerdings erbauten Schwimmdachtanke. Die Gasraumbeseitigung bewirkt a) Verringerung der Verdunstungsverluste, d. h. der ständigen Atmungs- und Füllverluste, b) Verminderung der Explosions- und Feuergefahr, c) Verringerung des Benzingeruches in der Umgebung der Tankanlagen, d) größeren Schutz der Nachbartanke, e) Einsparungen bei den Berieselungs- und Schaumlöschanlagen, da größere offene Flüssigkeitsflächen nicht vorhanden sind.

Für die Be-und Entlüftung solcher Tanke ist eine einfache und robuste Einrichtung vorgesehen, die beim Füllen des Tankes offen ist, solange das Dach noch nicht schwimmt. Sie schließt sich, sobald das Dach einige Zentimeter aufgeschwommen ist. Andererseits öffnet sich diese Einrichtung beim Entleeren des Tankes um einige Zentimeter bevor das Dach auf den Stützen aufsetzt und die Verdunstung kann alsdann frei vor sich gehen. In dieser Tiefstellung entfällt also der Vorteil des Schwimmdaches und der Betrieb sollte daher möglichst so eingerichtet werden, daß das Dach immer schwimmt. Das zur Dachmitte abgeleitete Regen- und Schneewasser sammelt sich in einem Sumpf und wird auf verschiedene Arten abgeleitet: a) Unter das Ablaufrohr wird eine mit Wasser gefüllte Tasse gehängt. Bei Zulauf von Regenwasser läuft das Wasser aus der Tasse über und gelangt durch den Behälterinhalt auf den Tankboden, von wo es durch einen Entwässerungsstutzen abgeleitet wird. Der Nachteil dieses offenen Ablaufes besteht darin, daß das Regenwasser mit der Lagerflüssigkeit in Berührung kommt. b) Wenn die Berührung des Regenwassers mit dem Lagergut vermieden werden soll, verbindet man den Sumpfablauf durch ein Gelenkrohr oder durch einen bezinbeständigen, spiralverstärkten Schlauch mit einem Stutzen im Tankmantel. Das Regenwasser kann dann, ohne mit dem Tankinhalt in Berührung zu kommen, ablaufen. Der Stutzen am Tankmantel ist mit einem normalerweise geschlossenen Ventil versehen, das nach jedem Regenfall geöffnet werden sollte, um das Wasser abzulassen. Regenwasser, das seitlich an dem Tankmantel schlägt, fließt durch den Spalt zwischen Tankmantel und Dichtungsring in das Lagergut. Dieser Nachteil kann nicht vermieden werden. Für den Fall außergewöhnlich starker Regengüsse oder unachtsamer Wartung wird das Schwimmdach mit einem Notablauf versehen. Wenn dieser in Tätigkeit tritt, sinkt das Wasser durch das Produkt auf den Tankboden und wird durch den Entwässerungsstutzen abgelassen,

Da in unseren Breiten mit starkem Schneefall und Vereisung zu rechnen ist, interessiert auch in diesem Zusammenhange das Verhalten von Schwimmdachtanken. Diese Dächer werden für eine Schneelast von 120 kg/m² berechnet, die einer Höhe von fast 1,00 m nassem Schnee entspricht. Da in unseren Breiten mit derartigen Schneemengen kaum zu rechnen ist, liegt eine reichliche Sicherheit gegen das Versinken des Daches vor.

Die Feuersgefahr ist bei Tanken mit Schwimmdach geringer als bei Tanken mit festem Dach. Die bei den letzteren mögliche Ansammlung einer großen Menge explosiblen Gas-Luft-Gemisches im Gasraum ist unter dem Schwimmdach ausgeschlossen und kann im beschränkten Maße lediglich in dem kleinen Ringraum zwischen Tankmantel und Schwimmdachmantel auftreten, der durch eine flexible, nicht brennbare Schürze abgedeckt wird.

Eine Überschlagsrechnung ergibt, daß das Gewicht des reinen Daches etwa 60 % höher ist als dasjenige eines normalen feststehenden Daches einschließlich Gespärre. Das Gesamtgewicht eines Schwimmdachtankes stellt sich bei der Größe von 5000 m³ Inhalt etwa 10 bis 20 % und der Preis etwa 20 bis 30 % höher als bei einem Tank mit festem Dach. Durch Einsparungen bei der Berieselungs- und Schaumlöschanlage dürfte sich der Schwimmdachtank jedoch in Anschaffung und Betrieb billiger stellen.

Eine neue Raffinerie im Hamburger Olhafengebiet verfügt über 2 Rohöl-Schwimmdachtanke von je 20 000 m³ Inhalt, die in diesen Ausmaßen in Deutschland bisher unbekannt waren. Zum einwandfreien Betrieb eines solchen Behälters ist es erforderlich, daß die Tankwand bei 48,00 m Durchmesser über ihre gesamte Höhe von 12,00 m genau kreisförmig ist. Die Abdichtung des Schwimmdaches gegen die Tankwand erfolgt durch eine Blechschürze, die durch Federn angedrückt wird. Alle Tanke dieses Werkes erhielten trotz des neu aufgeschütteten Untergrundes wegen der niedrigen spezifischen Belastung kein Fundament. Zer Vermeidung von Korrosionen infolge Bodenfeuchtigkeit wurden sie lediglich auf eine Bitumenunterlage gesetzt.

Mit dem Bau dieser beiden Tanke erreichte der gesamte Tankraum dieses Werkes 270 000 m³ = rund 15 % des Jahresdurchsatzes an Rohöl. Dieses relativ niedrige Verhältnis läßt sich nur durch weitgehende Anwendung direkter Weiterverarbeitung aller Zwischenprodukte ohne Lagerung erreichen. Hierdurch werden zwar an die Betriebsführung erhebliche Anforderungen gestellt, die allerdings der Qualität der Erzeugnisse zugute kommen.

Eine neuartige Tankkonstruktion kam in den Duisburg-Ruhrorter Häfen zur Verwendung, in denen zum Mengenausgleich der unregelmäßig eintreffenden Rohöle und für eine beschränkte Zwischenlagerung 2 Oltanke von je 9300 m³ Inhalt aufgestellt wurden. Beide Tanke wurden mit gewölbten Böden und mit einem Stich von 3,6 m bei 30 m Durchmesser ausgeführt. Die Bodenkalotte hat einen Inhalt von 1350 m³. Ein Tank gleichen Durchmessers bei gleicher Mantelhöhe und ebenem Boden würde einen Inhalt von 8000 m³ haben. Der Tankinhalt der Bodenkalotte wurde mit nur geringen Mehrkosten gewonnen, da der Mehrverbrauch an Blechen für den gewölbten Boden gegenüber einem flachen Boden gering ist. Jedoch verursachte die Herstellung der gewölbten Fundamente gewisse Mehrkosten. Diese wurden in Packlage mit Splitt und Bitumabdeckung ausgeführt, wobei Schwierigkeiten bei der Abwalzung der Fundamente infolge Bodenwölbung auftraten. Der gewölbte Behälterboden hat den Vorteil, daß er sich bei zu erwartenden Bergsenkungen günstiger verhält. Kommt nämlich der Oltank infolge derartiger Senkungen in Bewegung, so bleibt der tiefste Punkt stets an derselben Stelle, und es treten in der Bodenplatte keine Zugspannungen auf.

Das mit Binnentankern ankommende Rohöl wird über zwei Anlegestellen, bestehend aus unbefestigter Böschung mit Löschbrücken, in die Oltanke gefördert. Für Tanker, die nicht mit eigenen Pumpen ausgestattet sind, stehen auf den Anlegestellen Drehkolbenpumpen zur Verfügung. Zur Kontrolle der eingegangenen Olmengen sind auf den Anlegestellen Meßaggregate aufgestellt und zwar Ovalradzähler mit einer Leistung von 200 m³/h, denen Filter und Gasabscheider vorgeschaltet sind. Da die Gefahr besteht, daß beim Leerpumpen der Tanker, insbesondere beim Leersaugen der letzten Kammer, in größerem Umfange Luft mitgerissen wird, wurden Verluste über die Zuverlässigkeit der Gasabscheider angestellt, wobei sich ergab, daß diese einwandfrei anbeiten und daß die Zähler auch dann stehenbleiben, wenn nur Luft angesaugt wird. Besondere Einrichtungen zur Luftabscheidung sind daher nicht erforderlich. Die gleichen Meßaggregate sind auf den Anlagen der Abnehmerwerke zur Aufstellung gekommen, so daß die im Duisburg-Ruhrorter Hafen übernommenen und bei den Werken abgelieferten Olmengen ständig verglichen werden können.

Eine im Hamburger Hafen neu erstellte Tankanlage dient dem Umschlag und der Lagerung flüssiger Handelsgüter mit Ausnahme solcher der Gefahrenklassen I und II. Der gewählte Platz für diese Anlage hat den Vorzug, auf einer halbinselförmigen Landzunge zu liegen, so daß sich für das in Rohrleitungen zu transportierende Lagergut zwanglos die Möglichkeit mehrerer Schiffsliegeplätze ergab.

Da im Hamburger Hafen normale Bauten gerämmt werden müssen, war die Art des Untergrundes, der mit Pfählen durchfahren wird, verhältnismäßig belanglos. Maßnahmen zur Bodenverbesserung waren erforderlich, weil das Gelände unmittelbar vor Baubeginn aufgehöht wurde. Infolge der zu erwartenden Bodensetzungen und auf Grund bodenmechanischer Gegebenheiten waren folgende Gesichtspunkte zu beachten:

- 1. da eine normal gerammte Tankfundierung etwa so viel kostet wie der Tank selbst, mußte ungerammte Aufstellung der Tanke im Sandbett erfolgen,
- 2. sämtliche Verbindungen zwischen den gerammten Anlageteilen untereinander waren durch bewegliche Bauteile herzustellen,
- 3. infolge der geringeren Setzung des unbelasteten Bodens mußten auch zwischen den ungerammten schweren Tanken und den leichten Rohrleitungen bewegliche Verbindungsglieder eingeschaltet werden.

Daraus folgte für die Rohrleitungen und Absperrorgane ein Material hoher Dehnung, Schlauchübergänge an den Punkten zwischen Oltank und Rohrleitung bzw. zwischen gerammten Gebäudeteilen und Rohrleitung. Die gesamte Tankumschlaganlage umfaßt:

- 1. 65 in Gruben angeordnete Oltanke mit einem Gesamt-Fassungsvermögen von rund $73\,000\,$ m³,
- 2. die Kessel- und Pumpenanlage, die als zentrales Organ für die Güterbewegung und Wärmeversorgung im technischen Schwerpunkt des Betriebes liegt.
- 3., Faßbetrieb mit Faßreinigung in Verbindung mit der Anlage zum Füllen und Entleeren von Tankwaggons und Tank-Lkw,
- 4. Liegeanlagen für Tanker mit den zugehörigen Dalben, Bojen und Pollern sowie den zugehörigen Olleitungen auf leichten Tragkonstruktionen. Die Liegeanlage gestattet das gleichzeitige Festmachen von 3 Oltankern.

Die Gesamtanlage verbindet ein Rohrbündel aus 18 Rohren, die teils der Versorgung des Betriebes mit Dampf, Luft und Wasser dienen, teils als Olleitungen mit Leitungen für die Wärmezufuhr, je nach den zu födernden Olsorten, verlegt wurden. Dem Oltransport sind als Schwerpunktachse des Betriebes alle übrigen Anlageteile untergeordnet; selbst die Gleisführung mußte in einer Kurve erfolgen, um Komplikationen mit den Rohrleitungen zu vermeiden.

Besondere Aufgaben stellte das Kesselhaus, da über seine Belastung keine zutreffenden Angaben gemacht werden konnten. Bei ihm handelt es sich um eine Anlage zur Aufheizung der Lagergüter auf pumpfähige Temperaturen. Wird aus einem Oltank mit einem Inhalt von mehreren 1000 m³ auch nur ein kleiner Teil abgenommen, so muß der Tank voll aufgeheizt werden. Da jedoch im allgemeinen der Zeitpunkt einer Verladung rechtzeitig feststeht, kann auch die Zeitdauer des Aufheizens im Sommer und Winter so reguliert werden, daß Spitzenleistungen der Kesselanlage selten beansprucht werden, ausgenommen sind lediglich Fälle kalten Winterwetters und hohen Dampfbedarfes für die Pumpen. Die Leistung der Kesselanlage beträgt 12 t/h Dampf von 12 atü. Die Überhitzung reicht lediglich für den Rohrweg; am Oltank kommt Sattdampf in der dort benötigten Beschaffenheit an.

Bei den Kesseln handelt es sich um Hochleistungs-Wasserrohrkessel, deren Aufstellung im Freien erfolgte. Lediglich ihre Fundierung wurde im Zusammenhang mit dem Kessel- und Pumpenhaus ausgeführt. Nur der Raum vor der Kesselanlage wurde als Gebäude ausgebildet. Er enthält den Heizerstand, die Speisewasseraufbereitung und -vorwärmung, Olpumpanlage, Meßinstrumente, sowie die Vorratstanke für Ol und Speisewasser.

Der Raum des Kesselhauses ist so stark zusammengefaßt, daß er für eine ausreichende Be- und Entlüftung nicht ausreicht. Es wurde daher dem Wind unter Dach zwischen der Süd- und Nordwand durch Herauslassen eines Teiles der Steine in der Mauer freier Durchzug gegeben. Diese Maßnahme hat sich bewährt; bisher sind im Kesselhaus keine Kondensniederschläge aufgetreten.

Das Pumpenhaus enthält 6 Olpumpen für die verschiedenen Olgruppen, deren Größe nach der für die einzelnen Betriebszwecke erforderlichen Leistung und der für die verschiedenen Gruppen typischen Viskositäten abgestuft ist. Außerdem ist im Pumpenhaus ein Kompressor aufgestellt, der Preßluft zum Leerdrücken der Rohrleitungen erzeugt. Außerdem wurde eine Pumpe für die Förderung der Waschwässer aus Tank- und Rohrreinigungen aufgestellt. Da die Umschlaganlage in der Lage sein muß, jede Olsorte ohne Qualitätsminderung aufzunehmen, kann sich jede Pumpe auf jede Leitung und jede Leitung auf jeden Oltank schalten lassen.

Die Rohrleitungen haben die Verbindung zwischen den festgerammten Gebäuden mit den sich darin befindlichen Maschinen und den ungerammten Tanken herzustellen. Die Tanke eilen durch ihr Gewicht in der Setzungsbewegung auf dem schlechten Untergrund ihrer weniger belasteten Umgebung voraus. Trotzdem müssen sie ein Gefälle behalten, das Reinigungsarbeiten und Restentleerungsarbeiten ermöglicht. Es war überdies zu beachten, daß nach vollständiger Beendigung der Setzungen ein stabiler Zustand eintreten wird.

Für den Übergang vom Öltank und vom gerammten Gebäude zur Rohrleitung wurden Schlauchverbindungen gewählt. Die Rohrleitung selbst ist wegen der zu erwartenden Setzungen nicht befestigt, sondern auf Schienen aufgelegt, die ihrerseits auf leichten Betonkörpern gelagert sind. Durch diese Maßnahme ist es möglich, die Schienen mit einer Winde anzuheben und zwischen ihnen und den Betonklötzen Steine aufzumauern. Die getroffenen Maßnahmen haben sich bewährt, obwohl die Ölleitungen teils in Straßen, teils zwischen der Brücke und unter dem Tankfeld unterirdisch verlegt wurden, also in diesen Bereichen anderen Setzungsvorgängen ausgesetzt sind als im Tankfeld.

Für die Tankerliegeplätze wurde auf eine schwere Uferbefestigung, die in der Lage war, die Belastungen aus Schiff und Boden aufzunehmen, zugunsten einer Anlegestelle verzichtet, an der die Tanker an Dalben, Bojen und Pollern festliegen, so daß Schiffsstoß und Trossenzug zuverlässig vom Brückenbauwerk ferngehalten werden. Letzteres trägt nur die Rohrleitung mit der Übergabeanlage, den Schlauchkran sowie ein fahrbares Gerät zur Übergabe von Fässern. Die Dalbenabstände wurden so gewählt, daß sie für alle bei dieser Umschlaganlage in Betracht kommenden Tankergrößen ausreichen.

Im Hafen Gelsenkirchen wird gegenwärtig auf einem von den beiden Hafenbecken eingeschlossenen Industriegelände ein nach modernen Gesichtspunkten projektiertes Großtanklager errichtet. In Verbindung mit diesem Umschlagslager entsteht eine Großdestillationsanlage. Für die Wahl dieses Baugeländes war einerseits vom Standpunkte der Verteilung die günstige Lage des Gelsenkirchener Hafens am Rhein-Herne-Kanal, der das Ruhrgebiet über ein Netz von Wasserstraßen mit der Nordsee, mit Mittel- und Süddeutschland und mit den Nachbarländern Holland, Belgien, Frankreich und der Schweiz verbindet, ferner der Anschluß an ein engmaschiges Schienennetz, die unmittelbare Nähe der Autobahn und die Möglichkeit, einen bedeutenden Großabnehmer durch eine nur 21 km lange Olleitung zu beliefern, andererseits vom Standpunkte der Versorgung des Tanklagers die geringe Entfernung zweier Lieferwerke mit 2,3 km und 10 km ausschlaggebend. Benzin und Benzol-Druckraffinat aus diesen beiden Erzeugungsstätten wird dem neuen Großtanklager durch 4 unterirdisch verlegte Olleitungen mit Durchmessern von 150 und 220 mm zugeleitet. Nach Ausbau der Gesamtanlage wird diese in dem von den Hafenarmen umschlossenen Teil der Anlage über eine Kapazität von 75 000 m³ verfügen; die Errichtung zusätzlicher Hochtanke auf einem benachbarten Grundstück ermöglicht die Erweiterung dieses Fassungsvermögens um weitere 75 000 m³. Zwischen den beiden Bauflächen wird ein Lager- und Umschlagplatz für Schmieröle mit den dazugehörigen Abfülltanken, Faßwasch- und Füllanlagen sowie Dosen- und Gebinde-Verpackungsanlagen eingerichtet.

Das Tanklager ist mit einer zentralen Pumpstation ausgerüstet, von der aus alle Misch- und Umlagerungsvorgänge gesteuert werden. Im Verladebahnhof können während einer Schicht etwa 100 Kesselwagen abgefertigt werden, während für das Be- bzw. Entladen eines 800 m³-Tankers 4 bis 5 bzw. 7 bis 8 Stunden benötigt werden.

Die Wasserpump- und Schaumlöschstation ist in einem besonderen Gebäude untergebracht; das gesamte Tanklager wird mit einem engmaschigen Netz von Berieselungs- und Schaumlöschleitungen überzogen.

Zur Vermeidung von Verdampfungsverlusten bei den Mischtanken erfolgt das Mischen durch Umwälzen der in den Tank eingebrachten Komponenten. Diese werden über ein Schwenkrohr in verschiedenen Höhenlagen im Tank abgesaugt und mit starken Pumpen einigen in Bodennähe des Tanks an einem Rohrverteiler vorhandenen Düsen zugeführt. Die dadurch im Oltank entstehende Wirbelung führt in verhältnismäßig kurzer Zeit zu der gewünschten homogenen Mischung.

Aus Gründen der Geländeeinsparung sind die einzelnen Tankgruppen nicht wie sonst üblich von Erdwällen, sondern von Betonwänden umschlossen.

Olleitungen zum Transport von Medien, die hauptsächlich leichte Kohlenwasserstoffe, also leicht viskose Ole, wie Rohöl, Petroleum, Benzin, Benzol usw. enthalten und daher dünnflüssig und kalt sind, d. h. ohne Aufheizung gepumpt werden können, unterscheiden sich von Wasserleitungen lediglich dadurch, daß Streckenschieber bzw. Trennschieber in kürzeren Abständen angeordnet werden, um bei Defekten größere Verluste an Fördermedien zu vermeiden, die überdies Verunreinigungen des Grundwassers herbeiführen können. Ihr Bau bietet daher keine Besonderheiten,

Bei Olleitungen für schwer viskose Ole, also für Olsorten, die im kalten Zustande zähflüssig oder steif sind, können in Abgängigkeit von der Viskositiät und Leitungslänge hohe Pumpendrücke und verstärkte Wanddicken der Rohrleitungen verwendet werden. Doch sind in dieser Hinisicht Grenzen gesetzt, da solche Maßnahmen die Betriebssicherheit und Wirtschaftlichkeit der Leitung ungünstig beeinflussen. Die Erzielung wirtschaftlicher Pumpenleistungen erfordert bei schwer viskosen Olen eine Aufheizung, um Druckverluste in erträglichen Grenzen zu halten. Die Höhe der Erwärmung ist abhängig von der Viskosität des zu pumpenden Oles und der Länge der Leitung. Die Strömungsgeschwindigkeit in Olleitungen sollte 1,00 bis 2,00 m betragen, bei deren Bestimmung die Zähigkeit des zu transportierenden Oles, sein Erwärmungsgrad und der maximal zugelassene Pumpendruck zu berücksichtigen sind.

Es ist überdies zweckmäßig, die Leitungen mit einem Wärmeschutz zu umgeben. In besonderen Fällen, etwa bei erdverlegten Leitungen, kann gelegentlich auf einen Wärmeschutz verzichtet werden. Die Aufheiztemperatur des Oles ist nach oben dadurch begrenzt, daß Sieden vermieden werden muß. Hierbei ist der Einfluß des Druckes auf die Siedetemperatur zu beachten. Hat die Heizstelle Überdruck, so kann die Temperatur entsprechend höher gewählt werden als die bei Atmosphärendruck gemessene Temperatur des Siedebeginnes. Jedoch sind längs der Leitung weder der Druck noch die Temperatur konstant. Es ist daher für jede Stelle der Olleitung zu prüfen, ob der Leitungsdruck höher liegt als der zur dort vorhandenen Temperatur gehörige Dampfdruck. Die tiefste Temperatur, die noch zugelassen werden kann, ist abhängig von der Zähigkeits-Temperatur-Kurve des Oles. Im allgemeinen bleibt man hierbei über 30° C mit der Maßgabe, daß erneut aufgeheizt werden muß, wenn diese Temperatur bei der Abkühlung erreicht wird.

Die Erwärmung des Oles kann durch Vorwärmer oder Heizhauben bzw. durch Heizstationen erfolgen. Wenn eine Stapelung des Oles vor Beginn des Pumpvorganges erforderlich ist, wird die Olerwärmung in einfacher Weise durch Ein-

bau von Heizschlangen oder Heizhauben in die Oltanke durchgeführt. Bei größeren Förderstrecken ist es wichtig, die Temperatur, für die Olleitung und Pumpstation berechnet sind, während der Förderung zu halten. Gelingt es nicht, eine den Erfordernissen entsprechende Endtemperatur von 30 bis 35°C zu halten, so müssen neben der erforderlichen Anzahl von Pumpen die Olaufheizung erhöht oder Zwischenheizstationen vorgesehen werden.

Der erforderliche Abstand der Heizstationen hängt außer von der Güte der Isolierung entscheidend von der Bemessung der Olleitung bzw. von der Durchsatzmenge ab. Ist die Strömungsgeschwindigkeit zu klein, so sinkt die Temperatur des Rohres schnell ab. Wenn hierdurch das Ol zum Stocken kommt, steigen die Pumpdrücke stark an. Bei schlechter Isolation kann das Ol auch in einer der Rohrwand anliegenden Schicht zum Stocken kommen, während im Kern warmes Ol weiterströmt. Gelegentlich setzt sich an der Rohrwandung auch eine Paraffinschicht ab. Die Wirkung ist in beiden Fällen so, als ob das Rohr einen entsprechend kleineren Dürchmesser hätte. Olleitungen sind daher regelmäßig zu reinigen, diesem Zwecke dient ein Reinigungsgerät (Molch), das als freibeweglicher Kolben unter Preßluft- oder Oldruck durch die Olleitung hindurchgetrieben wird. Wenn die Leitung im Verhältnis zur Fördermenge einen zu großen Durchmesser hat, wird sie zweckmäßig zeitweilig stillgelegt und entleert. Man fördert also nur periodisch, aber mit größerer Geschwindigkeit. Auf diese Weise wird die Temperatur des Oles auf genügender Höhe gehalten und das Einfrieren der Leitung vermieden. Die richtige Wahl des Rohrdurchmessers, der Isolationsdicke und Isolationsgüte ist eine Frage der Wirtschaftlichkeitsrechnung, bei der es darauf ankommt, das Minimum der Kosten für Verzinsung und Amortisation der Anlage und für ihren Betrieb zu finden.

Eine Rohrleitung zur Förderung von schwer viskosem Ol muß bei Beendigung des Pumpprozesses entleert werden, da sonst die Abkühlung und Stockung des Oles ein späteres Weiterpumpen erschwert oder unmöglich macht. Die Entleerung erfolgt zweckmäßig durch Preßluft, wobei folgende Vorbedingungen erfüllt sein sollten: a) möglichst Betriebstemperatur des Mediums, b) mäßiger Preßluftdruck, c) Entleerungsstutzen wenig kleiner als der Durchmesser der Stammleitung. Vor jedem Füllen der Leitung muß das Ol und nach Möglichkeit auch die Leitung auf Betriebstemperatur angewärmt werden, da sonst Pfropfenbildungen ein Weiterpumpen verhindern oder eine Anfahrzeit benötigen, die in vielen Fällen nicht zugestanden werden kann.

Die Frage, ob der Transport von hoch viskosen Olen durch nackte erdverlegte Rohre oder durch isolierte Leitungen über Tage wirtschaftlicher ist, kann nicht eindeutig zugunsten der einen oder anderen Lösung beantwortet werden. Es ist vielmehr von Fall zu Fall unter Berücksichtigung der örtlichen Verhältnisse und der an die Olleitung gestellten Anforderungen zu untersuchen, welche der beiden Verlegungsarten die günstigste Lösung darstellt. Hierbei ist der Wahl des Rohrdurchmessers besondere Sorgfalt zu widmen, da sie für den Erfolg der Förderung ausschlaggebend ist.

Abgesehen von den Leitungen im Olhafen selbst, die dem Oltransport vom Tanker in die Ladetanke dienen, handelt es sich bei den neueren deutschen Olleitungen im wesentlichen um Transporte von den Olhäfen zu den Raffinerien und Ollägern. Der gleiche Transportweg findet zunehmende Verwendung auch für Kraftstoffe, die in größeren Mengen zur Umschlagstelle zu fördern sind.

So wurde ein Rohrleitungspaar zwischen Brunsbüttelkoog und Hemmingstedt in Betrieb genommen, um die Crackanlage in Hemmingstedt (Holstein) mit dem Hafen Brunsbüttelkoog am Nord-Ostsee-Kanal zu verbinden. Die Crackanlage kann nunmehr nicht nur durch Kesselwagentransporte, sondern auch auf direktem Wege über den Hafen Brunsbüttelkoog mit Import-Rohöl versorgt werden. Andererseits ist durch eine zweite Leitung die Möglichkeit geschaffen, Kraftstoffe zum Umschlagplatz zu fördern, um sie von dort aus auf dem Wasserwege den Verbrauchszentren zuzuführen. Beide Olleitungen sind als Betriebsnotwendigkeit, keineswegs aber als Konkurrenzunternehmen der Eisenbahn oder eines anderen Verkehrsmittels anzusprechen, zumal sie dem stark angewachsenen Rangierbetrieb im Werk sowie auf den Anschlußbahnhöfen die notwendige Entlastung bringen. Außerdem werden die Verdunstungsverluste, die sich beim Füllen von Kesselwagen mit den leichtflüssigen Import-Rohölen ergeben, vermieden, so daß für den Betrieb eine beachtliche Ersparnis und eine Verbesserung in der Wirtschaftlichkeit der Verarbeitung erzielt wird,

Es gelangten zur Verlegung: a) eine 6"-Olleitung, die in der Lage ist, jährlich bis zu 450 000 Jato Rohöl zu fördern, b) eine 5"-Leitung, deren Förderkapazität für Kraftstoff maximal 400 000 Jato beträgt. Die Entfernung zwischen den beiden Endstationen beträgt 31,5 km; die Gesamtstrecke ist in 3 Teilstrecken von je 10 km aufgeteilt, die mit je einer Molchschleuse ausgerüstet sind und die den Zweck haben, Teilstrecken im Bedarfsfalle zu entleeren und abzusperren. Die Teilstrecken wurden außerdem mit den erforderlichen Absperrschiebern versehen, die druckseitig an den Bahnunterführungen angeordnet wurden, um bei etwa auftretenden Notständen geschlossen werden zu können. Die durch Temperaturunterschiede zu erwartenden Dehnungen werden durch horizontale und vertikale Schlängel in der Leitungsführung aufgenommen. Zum Schutz gegen Korrosion, bedingt durch den teilweise sauren Boden sind die Leitungen bituminiert, gewickelt und gekalkt. Die Überbrückung von Wasserläufen erfolgte durch Verlegung der Olleitungsrohre in Stahlschutzrohren von ausreichend großem Querschnitt, die ihrerseits auf eisernen Bockgestellen in Betonfundamenten ruhen. Der Reinigungsmolch ist aus mehreren Gliedern gelenkig zusammengesetzt, so daß er bequem die Leitung einschließlich der erforderlichen Rohrbogen durchfahren kann. Die erforderliche Abdichtung des Molches gegen die Rohrwand wird von einer Anzahl auswechselbarer Gummimanschetten besorgt.

Die zum Transport gelangenden Rohöle aus dem mittleren Osten wie auch die holsteinischen Rohöle weisen nur geringe Viskositäten von etwa 1,6°E bis etwa 3,4° E bei 20° C auf. Es war daher möglich, die Förderung ohne Aufheizung mit einer einzigen Pumpstation in Brunsbüttelkoog zu bewältigen und dabei mit Betriebsdrücken von 30 bis 60 atü — je nach Jahreszeit und Bodentemperatur auszukommen. In Holstein wird auch bei strengem Winter die Bodentemperatur kaum unter $0^{\circ}\,C$ sinken, so daß in den unterirdisch verlegten Leitungen mit einer tiefsten Oltemperatur von 0°C zu rechnen ist. Da jedoch Erdölqualitäten in ihren Viskositäten schwanken. wurde die station mit einer Kolbenpumpe ausgerüstet, die in der Lage ist, Drücke bis zu 90 atü zu erzielen. Die Leitung selbst ist für diesen maximalen Betriebsdruck gebaut, wobei entsprechende Zuschläge für etwa auftretende Korrosionen berücksichtigt wurden. Als Reservepumpe wurde eine Kreiselpumpe mit steiler Charakteristik vorgesehen, die es gestattet, bei normalen Betriebsbedingungen mit einem Druck von 50 atü bei einem Wirkungsgrad von 70 % zu arbeiten. Durch die steile Charakteristik ist die Möglichkeit gegeben, beim Anfahren mit geringerer Fördermenge höhere Drücke zu erzielen. Wegen der vorliegenden

hohen Druckunterschiede war es notwendig, die Pumpen mit relativ starken Motoren auszurüsten, die bei der geringen Belastung mit schlechtem Wirkungsgrad arbeiten. Für die Kraftstoffleitung wurden nur Kreiselpumpen installiert, die bei einstufigem Betrieb Vergaserkraftstoff, in Hintereinanderschaltung Dieselkraftstoff verpumpen können. Auf diese Weise konnte mit 3 relativ billigen Einheiten, die sich beliebig zweistufig hintereinanderschalten lassen, die Olleitung weitgehend ausgenutzt und andererseits die erforderliche Reserve gehalten werden. Als Antrieb für diese Pumpen dienen Drehstrommotoren mit gleichbleibender Drehzahl in explosionsgeschützter Bauart, die über Sterndreieckschalter angelassen werden. Für Olleitungs-Kreiselpumpen sind allerdings Antriebsmaschinen mit regelbarer Drehzahl besser geeignet. Hierzu gehören einerseits die bewährten Dampfantriebe, andererseits Verbrennungsmotoren sowie Elektromotoren, die als Schleifringläufer gebaut oder mit Stromrichteranlage ausgestattet sind. Leider sind für erstere und letztere die Investitionskosten und Betriebskosten sehr hoch, so daß sie nur wenig Anwendung finden.

Der Kontrolle der geförderten Olmengen dienen schreibende Stauscheiben-Mengenmesser, die über die jeweils geförderte Menge und Belastung der Pumpen Aufschluß geben. Zur genauen Messung der Förderung dient die Tankpeilung.

Dem Schutze der Antriebe dienen Überstromschalter; außerdem sind Relaisschalter eingebaut, die die Motoren abschalten, wenn durch Schließen eines der Sicherheitsschieber die Förderung der Olleitung unter ein bestimmtes Minimum absinkt. Die Maschinen werden ebenfalls stillgesetzt, wenn (etwa durch Leitungsbruch) die Fördermenge ein bestimmtes Maximum übersteigt.

Die reinen Betriebskosten der Leitungen (Aufwand an elektrischer Energie, Betriebsmaterial, Löhne, Gehälter und Verwaltungskosten) haben im Vergleich zu den relativ hohen Investitionskosten untergeordnete Bedeutung; die Gesamt-Förderkosten je Tonne Rohöl liegen bei etwa ½ der normalen Bahnfracht. Gleiches gilt größenordnungsmäßig auch für den Transport von Kraftstoffen.

Der Umschlaghafen Brunsbüttelkoog hat durch diese Olleitungen an Bedeutung zugenommen. Er würde für den Kraftstoffumschlag weiter an Wert gewinnen, wenn der Binnenschiffahrtsweg von der Elbe zum Rhein ohne Behinderung zur Verfügung stünde.

Mit der Umstellung von der Kohleveredelung auf Rohölverarbeitung veranlaßten die Werke der Gelsenberg Benzin A.G., der Scholven Chemie A.G. und der Ruhr Chemie A.G. das Erscheinen von ausländischem Rohöl in den Ruhrhäfen als neues Verkehrsgut. Der Umschlag dieses Gutes erfolgt über die Duisburg-Ruhrorter Häfen durch 2 Olleitungen zu den drei genannten Verarbeitungsanlagen. Für den Entschluß, zur Versorgung der drei Werke zwei getrennte Leitungen zu verlegen, die bis zum Werk der Ruhr Chemie A.G. in derselben Trasse nebeneinander liegen, und zwar eine Leitung von 150 mm Durchmesser für die Ruhr Chemie A.G. sowie eine Leitung von 200 mm Durchmesser für die Gelsenberg Benzin A.G. und Scholven Chemie A.G. waren folgende Gründe entscheidend: Die Ruhr Chemie A.G., die keinen eigenen Wasseranschluß am Rhein-Herne-Kanal besitzt, hatte sich bereits frühzeitig entschlossen, die über die Rheinmündungshäfen zu importierenden Rohöle von den Duisburg-Ruhrorter Häfen aus durch eine Olleitung zu ihrem Werk heranzuführen. Das Werk der Gelsenberg Benzin A.G. liegt direkt am Rhein-Herne-Kanal und besitzt dort einen eigenen Werkhafen. Auch das Werk der Scholven Chemie A.G. hat einen eigenen Werkhafen am Wesel-Datteln-Kanal bei Dorsten, Trotzdem haben sich auch diese beiden Werke entschlossen, ihr Rohöl durch eine Olleitung von den Duisburg-Ruhrorter Häfen aus zu beziehen. Entscheidend war hierbei, daß die Transportkosten bei einer Olleitung am geringsten sind und daß das Rohöl von den Rheinmündungshäfen durch Rheintanker bis zu einer Tragfähigkeit von 3000 t bezogen werden kann, während auf den Kanälen nur kleine kanalgängige Tanker bis zu einer Tragfähigkeit von 1300 t zugelassen sind. Die besondere Leitung für die Ruhr Chemie A.G. wurde außerdem deswegen beibehalten, weil Bedenken bestanden, Rohöle von drei verschiedenen Provenienzen für drei verschiedene Abnehmer durch eine Olleitung zu pumpen.

Die Leitungen verlaufen von der Olinsel im Ruhrorter Hafen längs des Rhein-Herne-Kanals bis zu dessen Kreuzung mit der Autobahn und von dort aus neben der Trasse der Autobahn am Werk der Ruhr Chémie A.G. in Holten vorbei, wo die eine Leitung endet. Die andere Leitung führt weiter bis nach Gelsenkirchen-Buer, wo sie sich in die beiden Abzweige zur Gelsenberg Benzin A. G. und Scholven Chemie A.G. teilt. Die Leitung zur Ruhr Chemie A.G. hat eine Länge von 12 km, die Leitung zu den beiden Werken in Gelsenkirchen bis zum Gabelpunkt eine Länge von 28 km. Der Abzweig zur Gelsenberg Benzin A.G. weist eine Länge von 6 km und der Ast nach Scholven eine Länge von 4 km auf, Die Wahl der Trasse neben bestehenden Verkehrsbändern wurde wegen der einfacheren Durchführung der Verlegungsarbeiten in einem dicht besiedelten Gebiet bevorzugt; überdies waren auch günstigere Kreuzungsmöglichkeiten von Straßen und anderen Versorgungsleitungen gegeben. Der kleinste zur Verlegung gekommene Radius beträgt 5,00 m, um die Leitung durch einen Reinigungsmolch befahren zu können. Zum Schutz gegen Korrosion durch vagabundierende Ströme wurden die unterirdisch mit mindestens 1,00 m Überdeckung verlegten Rohre mit Jutebandumwicklung versehen und durch Schutzanoden geerdet.

Im Ruhrgebiet sinkt die Temperatur in 1,00 m Tiefe unter der Erdoberfläche nicht unter plus 5°C, so daß eine Aufheizung des Oles nur an der Eingangsstelle erforderlich ist und daher von weiteren Heizstationen abgesehen werden konnte. An den Kreuzungsstellen der Olleitung mit Wasserläufen sowie an ihren Anfangs- und Endpunkten, an denen die Leitung im Freien liegt, ist sie mit einer 50 mm starken Glaswatte-Wärmeisolierung versehen. An den zahlreichen Straßen- und Eisenbahnkreuzungen verläuft die Leitung in Schutzrohren. Die Überführung der Olleitungen über Wasserläufe erfolgt durch Stahlrohrstützen auf Betonsockeln.

Der Planung der Olleitung nach Gelsenkirchen wurde eine Kapazität von 700 000 Jato Ol zugrunde gelegt. Bei Annahme von 7000 Betriebsstunden beträgt die Fördermenge 100 t/h = rund 120 m³/h. Hierbei ergab sich, daß eine Olleitung von 200 mm Durchmesser den Betriebsverhältnissen am besten entspricht und auch einer zukünftigen Erhöhung der Fördermengen gerecht wird. Eine weitere Möglichkeit zur Erhöhung der Förderleistungen liegt auch in einer Steigerung der Betriebszeiten bis zum 8600 Jahresstunden. Bei der Förderleistung von 120 m³/h ergibt sich eine Fördergeschwindigkeit von 1,10 m/sec bei einem Druck von 25 bis 28 atü. Für die Leitung zur Ruhr Chemie A. G. nach Holten wurde bei gleichen Berechnungsgrundsätzen ein Durchmesser von 150 mm gewählt.

Zur Feststellung von Rohrbrüchen oder Undichtigkeiten sind an den Ein- und Ausgangsstellen sowie in Abständen von 5 bis 6 km Meßblendenschieber eingebaut, die die Durchflußmengen fortlaufend messen und auf elektrischem Wege durch Sender der Kontrollstelle bei der Pumpstation in Ruhrort melden. Zeigt eine Meßstelle eine gegenüber der Einlaßstelle geringere Durchflußmenge an,

wird in der Kontrollstelle der Pumpstation eine optische und akustische Alarmvorrichtung ausgelöst, durch die gleichzeitig die Druckpumpen ausgeschaltet werden. Etwaige Verluste durch austretendes Rohöl werden damit auf ein Minimum beschränkt und Leckstellen an der Olleitung auf einen Abschnitt zwischen zwei Meßstellen begrenzt, so daß sie schneller aufgefunden werden können.

Zur Reinigung der Leitung von Paraffinansätzen und anderen Ablagerungen wird ein fünfgliedriger Molch verwandt, der an seinem Kopf mit Kratzern versehen ist. Auf den einzelnen Gliedern sitzen Gummimanschetten, die den Molch gegen die Rohrwandungen abdichten, so daß er von dem Druck des geförderten Oles durch die Leitung gepreßt wird, wohei er etwaige Ablagerungen vor sich herschiebt. Der Molch wird an der Eingangsstelle durch eine Molchschleuse in die Olleitung eingeführt und durch eine solche am Gabelpunkt herausgenommen.

Für die Förderung der Rohöle zu den beiden Werke in Gelsenkirchen in nur einer Leitung sind besondere Vorrichtungen erforderlich. Bei Wechsel des Fördergutes wird an der Eingangsstelle in Ruhfort ein Trennmolch durch die Molchschleuse in die Olleitung geschoben, der eine Vermischung des für Scholven und Gelsenberg zu fördernden Oles verhindern soll. Dieser Trennmolch besteht aus einem 0,5 m langen zylindrischen Holzstück, auf dem 2 ölbeständige Gummimanschetten sitzen, mit denen er sich gegen die Rohrwandungen abdichtet. Der Trennmolch fährt an der Abzweigstelle in Gelsenkirchen in die Molchschleuse, die 5 Molche aufnehmen kann. Nach fünfmaligem Chargenwechsel müssen die Trennmolche zur Eingangsstelle zurückgebracht werden. Das Eintreffen des Trennmolches an der Abzweigstelle wird durch einen dort eingebauten Molchkontakt zur Eingangsstelle gemeldet, worauf die an der Abzweigstelle eingebauten 2 elektrischen Hauptschieber von der Pumpstation aus umgesteuert werden. Bei Wechsel des Fördergutes schiebt also der Trennmolch von der Eingangsstelle aus die Rohölsäule durch den Hauptstrang über die Abzweigstelle in das bisher belieferte Werk. Nach Einfahren des Trennmolches in die Schleuse der Abzweigstelle und Umsteuern der Hauptschieber fließt das nachfolgende Rohöl zum anderen Werk, während der Abzweig zum ersten Werk mit dessen Rohöl gefüllt bleibt. Hierdurch ist eine einwandfreie Trennung der Rohöle bis auf eine kleine Menge von etwa 150 bis 200 l gewährleistet, die im Rohrstrange vor der Molchschleuse bis zu den beiden Elektroschiebern steht.

Da zur Gelsenberg Benzin A. G. fünfmal mehr Ol gefördert werden muß als zur Scholven Chemie A. G., wird das für die Scholven Chemie bestimmte Rohöl in 2 Zwischentanken in Ruhrort angesammelt bis diese gefüllt sind und das Rohöl für Scholven in einer Charge von 5000 t bis 6000 t durchgepumpt werden kann. Das für die Gelsenberg A. G. bestimmte Rohöl wird nach Möglichkeit direkt vom Tanker aus in die Olleitung gedrückt, wobei die Hochdruckpumpen stets voll beaufschlagt sein müssen. Die Förderpumpen der Anlegestelle müssen daher eine etwas größere Olmenge in die Saugleitung drücken als die Hauptpumpen in die Leitung weiterbefördern. Die Oltanke für die Gelsenberg Benzin A. G. liegen im Nebenschluß, so daß die überschießende Menge in diese abfließen kann. Im übrigen dienen diese Tanke der Aufnahme von Rohöl während der Zeit, in der die Leitung für die Scholven Chemie A. G. in Anspruch genommen ist.

In der Olleitung nach Gelsekirchen kommen Rohöle verschiedener Provenienz mit unterschiedlicher Viskosität zum Durchsatz. Die Verwendung von Kreiselpumpen erschien unzweckmäßig, da ihre Wirtschaftlichkeit bei der Förderung von Rohölen verschiedener Viskosität starken Schwankungen unterliegt. Kolbenpumpen hingegen hätten einen hohen Kapitalaufwand bedingt, der durch einen besseren Wirkungsgrad nicht aufgehoben wurde. Die Wahl fiel daher auf eine

innen verzahnte Zahnradpumpe, die aus einer Niederdruckpumpe von 10 atü entwickelt wurde und bei Vollast einen Wirkungsgrad von 60 % hat. Es sind zunächst 3 Pumpen mit je 50 m³/h und 2 Pumpen mit 25 m³/h bei 1000 U/min zur Aufstellung gelangt. Der Einbau einer weiteren Pumpe zu 50 m³/h wurde vorgesehen. Diese weitgehende Unterteilung wurde vorgenommen, um die Pumpenleistungen den jeweils zu fördernden Rohölmengen anpassen zu können. Die Förderleistung kann in der Leitung stark schwanken, da auch bei geringeren Fördermengen das Rohöl in der Olleitung nicht stehenbleiben, sondern mindestens mit kleiner Geschwindigkeit in Bewegung bleiben soll, um im Winter übermäßige Abkühlung und Paraffinausscheidungen zu vermeiden. Außerdem ist, wenn die Pumpen nach einem Stillstand der Anlage wieder eingeschaltet werden, ein viel höherer Anfangsdruck erforderlich, um die gesamte Flüssigkeitssäule von 36 km Länge wieder in Bewegung zu setzen. Die Pumpen sind in offener Grube aufgestellt. Zwischen Saug- und Druckleitung sind an jeder Pumpe Umläufe vorhanden, um sie ohne Last anfahren zu können. Ferner befindet sich zwischen der Druck- und Saugleitung hinter den Pumpen ein Sicherheitsventil, das bei einem Überdruck von mehr als 50 atü in die Saugleitung abbläst, so daß Pumpen und Olleitungen bei Steckenbleiben des Molches oder anderen Störungen nicht über den zulässigen Druck hinaus beansprucht werden. Das Ol fließt den Pumpen von sämtlichen Tanken aus mit freiem Gefälle zu.

Die Anlagen für den Umschlag der verschiedenen Olsorten zwischen Tanker, Eisenbahn und Lastkraftwagen gewährleisten eine schnelle Manipulation; insbesondere ist die Möglichkeit vorhanden, jedes Gut auf jedes Verkehrsmittel umzuschlagen. Die Be- und Entladung der Kesselwagen erfolgt direkt auf einer Waggonwaage; zur Beladung eines Waggons werden 5 bis 8 Minuten benötigt. Die Tankstelle für Straßenfahrzeuge ist für eine Leistung von 60 m³/h bemessen; sämtliche ein- und ausgehenden Olmengen können durch Zähler mit einer Stundenleistung bis zu 300 m³ ermittelt werden.

Mit dem fortschreitenden Ausbau der im Emsgebiet gelegenen Erdölfelder felder gewannen auch dort die Fragen des Oltransportes erhebliche Bedeutung. Ursprünglich wurde dort das Ol mit Eisenbahn-Kesselwagen, Tanklastwagen und Tankern den Verarbeitungsstätten zugeführt. Abgesehen davon, daß teilweise weder Eisenbahnstrecken noch geeignete Zufahrtswege zur Verfügung standen und die Kanäle im Winter durch Frost unpassierbar wurden, war diese umständliche Art der Olverteilung auch aus Kostengründen auf die Dauer nicht durchführbar. Es erfolgte daher eine Verbindung der verschiedenen Erdölfelder durch Zubringerleitungen mit einer zentralen Pumpstation in Osterwald. Die von hier ausgehende Olleitung erreicht bei Holthausen den Dortmund-Ems-Kanal und führt damit das Ol auf kürzestem Wege an die Wasserstraßen heran. Neben dem Umschlaghafen befindet sich eine Kesselwagen-Verladeanlage, um nach Zufrieren der Kanäle den Oltransport vom Wasser- auf den Schienenweg umzustellen.

Die hohe Zähflüssigkeit der zu transportierenden Emslandöle in Verbindung mit den teilweise sehr hoch liegenden Stockpunkten ließ eine Verpumpung durch erdverlegte, unisolierte Rohrleitungen unzweckmäßig erscheinen. Es wurden daher sämtliche Leitungen oberirdisch mit Wärmeisolierung verlegt. Aus gleichen Gründen mußte ein kontinuierlicher Betrieb der Olleitungen vorgesehen werden. Die Verlegung aller Olleitungen erfolgte freirollend auf Betonsockeln, in Moorgegenden auf Stahlrammrohrstützen. Der Stützenabstand wurde in den Geraden auf 8,80 m, in Kurven auf 6,90 m begrenzt. Bei der Festlegung der Festpunktabschnitte wurde eine Länge von 500 m nicht überschritten. Straßen, Wege,

Grundstückseinfahrten sowie ein Abschnitt im Hochwassergebiet der Ems wurden in Schutzrohren unterquert. Flußläufe und Kanäle wurden teilweise mittels Rohrbrücken überquert; in einigen Kanälen war es möglich, die Ölleitungen an vorhandenen Verkehrsbrücken zu befestigen. Zur Beseitigung von Schmutz- und Paraffinablagerungen werden auch hier Molche benutzt, außerdem sind Trennmolche erforderlich, um verschiedene Ölsorten voneinander getrennt verpumpen zu können. Zur Einführung bzw. Entnahme der Molche sind am Beginn und Ende der Leitungen Molchschleusen eingebaut.

Eine gute Isolierung der ständig in Betrieb befindlichen Olleitungen ist aus Gründen der wirtschaftlichen Förderung wichtig. Bei einem Teil der Leitungen kamen erstmalig Sillanschalen in einer Stärke von 80 mm und in Einzellängen von 0,5 m auf der halben Leitungslänge zur Verwendung, während der Rest dieser Leitungen mit Glasmatten isoliert wurde. Für die Ummantelung wurde verzinktes Stahlblech gewählt, das innen zusätzlich mit einem Bitumenanstrich versehen wurde. Besonders gute Ergebnisse wurden mit den Isolierschalen erzielt, die eine einfache Montage und Demontage gestatten und überdies eine Begehbarkeit der vorwiegend an öffentlichen Wegen angeordneten Leitungen ermöglichen. Daher wurden alle später gebauten Leitungen ausschließlich mit Isolierschalen aus Stein-(Sillan) bzw. Glaswolle isoliert.

Die Anlage der Hauptpumpstation Osterwald besteht aus einem Tanklager mit 8 Tanken von je 500 m³ Fassungsvermögen sowie der Pumpstation mit eigener Dampferzeugungsanlage. Außerdem wurde eine Kesselwagen-Entladestation eingerichtet. Die Aufgabe der zentralen Pumpstation besteht darin, das durch die verschiedenen Zubringer-Olleitungen sowie das mit Eisenbahn-Kesselwagen ankommende Ol aufzunehmen und sortenmäßig getrennt zum Umschlaghafen Holthusen am Dortmund-Ems-Kanal bzw. zum Tanklager der dortigen Raffinerie zu pumpen. Für diesen Zweck stehen 4 Drillings-Olpreßpumpen mit einer Förderleistung von je 27,8 t/h bei einem Betriebsdruck von maximal 100 atü zur Verfügung. Der Antrieb der Pumpen erfolgt durch schnellaufende Zweikurbeldampfmaschinen mit einer Höchstleistung von je 150 PS. Für die Aufheizung ist jedem Pumpenaggregat ein Hochdruck-Olvorwärmer von 75 m² Heizfläche nachgeschaltet.

Für die Dampferzeugung sind drei Strahlungskessel mit insgesamt 11 t/h Dampfleistung mit 25 atü bei 370° C vorhanden. Die Beheizung der Kesselanlage erfolgt durch anfallendes Erdölgas. In dieser Anlage prägt sich die Verbundwirtschaft dadurch aus, daß für sämtliche Heizvorgänge lediglich Abdampf verwendet wird. Von den Pumpenaggregaten sind normalerweise jeweils 3 parallel im Betrieb

In der Pumpstation am Kopfe der Olleitung Rühlertwist-Osterwald kamen Drillings-Olpreßpumpen mit einer Förderleistung von je 27,8 m³/h für einen Betriebsdruck von maximal 64 atü zur Aufstellung, die durch schnellaufende Zweikurbel-Dampfmaschinen mit einer Leistung von je maximal 125 PS angetrieben werden. Diese Antriebsart wurde auch hier aus Gründen der Verbundwirtschaft gewählt, da das Erdöl bei der Verpumpung aufgeheizt werden muß. Die Aufheizungstemperatur richtet sich nach Fördermenge und Lufttemperatur und ist abhängig von der Endtemperatur in der Leitung, die bei 30°C gehalten wird. Die Aufheizung erfolgt in einem den Pumpen nachgeschalteten Hochdruckröhren-Vorwärmer.

Die Olmengen werden vor ihrer Abgabe im Tanklager der Hauptpumpstation gemessen. Hierfür ist jeder Tank mit einem Differenzdruckmesser-Manoskop und einem parallelgeschalteten Inhaltsschreiber ausgestattet. Diese Meßmethode hat

sich im Betrieb bewährt und bietet bei aller Einfachheit den Vorteil großer Meßgenauigkeit (Fehlerbereich 0,1 bis $0.3\,$ %). Außerdem sind keinerlei Umrechnungen erforderlich, da die Ablesung der Meßwerte direkt in Tonnen mit einer Ablesegenauigkeit von $^{1}/_{10}$ t erfolgt.

Abschließend sei die Verlegung eines Rohrbündels quer durch die Süderelbe erwähnt, die durch die Erweiterung eines Mineralölwerkes in Hamburg-Harburg erforderlich wurde, um ein auf der gegenüberliegenden Flußseite gelegenes Gelände durch Rohrleitungen mit dem Stammwerk zu verbinden. Der Bau einer Rohrbrücke kam wegen der erheblichen Flußbreite und des dort herrschenden Verkehrs von Uberseeschiffen nicht in Betracht. Die Benutzung der Süderelbebrücken schied wegen großer Entfernung ebenfalls aus. Auch der Bau eines Tunnels unterhalb der Flußsohle mußte wegen der beträchtlichen Baukosten unterbleiben. Als Lösung dieser Aufgabe verblieb schließlich die Unterdükerung, d. h. die Verlegung eines Rohrbündels quer durch das Flußbett in einer entsprechend tief ausgebaggerten Rinne. Aus schiffahrtstechnischen Gründen und unter Berücksichtigung einer später geplanten Vertiefung der Fahrrinne mußten die Rohrleitungen in einer Tiefe von 12,00 m unter NNW verlegt werden. Zur Bewältigung der geforderten Pumpleistung von 2000 m³/h hatte man die Wahl zwischen einer kleinen Anzahl großer und einer größeren Anzahl kleinerer Rohre. Die Entscheidung fiel auf mehrere Rohrstränge kleineren Durchmessers, In Hinblick auf die unterschiedlichen Viskositäten der zu transportierenden Olsorten wurden die Rohrweiten gestäffelt in 4 Rohrleitungen von 250 mm ϕ , 2 Rohrleitungen von 200 mm ϕ und zwei Rohrleitungen von 150 mm ϕ . Durch das Einschleppen des Dükers von 160 t Gewicht und 370 m Länge durch die hier 330 m breite und 9,00 m tiefe Süderelbe wurde die erforderliche Rohrleitungsverbindung zwischen den beiden Werkteilen hergestellt. Das aus 8 Strängen bestehende Rohrbündel wurde unter Ausnutzung seines elastischen Formänderungsvermögens über die entsprechend dem zulässigen Biegeradius vorbereiteten Uferböschungen in die ausgebaggerte Querrinne gezogen und damit sofort in seine endgültige Lage gebracht.

3. Sicherheitsmaßnahmen beim Mineralölumschlag sowie beim Entgasen und Reinigen von Tankschiffen

Der bedeutendste deutsche Umschlaghafen für Mineralöle ist Hamburg. Im Jahre 1955 wurden hier 6,3 Millionen Tonnen Mineralöl umgeschlagen, das sind rund 63 Prozent der gesamten westdeutschen Mineralölein- und -ausfuhr und rund 72 Prozent der in allen westdeutschen Seehäfen umgeschlagenen Mineralöle. Im Hafenbereich sind mehrere große Raffinerien zur Herstellung von Benzin, Dieselöl, Schmieröl und anderen Produkten der Rohölverarbeitung vorhanden, die zum Teil noch beträchtlich erweitert werden, zum Teil für die nächste Zukunft Erweiterungen planen. Die in Hamburg getroffenen Sicherheitsmaßnahmen können daher als repräsentativ für die Bundesrepublik Deutschland gelten, um so mehr als die Verhandlungen über eine Neufassung der zur Zeit noch gültigen Sicherheitsbestimmungen erst vor kurzem abgeschlossen worden sind. In absehbarer Zeit kann daher mit dem Inkrafttreten neuer, die letzten Erfahrungen von Theorie und Praxis berücksichtigender Vorschriften gerechnet werden; ihr Inhalt ist den folgenden Ausführungen zugrunde gelegt.

Das starke Anwachsen des Mineralölumschlags im Hamburger Hafen in den letzten Jahren (1952: 3,2 Millionen Tonnen — 1955: 6,3 Millionen Tonnen) und die in Ausführung begriffenen Kapazitätserweiterungen der ortsansässigen

Mineralölindustrie (1955: 4,6 Millionen Tonnen — 1960: 8,0 Millionen Tonnen) haben die Hamburger Hafenbehörden veranlaßt, die bestehenden und zum Teilveralteten Sicherheitsbestimmungen für den Mineralölumschlag zu überprüfen, um sie den jetzt gegebenen Verhältnissen entsprechend neu zu fassen. Das Ziel war dabei, die bisweilen einander widerstrebenden Interessen der Mineralölindustrie, der Tankschiffreeder und der für die Sicherheit verantwortlichen Behörden miteinander in Einklang zu bringen, also an Sicherheitsvorschriften gerade so viel, aber auch nicht mehr zu erlassen, als bei den gegebenen technischen Verhältnissen erforderlich scheint.

Der Erlaß von Sicherheitsvorschriften für den Umschlag und die Lagerung von Mineralölen war als polizeiliche Angelegenheit schon im alten Deutschen Reich Aufgabe der in ihm zusammengeschlossenen Länder, für den Hamburger Hafen also der Freien und Hansestadt Hamburg. Die zur Zeit gültigen Vorschriften sind in der "Hafenpolizeiordnung für den Hafen Hamburg" vom 26. Juli 1935 mit Ergänzungen aus dem Jahre 1954 und 1956 enthalten. — Auch nach dem Grundgesetz der Bundesrepublik fallen derartige Polizeiaufgaben in die Zuständigkeit der Länder, daher werden auch die neuen Vorschriften in Form einer neuen Hafenpolizeiordnung vom Senat der Freien und Hansestadt Hamburg erlassen werden. Es ist selbstverständlich, daß dabei die einschlägige Gesetzgebung des Bundes, zum Beispiel "die Verordnung über die Beförderung gefährlicher Güter mit Seeschiffen" vom 1. Januar 1956, und etwaige internationale Vereinbarungen berücksichtigt werden.

Die technischen Einzelfragen der Neuregelung sind von den zuständigen Behörden in Zusammenarbeit mit den beteiligten Kreisen der Mineralölindustrie und der Tankschiffahrt abschließend geklärt, und der Wortlaut der neuen technischen Vorschriften ist im wesentlichen festgelegt; mit dem Erlaß der neuen Hafenpolizeiordnung ist in absehbarer Zeit zu rechnen. Es erscheint daher vertretbar, das Wesentliche daraus als dem neuesten Stand der Erkenntnisse entsprechend schon jetzt mitzuteilen.

Die Vorschriften gliedern sich in solche:

- a) für den Umschlag von Mineralölen,
- b) für das Entgasen und Reinigen von Tankschiffen zur Vornahme von Reparaturen und ähnlichen Arbeiten.

Vorschriften für den Mineralölumschlag

Wie international üblich, wird die neue Hamburger Hafenpolizeiordnung

- a) explosionsgefährliche Güter,
- b) feuergefährliche Güter,
- c) leicht entzündbare Güter

unterscheiden.

Zur Gruppe a) gehören beispielsweise Sprengstoffe aller Art,

zur Gruppe b) unter anderem Mineralöle und

zur Gruppe c) Jute, Baumwolle, Heu, Stroh und ähnliches.

Hier interessieren nur die Mineralöle, die — ebenfalls internationalem Brauch entsprechend — in drei Gefahrenklassen K 1, K 2 und K 3 eingeteilt werden.

Unter K 1-Stoffen werden verstanden

- a) mit Wasser nicht mischbare Flüssigkeiten mit einem Flammpunkt unter 21 Grad Celsius, auch wenn sie von festen, in den Flüssigkeiten gelösten oder suspendierten Stoffen nicht entmischbar oder von beiden zusammen höchstens 30 Prozent enthalten;
- b) mit Wasser nicht mischbare Flüssigkeiten mit einem Flammpunkt unter 21 Grad Celsius, wenn sie von festen, in den Flüssigkeiten gelösten oder suspendierten Stoffen (ausgenommen Nitrozellulose) nicht entmischbar oder von beiden zusammen mehr als 30 Prozent enthalten;
- c) mit Wasser in beliebigem Verhältnis mischbare Flüssigkeiten mit einem Flammpunkt unter 21 Grad Celsius, auch wenn sie von festen, in den Flüssigkeiten gelösten oder suspendierten Stoffen nicht entmischbar oder von beiden zusammen höchstens 30 Prozent bei Nitrozellulose zusammen höchstens 40 Prozent enthalten.

Unter K2-Stoffen werden verstanden

mit Wasser nicht mischbare Flüssigkeiten mit einem Flammpunkt von 21 Grad Celsius bis 55 Grad Celsius (die Grenzwerte inbegriffen), auch wenn sie von festen, in den Flüssigkeiten gelösten oder suspendierten Stoffen — nicht entmischbar — oder von beiden zusammen höchstens 30 Prozent enthalten.

Unter K3-Stoffen werden verstanden

mit Wasser nicht mischbare Flüssigkeiten mit einem Flammpunkt über 55 Grad bis 100 Grad Celsius (den Grenzwert 100 Grad Celsius inbegriffen), auch wenn sie von festen, in den Flüssigkeiten gelösten oder suspendierten Stoffen — nicht entmischbar — oder von beiden zusammen höchstens 30 Prozent enthalten.

Für den Umschlag von K1- und K2-Stoffen gilt die Vorschrift, daß solche Güter grundsätzlich nur in sogenannten Tankschiffhäfen umgeschlagen werden dürfen, also nicht in Hafenteilen, die dem allgemeinen Verkehr zugänglich sind. Welche Teile des Hamburger Hafens Tankschiffhäfen sind, wird in der Verordnung neu beschrieben und festgelegt werden. In solchen Tankschiffhäfen dürfen Schiffe nur mit einer besonderen Genehmigung der zuständigen Behörde verkehren, die nur erteilt wird, wenn ein zwingender Anlaß zum Befahren eines der Tankschiffhäfen vorliegt. Für das Befahren der Tankschiffhäfen müssen die Schiffe mit besonderen Einrichtungen zur Verhütung von Funkenflug versehen sein und weitere Vorschriften zur Verhütung von Funkenbildung und anderer Zündquellen befolgen. Insbesondere ist das Rauchen und der Gebrauch von offenem Feuer verboten. Tankschiffe dürfen in den Tankschiffhäfen nicht mit Drahttrossen oder Ketten festmachen, sondern ausschließlich mit Manilaseilen. Ferner ist der Zutritt von Personen zu den Tankschiffhäfen und den Tankschiffen beschränkt; die Genehmigung erhalten nur Angehörige solcher Besatzungsmitglieder, die während der Liegezeit im Hafen unabkömmlich sind und Personen, die zum reibungslosen Ablauf des Schiffsbetriebes anwesend sein müssen. Sonstige Besucher werden nicht zugelassen.

Besonders eingehende Vorschriften sind für den eigentlichen Umschlag der Mineralöle ausgearbeitet worden. Grundsätzlich darf ein Tankschiff mit dem Umschlag in einem Tankschiffhafen erst beginnen, nachdem eine Untersuchungskommission die hierfür vorgesehenen Bordeinrichtungen auf ihre Sicherheit hin geprüft und die Wasserschutzpolizei daraufhin deren Benutzung freigegeben hat. Schiffen, die in kurzen Zeitabständen regelmäßig den Hamburger Hafen anlaufen, werden Erleichterungen zugestanden, indem die Freigabe ohne weitere Besichtigung für einen längeren Zeitraum erteilt wird. Die Untersuchungskommission besteht aus je einem Vertreter der Wasserschutzpolizei, der Feuerwehr und der

Arbeitsschutzbehörde. Vertreter weiterer Behörden können hinzugezogen werden; außerdem ist die Handelskammer berechtigt, einen sachverständigen Vertreter aus Kreisen der Wirtschaft in die Kommission zu entsenden.

Zum Umschlag dürfen nur betriebssichere Schläuche und Verbindungsteile verwandt werden, deren Nenndruck höher als der maximale Betriebsdruck ist. Die Betriebssicherheit der Schläuche und der Anschlußstücke muß während des Umschlags ständig überwacht werden. Alle für den Umschlag verwendeten Schläuche müssen durch sachverständige Personen, die vom Umschlagbetrieb vorgeschlagen und amtlich bestätigt sind, in wiederkehrenden Fristen von längstens 12 Monaten einer Druckprobe unterworfen werden, wobei die Schläuche den 1,3fachen maximalen Betriebsdruck aushalten müssen. Das Prüfdatum muß auf den Schläuchen vermerkt werden. Das Ergebnis der Schlauchprüfung muß listenmäßig registriert werden.

Bevor eine Schlauchverbindung zwischen Schiff und Land hergestellt wird, muß das Schiff mit den an Land befindlichen Rohrleitungen elektrisch leitend verbunden sein; diese leitende Verbindung darf erst nach Lösen der Schlauchanschlüsse wieder entfernt werden.

Der Zweck dieser Vorschriften ist ohne weitere Erläuterung klar: Die häufigsten Unfälle beim Mineralölumschlag sind durch brüchige Schläuche entstanden, so daß der ständigen Überwachung des Schlauchmaterials eine hohe Bedeutung beizumessen ist. Hierfür soll durch die genannten Vorschriften eine klare Organisation geschaffen werden.

Die weitere Vorschrift über die elektrisch leitende Verbindung zwischen Schiff und Land bezweckt die Ausschaltung elektrostatischer Aufladungen oder sonstiger Potentialdifferenzen zwischen Schiff und Land, die beim Anschluß der Schläuche Funkenbildung in unmittelbarer Nähe der Olleitungen verursachen und damit Anlaß zu Explosionen geben können.

Tankschiffe müssen so festgemacht werden, daß weder an den Schlauchleitungen noch an den etwa zwischen Land und Schiff verlegten elektrischen Kabeln Zugbeanspruchungen auftreten können. Außerdem müssen Schlauchleitungen und Kabel so verlegt werden, daß sie durch etwaige Bewegungen des Schiffes nicht beschädigt werden können.

Der Grund für diese Vorschrift liegt unter anderem darin, daß Hamburg ein offener Hafen mit Gezeiteneinfluß ist. Normalerweise schwanken die Wasserständ zwischen Mittelniedrigwasser und Mittelhochwasser um 2,30 m. Dementsprechend bewegen sich auch die Tankschiffe auf und nieder, wobei sich ein Lockerwerden der Schiffstrossen unter Umständen nicht vermeiden läßt. Deshalb muß mit besonderer Sorgfalt darauf geachtet werden, daß nicht plötzlich eine Zugbeanspruchung an den Schläuchen oder Kabeln auftritt, sie könnten dadurch reißen, wobei sich bei den Schläuchen ein Ausfließen von Ol mit allen dadurch verursachten Gefahrenzuständen ergeben würde, während sich beim Reißen von Kabeln Funken bilden können, die etwa vorhandene Gaswolken zur Entzündung bringen würden.

Alle mit dem Umschlag zusammenhängenden Vorarbeiten (Verlegen der Schläuche, richtige Stellung der Ventile in ölführenden Leitungen und anderes mehr) dürfen nur von sachkundigen und zuverlässigen Personen ausgeführt werden. Vor dem Beginn des Pumpens hat sich eine verantwortliche Person davon zu überzeugen, daß alle Verbindungen einwandfrei hergestellt sind.

Durch diese Vorschrift soll sichergestellt werden, daß nicht durch den Einsatz untergeordneter oder unzuverlässiger Personen Gefahren entstehen. Der Grund für diese Vorschrift ist insbesondere die Erfahrung, daß Unfälle meistens durch Leichtsinn oder Unkenntnis entstehen, selten durch wirkliche unausweichliche Ereignisse.

Alle Offnungen, welche die Tanks des Schiffes mit der Außenluft verbinden, müssen gasdicht geschlossen sein; ausgenommen sind die über Deck geführten, an ihrer Mündung mit fest eingebauten, wirksamen Flammendurchschlagsicherungen versehenen Lüftungseinrichtungen. Während des Ladens oder Löschens müssen die zum Druckausgleich beim Pumpen notwendigen Offnungen mit wirksamen und fest eingebauten Flammendurchschlagsicherungen versehen sein. Alle anderen Offnungen müssen gasdicht verschlossen sein.

Diese Vorschrift soll sicherstellen, daß eine etwa außen sich ereignende Explosion irgendwelcher ausgetretener Gase sich nicht in einen der Schiffstanks fortpflanzen kann.

Sind keine von außen ablesbaren Flüssigkeitsstandanzeiger vorhanden, so dürfen Peil- und Schauöffnungen nur kurzfristig solange geöffnet werden, wie es zur Feststellung des Flüssigkeitsstandes unbedingt erforderlich ist.

Diese Vorschrift soll auch in Fällen, wo Flüssigkeitsstandanzeiger nicht vorhanden sind, verhindern, daß Offnungen der Tanks länger als unbedingt erforderlich offengehalten werden, um die damit verbundenen Gefahren auszuschließen.

Die Förderleistung beim Pumpen muß dem freien Querschnitt der Druckausgleichsöffnungen (die mit fest eingebauten und amtlich anerkannten Sicherungen versehen sein müssen) angepaßt sein. Hierüber ist Einvernehmen zwischen Landbetrieb und Schiffsleitung herbeizuführen.

Das Bestreben, die Tankschiffe möglichst rasch zu entleeren oder zu füllen, hat zu immer größeren Pumpleistungen geführt. Weil die Druckausgleichsöffnungen häufig solchen Pumpleistungen nicht gewachsen sind, hat man oft zusätzliche Luken geöffnet, um den Druckausgleich zu ermöglichen. Da solche Luken dann in der Regel nicht gegen Flammendurchschlag gesichert sind und auch nicht gesichert werden können, entsteht hier eine Gefahrenquelle, die durch die vorgenannte Vorschrift ausgeschlossen werden soll. Tankschiffe, die eine große Pumpenleistung beim Laden und Löschen zum Einsatz bringen wollen, müssen also baulich so hergerichtet sein, daß die für eine solche Pumpenleistung nötigen Druckausgleichsöffnungen vorhanden und mit wirksamen Flammendurchschlagsicherungen versehen sind.

Um im Gefahrenfalle ein sofortiges Unterbrechen des Umschlags bewirken zu können, ist weiterhin vorgeschrieben:

- a) Der Einsatz je einer verantwortlichen Person an Bord und an Land als Schlauchwache. Die Schlauchwachen haben die Absperrvorrichtungen im Gefahrenfalle sofort zu schließen und zu veranlassen, daß die Förderung unterbrochen wird. Dafür müssen geeignete Einrichtungen vorhanden sein (zum Beispiel Alarmleitungen zur Pumpstation).
- b) In der an Land verlegten Förderleitung muß eine zweite Absperrvorrichtung an einer ungefährdeten Stelle vorhanden sein, die von der Schlauchwache schnell und sicher erreicht werden kann. Diese Absperrvorrichtung ist von

der Schlauchwache zu schließen, wenn der Zutritt zu der am Anschluß des Verbindungsschlauches befindlichen Absperrvorrichtung (zum Beispiel im Brandfall) nicht mehr möglich ist.

c) Die als Schlauchwache eingesetzten Personen dürfen ihren Standort während des Umschlagvorganges unter keinen Umständen verlassen.

Der Zweck dieser Vorschriften besteht darin, während des Umschlagvorganges eine ständige Überwachung der Schlauchverbindungen zu haben, um auf diese Weise sich anbahnende Gefahren rechtzeitig zu erkennen und nötigenfalls ein Unterbrechen des Umschlagvorganges veranlassen zu können. Ferner sollen die Schlauchwachen ein Rissigwerden der Schläuche erkennen und etwaige Zerrungen oder Quetschungen des Schlauches infolge von Bewegungen des Schiffes, die ihrerseits durch den Gezeiteneinfluß oder durch Wind oder Wellenschlag erzeugt sein können, verhindern.

Für die Bekämpfung etwaiger Brände müssen am Brückenzugang Entnahmestellen für den Einsatz von Löschschaum eingerichtet werden, die an die Schaumlöschleitungen des Umschlagbetriebes angeschlossen sind. Außerdem ist an dieser Stelle ein sofort einsatzbereites, an die Schaumlöschanlage des Umschlagbetriebes anschließbares bewegliches Schaumrohr bereitzuhalten, dessen Leistungsfähigkeit nach den örtlichen Verhältnissen von der Feuerwehr bestimmt wird.

Beim Nahen und während eines Gewitters sind Blitzableiter und Antenenanlagen des Schiffes zu erden. Der Umschlag ist sofort einzustellen. Es 'st sicherzustellen, daß etwa in den Rohren und Schläuchen verbliebene Reste der umgeschlagenen Flüssigkeiten beim Lösen der Schlauchverbindungen nicht in den Hafen fließen können.

Der Zweck dieser Vorschriften ist die Sicherstellung der Möglichkeit, einen entstehenden Brand sofort an der Entstehungsstelle mit stärksten Mitteln bekämpfen zu können; die Vorschriften für den Fall eines Gewitters und zur Verhütung des Ausfließens von Olresten bezwecken die Ausschaltung weiterer Gefahrenquellen.

Alle bisher angeführten Bestimmungen gelten für den Umschlag von Stoffen der Gefahrenklasse K 1 und K 2. Für den Umschlag von K 3-Stoffen, der nicht auf die Tankschiffhäfen beschränkt ist, sondern überall im Hafen vorgenommen werden darf, gelten von den vorstehend genannten Vorschriften nur diejenigen über die Sicherheit der Schläuche, über das Festmachen der Schiffe, über den Einsatz sachkundigen und zuverlässigen Personals, den Einsatz von Schlauchwachen und über die Verhütung des Ausfließens von Olresten.

Vorschriften für das Entgasen und Reinigen von Tankschiffen

Wenn ein Tankschiff, das zuletzt K 1- oder K 2-Stoffe geladen hatte, zur Vornahme von Reparaturen oder zum Docken im Hafen bleiben will, so gelten besondere Vorschriften für das Gasfreimachen der Schiffsräume. Diese umfassen im wesentlichen folgende Maßnahmen:

Das Schiff muß — möglichst in einem der Tankschiffhäfen, sonst an einem besonderen, von der Hafenbehörde zugewiesenen, geeigneten Liegeplatz — nach einem behördlich anerkannten Verfahren entgast werden. Dabei sind Entgasungsund Reinigungsverfahren zu bevorzugen, bei denen die Bildung und Verbreitung explosionsfähiger Gasgemische weitmöglichst unterbunden wird, möglichst sichere

und günstige Arbeitsbedingungen für die eingesetzten Arbeitskräfte geschaffen werden und jede Verschmutzung des Hafenwassers unterbleibt. In der Praxis wird heute überwiegend das Butterworth-Verfahren angewandt, bei dem heißes Wasser und Dampf — bisweilen unter Zusatz von Chemikalien — in den Tanks versprüht werden. Kann ein Schiff die Entgasung nicht an einem Liegeplatz im Tankschiffhafen durchführen, zum Beispiel, weil der Liegeplatz für ein neu ankommendes Tankschiff benötigt wird, so muß der ihm zuzuweisende Liegeplatz außerhalb eines der Tankschiffhäfen so beschaffen sein, daß dem Schiff innerhalb eines Sicherheitsabstandes von mindestens 30 Metern alle Zündquellen ferngehalten werden. Das Schiff muß beim Entgasen Signale führen, und zwar bei Tage eine weit erkennbare, stets ausgespannt zu haltende Flagge B des internationalen Signalbuches, bei Nacht ein rotes Licht im Vortopp. Von Schiffen, welche diese Signale führen, haben alle anderen einen Sicherheitsabstand von mindestens 30 Metern einzuhalten.

Nach Beendigung der Entgasungsarbeiten muß ein behördlich zugelassener vereidigter Sachverständiger feststellen und bescheinigen, daß in den Tanks, Kofferdämmen, Pumpenräumen und Rohrleitungen gesundheitsschädliche oder entzündbare Gase (Stoffe) in gefahrdrohender Menge nicht enthalten sind (Gasfreiheitszeugnis). Erst wenn die Wasserschutzpolizei dieses Gasfreiheitszeugnis erhalten und anerkannt hat, darf das Schiff im Hafen frei verlegt und mit dem Docken oder den Reparaturarbeiten begonnen werden.

Sachverständige für die Ausstellung solcher Gasfreiheitszeugnisse werden nach besonderen Vorschriften von der Arbeitsbehörde zugelassen. Der Sachverständige soll die Untersuchungen persönlich durchführen; mindestens muß er die Untersuchungen an Ort und Stelle überwachen, die Maßergebnisse selbst auswerten und das Gasfreiheitszeugnis persönlich ausfertigen. Er ist verpflichet, Arbeitsbücher über den Gang und das Ergebnis der Untersuchungen zu führen und diese mit Abschriften aller ausgestellten Gasfreiheitszeugnisse fünf Jahre aufzubewahren.

Zweck dieser Vorschrift ist, die unbedingte Verläßlichkeit der Gasfreiheitszeugnisse sicherzustellen und dafür Sorge zu tragen, daß keinesfalls durch Unachtsamkeit oder Leichtsinn Reparaturarbeiten — bei denen in den meisten Fällen offene Flammen verwendet werden müssen oder Funkenbildung eintritt — begonnen werden, bevor das Schiff einwandfrei entgast ist.

Ein Gasfreiheitszeugnis gilt grundsätzlich nur für 24 Stunden, weil die in den Tanks verbliebenen Olreste (Olschlamm) "nachgasen". Dabei entstehen neue Gasschwaden aus dem Olschlamm, die nach gewisser Zeit von neuem ein explosionsfähiges Gemisch bilden können. Daher muß die Untersuchung der Gasfreiheit an jedem weiteren Liegetag des Schiffes wiederholt und ein neues Gasfreiheitszeugnis ausgestellt werden. Nur in Ausnahmefällen darf die Arbeitsschutzbehörde genehmigen, daß die erneute Untersuchung unterbleibt, wenn nämlich die Neubildung von Gasen aus besonderen Gründen nicht zu befürchten ist. — Auf der anderen Seite ist jede mit den Reparaturarbeiten befaßte Aufsichtsperson verpflichtet, eine erneute Untersuchung durch den Sachverständigen zu veranlassen, wenn der Verdacht entsteht, daß sich neue Gasschwaden gebildet haben. Bei Arbeiten in Tanks, Kofferdämmen und Pumpenräumen dürfen auch im entgasten Schiff — nur explosionsgeschützte elektrische Lampen und Maschinen verwendet werden. Alle dafür verwendeten Lampen, Kabel, Schalter und so weiter sind vor Gebrauch sorgfältig darauf hin zu prüfen, ob sie den Sicherheitsvorschriften entsprechen.

Schiffe, deren letzte Ladung aus K 3-Stoffen oder aus Mineralölen mit einem Flammpunkt von mehr als 100 Grad Celsius bestand, bedürfen nur eines einmaligen Gasfreiheitszeugnisses. Ergibt dabei allerdings die vorgenommene Untersuchung die Anwesenheit von Flüssigkeiten oder Gasen der Gefahrenklassen K 1 oder K 2, so ist das Schiff wie ein solches zu behandeln, das zuletzt Stoffe der Gefahrenklasse K 1 oder K 2 geladen hatte.

Es bleibt noch zu berichten, welche Vorschriften im einzelnen für die Zulassung von Sachverständigen für die Feststellung der Gasfreiheit vorgesehen sind. Solche Sachverständige müssen folgende Voraussetzungen erfüllen:

- 1. Durch Diplomhauptprüfung abgeschlossenes Studium der Fachrichtung Chemie, physikalische Chemie oder Verfahrenstechnik an Technischen Hochschulen, Universitäten oder Bergakademien.
- 2. Zweijährige Praxis in der Durchführung von Untersuchungen auf das Vorhandensein und die Konzentration entzündlicher und gesundheitsschädlicher Gase oder Dämpfe. Kenntnis aller Tankschiffeinrichtungen, die der Aufbewahrung und dem Umschlag der Ladegüter dienen, Kenntnis der Entgasungs- und Tankreinigungsmethoden und der Eigenschaften der Tankschiffsladungen.
- 3. Selbständige Berufsausübung, wobei eine Bindung weder durch vertragliche noch sonstige Vereinbarungen, die die wirtschaftliche Unabhängigkeit des Sachverständigen in Frage stellen, vorliegen darf.
- 4. Besitz eines Gasprüfgerätes, das dem jeweiligen Stand der Technik entspricht und von der obersten Technischen Bundesbehörde zugelassen ist.

In Ausnahmefällen können auch Sachverständige anerkannt werden, die beim Nachweis besonderer Leistungen und Erfahrungen den unter 1. geforderten Ausbildungsnachweis nicht führen können.

Die Zulassungsbehörde kann eine erteilte Zulassung für eine beschränkte Zeit (bis zu einem Jahr) oder dauernd widerrufen, wenn der Sachverständige gegen die für seine Tätigkeit erlassenen Bestimmungen verstößt oder andere Tatsachen zur Kenntnis der Zulassungsbehörde gelangen, die ihn für die Ausstellung von Gasfreiheitszeugnissen ungeeignet erscheinen lassen.

Zusammenfassend kann man sagen, daß die vorstehend erläuterten neuen Vorschriften den Zweck haben, alle Gefahren nach Möglichkeit auszuschließen, ohne den Betrieb der Tankschiffe und der Umschlaganlagen an Land mehr als unvermeidlich zu behindern. Ganz besonderer Wert wurde darauf gelegt, die Zuständigkeit und Verantwortlichkeit für alle Fälle klar festzulegen und sicherzustellen, daß keine mit unvermeidlichen Gefahren verbundenen Arbeitsvorgänge durchgeführt werden, ohne daß verantwortliche Aufsichtspersonen mit ausreichender Vorbildung zugegen sind.

4. Maßnahmen, um der Verschmutzung der Hafengewässer durch die Schiffahrt vorzubeugen oder sie zu verringern

Die Verschmutzung der Hafengewässer kann die verschiedensten Ursachen haben, die sich aber immer drei großen Gruppen zuordnen lassen:

- a) Verschmutzung durch die Abwässer der Hafenstadt,
- b) Verschmutzung durch die Hafenindustrie,
- c) Verschmutzung durch die Schiffahrt.

Zwar wird der Schwerpunkt der Verschmutzungsursachen in jedem speziellen Fall verschieden gelagert sein, doch ist ihre Einordnung in diese drei Gruppen stets zweckmäßig, weil die Maßnahmen im Kampf gegen die Verschmutzung bei jeder dieser Gruppen grundlegend anders aussehen müssen. Die Verringerung der Verschmutzung der Hafengewässer durch die städtischen Abwässer ist weniger ein technisches als ein finanzielles Problem. Es wird immer ohne große Schwierigkeiten möglich sein, genügende Kläranlagen vorzuhalten, sofern das dazu nötige Investitionskapital zur Verfügung steht.

Abwässer der Hafenindustrie können außerordentlich buntscheckig zusammengesetzt sein und von Kupfer und Arsen über Phenol und Mineralöl bis hin zu Milzbrandbazillen alle möglichen das Leben im und am Wasser gefährdenden Giftstoffe enthalten. Da die Industrie aber — ebenso wie die Kläranlagen der Stadtentwässerung — stationär ist, lassen sich in verständnisvoller Zusammenarbeit verhältnismäßig leicht Wege zu einer ausreichenden Reduzierung der Verschmutzung finden, auch lassen sich die Verschmutzungsquellen mit verhältnismäßig geringem Aufwand unter Kontrolle halten und die Durchführung und Wirksamkeit der getroffenen Maßnahmen überwachen.

Ganz anders liegen die Dinge dagegen bei der Verschmutzung durch die Schiffahrt — insbesondere die Tankschiffahrt —, die in diesem Rahmen allein zu behandeln ist. Wegen der ständigen Ortsveränderung der Schiffe entzieht sich diese Verschmutzungsquelle einer durchgreifenden Überwachung und Kontrolle; andererseits ist wegen des beschränkten Raums eine Aufarbeitung oder Vorbehandlung der anfallenden Abfallstoffe an Bord nur in den seltensten Fällen möglich. Das Schiff ist daher fast immer darauf angewiesen, seine Abfallstoffe im Rohzustand dem Gewässer zu übergeben, wenn nicht seitens der Hafenbehörden dafür gesorgt wird, daß solche Stoffe an Hafenfahrzeuge oder landfeste Anlagen abgegeben werden können.

Eine erfolgreiche Bekämpfung der Verschmutzung der Hafengewässer durch die Schiffahrt ist von zwei Voraussetzungen abhängig, nämlich:

- 1. einer klaren Rechtsgrundlage;
- 2. technischen Maßnahmen zur Aufnahme der Schmutzstoffe.

Eine klare und eindeutige R e c h t s g r u n d l a g e (Gesetz oder Verordnung) muß einmal unmißverständlich zum Ausdruck bringen, was als verbotene Verschmutzung anzusehen ist und was mit den Schmutzstoffen zu geschehen hat; zum anderen muß sie der Hafenverwaltung die Möglichkeit geben, schnell und wirksam gegen eine Verunreinigung vorzugehen, notfalls mit empfindlichen Strafen.

Die technischen Maßnahmen müssen es der Schiffahrt ermöglichen, sich in wirtschaftlich tragbarer Form ohne besondere Schwierigkeiten ihrer Abfallstoffe zu entledigen. Dazu gehört die Organisation der Abnahme dieser Stoffe von Schiffen und ihre Beförderung zu besonderen, an Land zu schaffenden Aufnahmestellen.

Eine besonders schwierige Frage ist die der Kostendeckung und der Herstellung eines gut abgewogenen Verhältnisses zwischen den vom Schiff zu tragenden Abfuhrkosten und der Höhe einer evtl. verwirkten Strafe. Die Lösung dieser Frage ist schwieriger als man zunächst annimmt. Jede Hafenverwaltung wird einerseits bestrebt sein, den anlaufenden Schiffen mit dem größtmöglichen Entgegenkommen zu begegnen; sie wird ihre "Kunden" also nur ungern mit Strafandrohungen begrüßen. Andererseits bringt aber die Beseitigung der Abfallstoffe in den meisten Fällen erhebliche Unkosten mit sich, die allein zu tragen jede Hafenverwaltung ablehnen muß, und sei es nur aus dem Grunde, um die Schiffe zu veranlassen, die abzunehmenden Abfallmengen möglichst klein zu halten. Die

Höhe der Abgabekosten schreibt aber gewissermaßen die Höhe des angedrohten Strafmaßes vor, da man Strafandrohungen bekanntlich nur für diejenigen braucht, die jede freiwillige Rücksichtnahme auf das Gemeinwohl aus egoistischen Gründen ablehnen; solche Menschen werden sich aber immer ausrechnen, ob die ordnungsmäßige Abfuhr der Abfälle oder die zu erwartende Strafe für Gewässerverschmutzung für sie billiger ist, wobei das Risiko einer nicht immer möglichen Feststellung des Verschmutzers wahrscheinlich noch einkalkuliert wird.

Der Weg, den Hamburg als größter Seehafen der Bundesrepublik Deutschland eingeschlagen hat, um sich die erwähnten Voraussetzungen für einen wirksamen Kampf gegen die Verschmutzung der Hafengewässer durch die Schiffahrt zu schaffen, sei als eine von vielen Möglichkeiten im folgenden dargestellt. Daß dieser Weg nicht ohne weiteres auf andere Häfen übertragen werden kann, ist selbstverständlich; vieles ist durch besondere örtliche Gegebenheiten und historische Zusammenhänge bedingt. Dennoch ist es denkbar, daß einige dieser Maßnahmen allgemeines Interesse finden und als Anregungen dienen können, und sei es nur, um offensichtlich unbrauchbare Lösungen von vornherein zu vermeiden.

Die geschichtliche Entwicklung und der föderative Staatsaufbau haben es mit sich gebracht, daß es in Deutschland noch nie ein einheitliches Wasserrecht und damit auch keine einheitlichen Reinhaltevorschriften gegeben hat. Die kodifizierten Wassergesetze der einzelnen Bundesländer des ehemaligen Deutschen Reiches, die heute noch Gültigkeit haben, sind alt und entsprechen in vielen Bestimmungen nicht mehr den heutigen Verhältnissen. — Auch heute fällt die Wassereinzelgesetzgebung in die Kompetenz der einzelnen Länder der Bundesrepublik Deutschland; der Bund hat allerdings das Recht der Rahmengesetzgebung. Der Ruf nach einem solchen Rahmengesetz für den Wasserhaushalt als einheitliche Grundlage für die von den Ländern zu erlassenden gesetzlichen Bestimmungen wird von Jahr zu Jahr lauter. Die Gewässeraufsichtsbehörden versprechen sich von den dann durch die einzelnen Länder zu erlassenden ausfüllenden Gesetzen und Verordnungen bessere und überall gleiche Einwirkungsmöglichkeiten auf die Verschmutzungssünder. Der Entwurf des Wasserhaushaltsgesetzes liegt bereits vor und befindet sich zur Zeit in der parlamentarischen Beratung; der föderative Aufbau der Bundesrepublik läßt aber ein solches einheitliches Gesetzgebungswerk, zu dem auch die Ausfüllung des bundeseinheitlichen Rahmens durch die Länder gehört, nur langsam ausreifen.

Demgegenüber hat die rasche Zunahme des Verkehrs — insbesondere auch der Rohöltanker — in den großen Seehäfen in den vergangenen Jahren und insbesondere der wachsende Anteil der ölgetriebenen Schiffe das Ausmaß der Gewässerverschmutzung durch die Schiffahrt in unerhörtem Ausmaße gesteigert. Die Tatsache, daß der Rohölimport in die Bundesrepublik über See von 1,95 Millionen Tonnen im Jahre 1950 auf 7,11 Millionen Tonnen im Jahre 1955 gestiegen ist, und daß der Verbrauch an Heizöl allein für die seegehenden Schiffe in der Bundesrepublik von 0,90 Millionen Tonnen im Jahre 1952 auf 1,40 Millionen Tonnen im Jahre 1955 angewachsen ist, läßt klar erkennen, mit welchen Riesenschritten die Gefahr einer restlosen Verseuchung unserer Gewässer durch Olrückstände auf uns zukommt. Gegenüber den anderen Verschmutzungsursachen ist die Mineralölverschmutzung aber besonders offensichtlich, nachhaltig und gefährlich, weil das Mineralöl im Gegensatz zu organischen Verschmutzungen im Wasser nicht nur nicht abgebaut wird, sondern im Gegenteil durch seine ab-

schirmende Wirkung die für die Gesunderhaltung des Wassers und die Erhaltung des tierischen und pflanzlichen Lebens entscheidend wichtige Aufnahme von Sauerstoff aus der Luft verhindert.

Als größter Seehafen und Mineralölumschlagplatz der Bundesrepublik (1955 entfielen 6,3 Millionen Tonnen = 26,3 % des gesamten Hafenumschlags auf Mineralöle) konnte Hamburg daher nicht auf das Rahmengesetz des Bundes warten. Die besonders starke Gefährdung seiner Hafengewässer erforderte schon frühzeitig energische Abwehrmaßnahmen. Ein kodifiziertes Wasserrecht hat es in Hamburg bisher nicht gegeben. Lediglich eine Polizeiverordnung zum Schutze der öffentlichen Wasserläufe vom 28. November 1929 war vorhanden. Sie verbot die Verunreinigung der öffentlichen Gewässer, ohne allerdings eine nähere Definition dieses Begriffs zu geben, und drohte die übliche Höchststrafe von 150,—Mark an, Es ist nicht zu verwundern, daß eine Strafe in dieser Höhe gegen die schnell bewegliche internationale Schiffahrt wirkungslos blieb, zumal das Verfahren schwerfällig war und oft lange Zeit erforderte.

Ohne der bundeseinheitlichen Gesetzgebung zur Regelung der Reinhaltemaßnahmén vorgreifen zu wollen, nahm Hamburg daher in sein 1954 neu gefaßtes Hafengesetz einige wenige, aber präzise Bestimmungen zur Verhütung der Verunreinigung des Hafens und seiner Anlagen auf. Aus der Erkenntnis heraus, daß grobe Verunreinigung der Gewässer zu einer ernsten Gefahr für die gesamte Bevölkerung werden können, sieht das Gesetz für vorsätzlich oder fahrlässig begangene Übertretungen der Reinhaltevorschriften Geldbußen bis zu 10 000 DM vor; dabei ist auch schon der Versuch strafbar. Die Geldbußen können sowohl gegen das Unternehmen selbst wie auch gegen die verantwortlichen Aufsichtspersonen festgesetzt werden. Da Bußgelder nicht zu den gerichtlichen Strafen zählen, werden sie durch die Gewässeraufsichtsbehörde unmittelbar verhängt. Es ist dadurch sichergestellt, daß Verschmutzungssünden mit der unerläßlichen Schnelligkeit und in fühlbarer Höhe geahndet werden. Selbstverständlich kann eine gerichtliche Entscheidung über jeden Bußgeldbescheid herbeigeführt werden; meistens sehen die Betroffenen aber die Aussichtlosigkeit ein und erkennen von vornherein ihre Verantwortlichkeit an. Die Gewässeraufsichtsbehörde bemüht sich allerdings auch, jeden Fall individuell zu beurteilen. So wird die Höhe der Geldbuße jeweils unter Berücksichtigung des Umfangs des angerichteten Schadens, der Verwerflichkeit der Handlungsweise und der persönlichen Verhältnisse des Täters festgesetzt. Es kann schon heute festgestellt werden, daß sich diese neuen gesetzlichen Bestimmungen in Hamburg ausgezeichnet bewähren und daß die Zahl der Verstöße sichtbar zurückgeht.

Die Gewässeraufsichtsbehörde begnügt sich allerdings nicht allein damit, die ihr durch das Gesetz in die Hand gegebenen Möglichkeiten auszunutzen. Durch unermüdliche Aufklärung in Kreisen der Schiffahrt und durch die Herausgabe von Rundschreiben und Veröffentlichungen in den Fachblättern ist sie dauernd bemüht, das nötige Verständnis für ihre Arbeit zu wecken. Der glückliche Umstand, daß die Gewässeraufsichtsbehörde für den Hamburger Hafen gleichzeitig auch die Hafenbehörde ist, die mit der Lebensfähigkeit des Hafens auf Gedeih und Verderb verbunden ist, wird stets ein gesundes Verhältnis der erforderlichen Strenge im Strafen und dem Gefühl für die besonderen Schwierigkeiten der Schiffahrt garantieren.

Die besten Reinhaltegesetze können aber nichts ausrichten, wenn nicht auch technische Möglichkeiten geschaffen werden, um der Schiffahrt die Abfallstoffe abzunehmen. Schon bevor die Londoner Konferenz im Jahre 1954 die "Konvention über die Verhütung der Verschmutzung der See durch Ol" beschloß,

und damit alle Unterzeichnerstaaten verpflichete, in ihren größeren Seehäfen der Schiffahrt Abgabemöglichkeiten für Olrückstände vorzuhalten, hatte Hamburg bereits unter dem Druck der Verhältnisse eine erste provisiorische Auffanganlage in Betrieb genommen. Da damals weder Erfahrungen über ausländische Anlagen bekannt waren, noch vorhergesehen werden konnte, welche Mengen und welche Arten von ölhaltigen Abwässern in Hamburg anfallen würden, wurde 1952 zunächst eine bewußt einfache Anlage hergestellt, die sowohl mineralölhaltige wie auch vegetabilische Fettrückstände und Waschwässer aufnehmen sollte, um wenigstens erst einmal für die gefährlichsten Schmutzstoffe eine Abgabemöglichkeit zu schaffen. Da diese Anlage zunächst nicht mehr als ein Großversuch sein konnte, wurde der verhältnismäßig billige Bau von Erdbecken gewählt. 4 Becken von 2,0 m Tiefe mit je 3000 cbm Fassungsvermögen sollten eine gewisse Sortierung der Rückstände ermöglichen. Während in manchen anderen Häfen die Fettrückstände tierisch-pflanzlicher Herkunft keine besondere Beachtung finden, mußte man in Hamburg auch diese von den schon stark mit anderen Schmutzstoffen belasteten Gewässern fernhalten, da sie hier in verhältnismäßig großer Menge anfallen.

Bereits nach weniger als einjähriger Betriebszeit waren alle vier Erdbecken gefüllt. Zwar waren dadurch fast 500 Tonnen Mineralöle und Fette zurückgehalten, die ohne diese Anlage sicherlich in die Hafengewässer gelangt wären; es hatte sich aber auch gezeigt, daß es weder eine Möglichkeit für eine Verwertung der Rückstände noch für ihre Vernichtung gab. Die durch die laugenartigen Reinigungsmittel und andere Ursachen entstandenen Wasser-Ol-Emulsionen waren wider Erwarten stabil. Die Hoffnung, man könne nach einer längeren Absetzzeit die wässerige Base schadlos ablassen, ging nicht in Erfüllung. Die Anlage mußte daher sehr bald auf das doppelte Fassungsvermögen, also 24 000 cbm erweitert werden, damit Zeit für eine andere und endgültige Lösung gewonnen wurde. Diese mußte gewährleisten, daß die Rückstände so weit aufgearbeitet werden konnten, daß das in die Hafengewässer zurückzuleitende Abwasser praktisch ölfrei wurde und möglichst wenig unverwertbare Reststoffe übrigblieben. Dabei war die Vielschichtigkeit der in Hamburg anfallenden Olrückstände zu berücksichtigen.

Glücklicherweise fand sich für Mineralölrückstände schon bald eine endgültige Lösung. Eine Hamburger Mineralölfirma, die bereits während des Krieges für die Marine eine Aufbereitungsanlage für mineralölhaltige Waschwässer betrieben hatte, nahm diese Tätigkeit Anfang 1954 auf privater Basis wieder auf. Die von der Gewässeraufsichtsbehörde mit dieser Firma geführten Verhandlungen ließen bald erkennen, daß die ursprünglich nur für Rohöl-Waschwässer aus Seetankern gedachte Anlage unter gewissen Bedingungen auch für andere Mineralölrückstände eingerichtet werden konnte. Das war in erster Linie dadurch möglich, daß die Firma in einem Schwesterbetrieb die in Westdeutschland einmalige Möglichkeit hat, sowohl Teer- als auch Erdölrückstände aller Art nutzbringend aufzuarbeiten. Eine solche Möglichkeit zu haben, ist aber in jedem Falle das entscheidende Moment des ganzen Problems. Die Wasser-Ol-Emulsion zu brechen, ist schließlich immer möglich, auch wenn es vielleicht unwirtschaftlich ist. Solange aber kein Weg zur Aufbereitung des zurückgewonnenes Ols vorhanden ist, muß die Auffanganlage zwangsläufig daran "ersticken".

Nachdem die üblichen technischen und verwaltungsmäßigen Schwierigkeiten überwunden waren, konnte der Vertrag über die Abnahme aller mineralölhaltigen Schiffsabwässer des Hafens am 1. Oktober 1955 in Kraft treten. In ihm

ist vereinbart, daß die Firma gewisse Subventionen zur Verbilligung der Abnahmekosten erhält und sich dafür verpflichtet, sämtliche pumpfähigen Mineral-ölrückstände der Schiffahrt zu jeder Tages- und Nachtzeit abzunehmen, sofern sie nicht einem anderen zugelassenen Verwendungszweck zugeführt werden. Die Gewässeraufsichtsbehörde hat sich außerdem einen gewissen Einfluß auf die Gestaltung der Abgabegebühren vorbehalten, das schien erforderlich zu sein, weil zu hohe Abgabekosten den Erfolg für die Reinhaltung der Gewässer gefährden. Eine restlose Übernahme der Kosten durch die öffentliche Hand muß allerdings aus den bereits erwähnten Gründen abgelehnt werden. Einerseits muß an dem Prinzip festgehalten werden, daß die Kosten für die Beseitigung von Abfällen von demjenigen getragen werden müssen, bei dem diese Abfälle entstehen; andererseits würde auch jeder Anreiz verlorengehen, die Menge der Waschwässer — z. B. bei der Tankerreinigung — so gering wie möglich zu halten, wenn die Kosten ihrer Beseitigung von der Allgemeinheit übernommen würden.

Die "Auffanganlage des Hamburger Hafens für Mineralölrückstände der Schiffahrt", wie diese private Anlage vertragsgemäß heißt, verfügt zur Zeit über 5 große Spezialtanks mit Heizschlangen, Rührwerken und Abschöpfeinrichtungen. Das Fassungsvermögen beträgt zusammen 3300 cbm und kann vorübergehend durch zwei weitere Tanks von je 2000 cbm Inhalt erweitert werden. Das Abwasser, dem das Ol bereits in den Tanks entzogen wird, durchläuft vorsichtshalber noch eine nachgeschaltete Separator- und Kläranlage, bevor es in das Hafenbecken abgelassen wird. 2 Löschbrücken, die es den Anlieferern ermöglichen, ihre Mineralölrückstände wahlweise mit schiffseigenen oder landfesten Pumpen abzugeben und Dampf zum Aufheizen dickflüssiger Partien zu beziehen, gewährleisten eine schnelle Abfertigung. Dabei ist es den Schiffen freigestellt, ob sie ihre mineralölhaltigen Abwässer — in erster Linie also Tankwaschwässer — aus den eigenen Sludge-Tanks (Schmutzwassertanks) unmittelbar an die Anlage abgeben, oder ob sie durch besonders zugelassene gedeckte Schuten, die verschiedene Ewerführereien vorhalten, nach dort abfahren lassen wollen.

In den ersten 10 Monaten seit Bestehen des Vertrages hat die Anlage bereits rd. 70 000 t mineralölhaltige Waschwasser abgenommen und aufbereitet; davon sind rd. 8000 t in den Genuß einer staatlichen Subvention gekommen, die speziell zur Kostensenkung für die Kleinschiffahrt gewährt wird. Die Abgabegebühren schwanken zwischen 2,30 und 0,25 DM für den cbm je nach Menge und Olgehalt. Dabei ist allen Beteiligten klar, daß diese Sätze zur Zeit noch zu hoch sind; es besteht aber die Hoffnung, daß sie mit steigendem Umsatz der Anlage herabgesetzt werden können.

In neuester Zeit zeichnet sich auch ein gangbarer Weg ab, um emulgierte vegetabilische Fettrückstände und Gemische aus mineral-ölhaltigen und tierisch-pflanzlichen Waschwässern wirtschaftlich aufzubereiten. Dabei ist es naturgemäß besonders schwierig, mit den Gemischen fertig zu werden. Wenn sie auch nie ganz zu vermeiden sind, so muß doch mit allen Mitteln evtl. über eine entsprechende Tarifgestaltung — angestrebt werden, daß ihre Menge so gering wie nur möglich bleibt. Sollte sich dieses neue Verfahren in der Praxis bewähren, so wäre für den Hamburger Hafen das gesamte Problem der ölhaltigen Schiffsabwässeer endgültig gelöst. Darüber hinaus wäre dann auch die Möglichkeit gegeben, die 24 000 cbm Rückstände, die sich z. Z. noch in der alten Versuchsanlage befinden und schätzungsweise an die 1000 t Ole und Fette enthalten, nutzbringend aufzuarbeiten.

Da man auch bei der alten Versuchsanlage (Erdbecken) nach ihrer Ergänzung durch einen Aufbereitungsbetrieb die Abgabekosten zunächst nicht wesentlich niedriger halten kann als bei der Anlage für reine Mineralölrückstände, bemüht sich die Gewässeraufsichtsbehörde nach Kräften, wenigstens jede Möglichkeit zur Senkung der übrigen Reinigungskosten zu fördern. So hat sie sich sehr für die Einführung der sogenannten "Wheelerboote" im Hamburger Hafen eingesetzt, weil sie eine wesentliche Rationalisierung der Tankreinigung ermöglichen. Diese Spezialtankreinigungsschiffe sind mit Vakuumkesseln ausgerüstet und saugen die Rückstände wie ein Staubsauger von den Tankwänden ab. Dabei nutzen sie die zurückgewonnenen Olreste als Feuerung für den eigenen Dampfkessel. — Darüber hinaus ist die Behörde einigen Firmen bei der Beschaffung billiger Staatskredite für die Errichtung moderner landfester Tankerreinigungsanlagen behilflich, die z. Z. in Hamburg noch fehlen. — Schließlich setzt sie sich auch bei jeder Gelegenheit dafür ein, daß Unternehmungen, die der schadlosen Beseitigung von Schiffsabfällen dienen, in den Genuß von Steuervergünstigungen kommen.

Zwei weitere Aufgaben, die noch der endgültigen Lösung harren, sind die restlose Erfassung des verbrauchten Motorenschmieröls der Hafenschiffahrt und die Entwicklung von billigen Separatoren für Bilgenwasser und deren gesetzliche Zwangseinführung auf allen Schiffen. Eine wirklich durchgreifende Sammlung der Motorenaltöle scheiterte bisher an der geringen Höhe der datfür zu erzielenden Erlöse. Zwar halten sämtliche Bunkerboote und Tankstellen auf Anregung der Gewässeraufsichtsbehörde schon seit einiger Zeit Abgabemöglichkeiten vor; da Altöle heute aber nur einen sehr geringen Wert haben, wird von dieser Möglichkeit kaum Gebrauch gemacht. Die Schiffseigner benutzen stattdessen ihr verbrauchtes Schmieröl lieber als Konservierungsmittel für die Eisenteile ihres Schiffes. So gelangt es mit dem Regen- und Spritzwasser in die Bilgen und von dort ins Hafenwasser. Nach vorsichtigen Schätzungen handelt es sich dabei in Hamburg um jährlich mindestens 100 t. Dieses Problem wird sich voraussichtlich nur dadurch lösen lassen, daß Konservierungsmittel entwickelt werden, die in ihrer Anwendung genauso wirtschaftlich sind wie Altöl oder daß auch die Kleinschiffahrt gezwungen wird, ihren Bilgenwasserpumpen Olseparatoren vorzuschalten. Die dazu erforderlichen Vorarbeiten sind seit einiger Zeit sowohl beim Bundesverkehrsministerium wie auch bei der hamburgischen Hafenbehörde aufgenommen.

Bei aller Vordringlichkeit der Bekämpfung der "Olpest" darf allerdings nicht übersehen werden, daß eine weitere Quelle der Verschmutzung der Hafengewässer durch die Schiffahrt auch in dem Überbordgeben fester Abfallstoffe liegt. In einem großen Seehafen fallen an Bord täglich beachtliche Mengen von Unrat jeglicher Art an. Da gibt es Rückstände vom Reinigen der ausgebrauchtes Verpackungsmaterial, zerbrochene Pallhölzer, Laderäume, Werftabfälle von der Schiffsreparatur, ölhaltige Schlammrückstände aus den Heizöltanks, verdorbene Lagergüter, seuchenhygienisch beanstandete Warenpartien und vieles andere mehr. Auch für derartige feste Stoffe müssen entsprechende Abgabemöglichkeiten geschaffen werden, wenn man sie nicht eines Morgens in irgendeiner Ecke der Hafenbecken wiederfinden will. Hamburg hat solche Stoffe bisher durch Privatunternehmer mit Hafenfahrzeugen an Bord abnehmen, auf dem Wasserwege abfahren und auf tiefliegende Ländereien im Hafengebiet ablagern lassen (Müllabfuhr des Hafens). Dadurch werden aber unter Umständen wertvolle Flächen für spätere Hafenerweiterungen unbrauchbar gemacht. Man beabsichtigt daher, in Zukunft alle festen Schiffsabfälle nach Möglichkeit in Spezialöfen zu verbrennen. Allerdings bedarf es vorher noch gewisser Untersuchungen und Vorarbeiten. Zunächst muß aber über die Art und Menge der anfallenden Stoffe ein Überblick gewonnen werden, sodann ist festzustellen, wie man sie teils durch Sortieren und Zerkleinern und teils durch Mischen oder Brikettieren für die Verbrennung aufbereiten muß. Diese Vorarbeiten werden zwar noch etwas Zeit und Geld erfordern, doch steht schon heute fest, daß sich auf diesem Wege eine endgültige Lösung für die schadlose Beseitigung aller dieser Schiffsabfälle finden lassen wird. Damit wird das Ziel jeder Hafenverwaltung, zum Nutzen ihrer Hafengewässer der Schiffahrt zu wirtschaftlich tragbaren Bedingungen Abgabemöglichkeiten für jede Menge und jede Art von Abfällen vorzuhalten, für den Hamburger Hafen weitgehend erreicht sein.

Abteilung II — Seeschiffahrt

Mitteilung 1

Ursprung und Wirkung der langperiodischen Wellen in den Häfen Sicherheitsmaßnahmen zum Schutze der Schiffe Möglichkeiten, die Wirkung abzuschwächen — Modellversuche

Von Dr. Walter Hansen,

Oberregierungsrat beim Deutschen Hydrographischen Institut, Hamburg

Thema: "Über ein Verfahren zur numerischen Ermittlung von Schwingungen mit langer Periode."

Zusammenfassung:

Ausgehend von den hydrodynamischen Differentialgleichungen wird ein Verfahren entwickelt, das es gestattet, Schwingungsvorgänge in ein- und zweidimensionalen Meeresgebieten wie Rand- und Nebenmeeren, Buchten, Kanälen, Flußmündungen und Hafenanlagen numerisch zu ermitteln. Im einzelnen wird dabei so verfahren, daß zunächst aus den hydrodynamischen Differentialgleichungen ein System von Differenzengleichungen abgeleitet wird, das numerische Werte der horizontalen und vertikalen Bewegungen liefert. Da die durchzuführenden Rechnungen sehr umfangreich sind, ist es zweckmäßig, diese Arbeiten mit Hilfe schnellrechnender Elektronenrechenmaschinen zu erledigen. Für winderzeugte Wasserstandsänderungen, und Gezeiten hat sich das Verfahren bewährt.

Im folgenden soll ein Problem behandelt werden, das — besonders im Hinblick auf die Arbeiten der Technik — von gewissem Interesse ist. Es ergibt sich z. B. die Frage, in welcher Art und Weise und bis zu welchem Ausmaß Schwingungen, bestimmt durch Amplitude und Phase, von wasserbaulichen Maßnahmen beeinflußt werden, wenn derartige Bauten die natürlichen und geometrischen Proportionen des Meeres oder Flußgebietes verändern.

Zur Beantwortung aller dieser Fragen ist es zweckmäßig, mit Hilfe der hydrodynamischen Gleichungen numerische Verfahren zu entwickeln, die quantitative Lösungen liefern. Die Ermittlung dieser Lösungen erfordert aber derart umfangreiche Berechnungen, daß eine elektronische Rechenmaschine benutzt werden zellte.

Ausgehend von den hydrodynamischen Gleichungen, wird im folgenden ein System von Differentialgleichungen entwickelt, das dazu verwendet werden kann, Schwingungsvorgänge von Wassermassen in Buchten, Kanälen, Flüssen und Hafenbecken numerisch zu ermitteln. Das System läßt sowohl eine zweiwie eindimensionale Behandlungsweise zu. Die numerischen Lösungen werden aus Differenzengleichungen erhalten, die aus den Differentialgleichungen abgeleitet werden.

Die hydrodynamischen Gleichungen

Die hydrodynamischen Gleichungen werden in folgender Form geschrieben:

$$\begin{split} \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} - fv - v \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} - v^* \Delta u + g \frac{\partial \zeta}{\partial x} = K_1 \\ \frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} + fu - v \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} - v^* \Delta v + g \frac{\partial \zeta}{\partial y} = K_2 \\ \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \end{split}$$

Das Koordinatensystem wird mit x, y, z bezeichnet; t ist die Zeit-Koordinate; die Komponenten der Geschwindigkeit sind u, v, w, der Coriolisfaktor ist f; K_1 und K_2 sind Komponenten der äußeren Kräfte, g ist die Erdbeschleunigung und ζ die Höhe des gestörten Wasserspiegels. Die Gesamttiefe ist $H=\zeta+h$, d. h. z=0 ist die mittlere Oberfläche und z=-h ist der Meeresboden. ζ ist eine Funktion von t, x, y und h ist nur eine Funktion von x und y. Zunächst werden die allgemeinen Gleichungen in z-Richtung vom Meeresboden zur Oberfläche integriert. Dadurch wird die Anzahl der Unbekannten reduziert, gleichzeitig wird dabei auf die Aussage von Änderungen der Geschwindigkeit mit der Tiefe verzichtet.

Die Integration in z-Richtung liefert:

$$\begin{split} \int_{-h}^{\zeta} \frac{\partial u}{\partial t} dz &= \frac{\partial}{\partial t} \left(\int_{h}^{\zeta} u dz \right) - u_{ob} \cdot \frac{\partial \zeta}{\partial t} \\ \int_{-h}^{\zeta} \left(u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} \right) dz &= w_{ob} u_{ob} - w_B u_B + \int_{-h}^{\zeta} \left[\frac{\partial}{\partial x} (u^z) + \frac{\partial}{\partial y} (uv) \right] dz \end{split}$$

Indizes ob, B beziehen sich auf die Funktionswerte an der Oberfläche und auf dem Boden resp.

$$\begin{split} &\frac{\partial}{\partial x} \int\limits_{-h}^{\xi} u^2 dz = \int\limits_{-h}^{\xi} \frac{\partial u^2}{\partial x} dz + u_{ob}^2 \cdot \frac{\partial \xi}{\partial x} + \left. \dot{u}_B^2 \cdot \frac{\partial h}{\partial x} \right. \\ &\frac{\partial}{\partial y} \int\limits_{-h}^{\xi} uv dz = \int\limits_{-h}^{\xi} \frac{\partial uv}{\partial y} dz + u_{ob} v_{ob} \cdot \frac{d\xi}{dy} + u_B v_B \cdot \frac{\partial h}{\partial y} \end{split}$$

An der Meeresoberfläche gilt folgendes:

$$\mathbf{w}_{ob} = \frac{\partial \zeta}{\partial t} + \mathbf{u}_{ob} \cdot \frac{\partial \zeta}{\partial \mathbf{x}} + \mathbf{v}_{ob} \cdot \frac{\partial \zeta}{\partial \mathbf{v}}$$

und auf dem Meeresgrund

$$\mathbf{w}_{B} = \mathbf{u}_{B} \cdot \frac{\partial \mathbf{h}}{\partial \mathbf{x}} + \mathbf{v}_{B} \cdot \frac{\partial \mathbf{h}}{\partial \mathbf{y}}$$

Wenn die oben angeführten Relationen angewandt werden, erhält man:

$$\int_{-h}^{\xi} \left(\frac{\partial \mathbf{u}}{\partial \mathbf{t}} + \mathbf{u} \frac{\partial \mathbf{u}}{\partial \mathbf{x}} + \mathbf{v} \frac{\partial \mathbf{u}}{\partial \mathbf{y}} + \mathbf{w} \frac{\partial \mathbf{u}}{\partial \mathbf{z}} \right) d\mathbf{z} = \frac{\partial}{\partial \mathbf{t}} \left(\int_{-h}^{\xi} \mathbf{u} d\mathbf{z} \right) + \frac{\partial}{\partial \mathbf{x}} \left(\int_{-h}^{\xi} \mathbf{u}^{2} d\mathbf{z} \right) + \frac{\partial}{\partial \mathbf{y}} \left(\int_{-h}^{\xi} \mathbf{u} \mathbf{v} d\mathbf{z} \right)$$

Zur Verkürzung und Vereinfachung wird eingeführt:

$$\int_{-h}^{\zeta} u dz = H \cdot U \qquad , \qquad \int_{-h}^{\zeta} v dz = H \cdot V$$

Andererseits benutzen wir die Störungsausdrücke u', v' in folgender Art und Weise:

$$u = U(1 + u')$$
 , $v = V(1 + v')$

 Eine ähnliche Gleichung erhält man für die y-Richtung:

$$\int_{-h}^{\zeta} \left(\frac{\partial \mathbf{v}}{\partial \mathbf{t}} + \mathbf{u} \frac{\partial \mathbf{v}}{\partial \mathbf{x}} + \mathbf{v} \frac{\partial \mathbf{v}}{\partial \mathbf{y}} + \mathbf{w} \frac{\partial \mathbf{v}}{\partial \mathbf{z}} \right) d\mathbf{z} = \frac{\partial}{\partial \mathbf{t}} (\mathbf{H} \cdot \mathbf{V}) + \frac{\partial}{\partial \mathbf{x}} \left(\mathbf{U} \mathbf{V} (\mathbf{H} + \int_{h}^{\zeta} \mathbf{u}' \mathbf{v}' d\mathbf{z}) \right) + \frac{\partial}{\partial \mathbf{y}} \left(\mathbf{V}^{2} (\mathbf{H} + \int_{-h}^{\zeta} \mathbf{v}'^{2} d\mathbf{z}) \right)$$

Mit Hilfe dieser Gleichungen erhalten wir endlich

$$\begin{split} \frac{\partial}{\partial t}(HU) + \frac{\partial}{\partial x} \Big(U^2(H + \int_{-h}^{\zeta} u'^2 dz) \Big) + \frac{\partial}{\partial y} \Big(UV(H + \int_{-h}^{\zeta} u'v' dz) \Big) + fHV - \nu u_{zob} + \nu u_{zB} + \\ + gH \frac{\partial \zeta}{\partial x} - \nu^* H \Delta U - \nu^* \int_{-h}^{\zeta} \Delta (Uu') dz = H \cdot K_1 \\ \frac{\partial}{\partial t}(HV) + \frac{\partial}{\partial x} \Big(UV(H + \int_{-h}^{\zeta} u'v' dz) \Big) + \frac{\partial}{\partial y} \Big(V^2(H + \int_{-h}^{\zeta} v'^2 dz) \Big) + fHU - \nu v_{zob} + \nu v_{zB} + \\ + gH \frac{\partial \zeta}{\partial y} - \nu^* H \Delta V - \nu^* \int_{-h}^{\zeta} \Delta (Vv') dz = H \cdot K_2 \end{split}$$

Die Kontinuitätsgleichung lautet:

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(HV) + \frac{\partial}{\partial y}(HV) = 0$$

In diesen Gleichungen sind U, V, ζ und u', v' unbekannte Funktionen. U, V und ζ hängen nur von x, y, t ab; bevor diese Funktionen ausgewertet werden, ist es notwendig, u' und v' zu eliminieren. Das bedeutet, daß für diese Funktionen zusätzliche Annahmen gemacht werden müssen. Handelt es sich um die Ermittlung von Schwingungen mit relativ langer Periode, dann weisen die Geschwindigkeiten mit der Tiefe nur geringe Anderungen auf und es können Potenz- oder logarithmische Gesetze verwendet werden. Sind dagegen die Wellen recht kurz, dann kann sich die Geschwindigkeit mit der Tiefe exponentiell ändern.

Zur Behandlung des ersten Falles sei eingeführt:

$$u = U(\alpha + 1) \left(\frac{z + h}{H}\right)^{\alpha}$$

damit wird erhalten:

$$\int_{-b}^{\zeta} u'^2 dz = \frac{\alpha^2 H}{2\alpha + 1}$$

Im Meer variiert α zwischen $^{1}/5$ und $^{1}/7$. Das Ergebnis ist dann, daß diese Störungsglieder die Tiefe H bis zu 3 $^{0}/_{0}$ verändern können, so daß diese Beiträge normalerweise unwesentlich sind. Um einen höheren Genauigkeitsgrad zu erreichen, können wir einen Faktor einführen, mit dem die Tiefe H zu multiplizieren ist. In ähnlicher Weise erhalten wir die entsprechenden Werte für v'.

Es ist möglich, andere Voraussetzungen im Hinblick auf die vertikale Verteilung der Geschwindigkeit einzuführen, aber innerhalb dieser Mitteilung soll dieses Problem nicht weiter behandelt werden und wir beschränken uns auf die langperiodischen Bewegungen, für die die obigen Ansätze verwendbar sind.

Nunmehr fassen wir alle Ausdrücke der ersten Gleichung zusammen, die das u' oder v' enthalten und vereinigen diese mit dem Ausdruck für die Bodenreibung vu_{zB} und nennen dies $R^{(x)}$; dasselbe geschieht mit der zweiten Gleichung. Dabei erhalten wir:

$$\begin{split} &\frac{\partial}{\partial t}(HU) + \frac{\partial}{\partial x}(HU^2) + \frac{\partial}{\partial y}(HUV) - fHV + R^{(x)} + gH\frac{\partial \zeta}{\partial x} = H \cdot K_1 + \nu u_{zob} \\ &\frac{\partial}{\partial t}(HV) + \frac{\partial}{\partial x}(HUV) + \frac{\partial}{\partial y}(HV^2) + fHU + R^{(y)} + gH\frac{\partial \zeta}{\partial y} = H \cdot K_2 + \nu v_{zob} \end{split}$$

Hier sind vu_{zob}, vv_{zob} die Komponenten für den Tangentialschub auf die Wasseroberfläche, der etwa durch den Wind verursacht sein kann. Dieses System von Differentialgleichungen erlaubt es, die Anderung des Wasserspiegels und die Bewegung der Wassermassen zu berechnen, die durch äußere Einwirkungen entstehen: durch Windschub oder durch Ein- und Ausströmen über die Grenzlinie in ein Meeresgebiet, in eine Flußmündung oder dergleichen.

Wie oben schon erwähnt, kann ebenso wie die Tiefe z auch die Breite y durch Integration eliminiert werden. Zunächst müssen einige Abkürzungen erklärt werden. Die mittlere Stromlinie liegt in y=0, die Breite ist daher $b_1+b_2=B$ und hängt von der Zeit t und x ab. Der Querschnitt ist:

Aus der ersten Gleichung folgt:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} = \int\limits_{-b_2}^{b_1} \frac{\partial H}{\partial t} dy + H_1 \frac{\partial b_1}{\partial t} + H_2 \frac{\partial b_2}{\partial t}$$

 H_1 und H_2 bedeuten die Tiefe in $y=b_1$ bzw. $y=-b_2$. $H_1\frac{\partial b_1}{\partial t}$ und H_2 $\frac{\partial b_2}{\partial t}$ sind immer 0, gleichgültig ob ein rechteckiges Becken oder allgemein gestalteter Querschnitt betrachtet wird.

Da H = h + ζ ergibt sich $\frac{\partial \zeta}{\partial t} = \frac{\partial H}{\partial t}$ und schließlich erhalten wir

$$\frac{\partial Q}{\partial t} = \int_{-b_{z}}^{b_{z}} \frac{\partial \zeta}{\partial t} dy = \frac{\partial Q}{\partial \zeta} \cdot \frac{\partial \overline{\zeta}}{\partial t} = B \cdot \frac{\partial \overline{\zeta}}{\partial t}$$

Eine andere Abkürzung ist

$$U = \overline{u}(1 + u'')$$
 , $V = \overline{v}(1 + v'')$

 \overline{u} und \overline{v} sind nur Funktionen von x und t.

$$\begin{split} D &= Q \overline{u} = \int\limits_{b_1}^{b_1} H U dy \quad sowie \quad \int\limits_{-b_2}^{b_1} H u'' dy = 0 \\ &\int\limits_{-b_2}^{b_1} H U^2 dy = (Q + \int\limits_{-b_2}^{b_1} H u''^2 dy) \overline{u^2} \end{split}$$

Mit Hilfe dieser Formeln erhalten wir nach Integration in y-Richtung

$$\begin{aligned} -b_2 &\leq y \leq b_1 \\ \frac{\partial}{\partial t} (Q\overline{u}) + \frac{\partial}{\partial x} (Q\overline{u}^2) - fQ\overline{v} + \int_{-b_2}^{b_1} R^{(x)} dy + gQ \frac{\partial \zeta}{\partial x} = K_1Q + \int_{-b_2}^{b_1} vu_{zob} dy \\ B \frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} (Q\overline{u}) = 0 \end{aligned}$$

Nach Subtraktion der Kontinuitätsgleichung wird die erste Gleichung, wenn noch durch Q dividiert wird:

$$\begin{split} \frac{\partial \overline{u}}{\partial t} + \overline{u} \frac{\partial \overline{u}}{\partial x} + g \frac{\partial \zeta}{\partial x} + \frac{1}{\underline{Q}} \int_{b_2}^{b_1} R^{(x)} dy &= K_1 + \frac{1}{\underline{Q}} \int_{b_2}^{b_1} v u_{zob} dy \\ \frac{\partial \overline{\zeta}}{\partial t} + \frac{1}{B} \frac{\partial}{\partial x} (Q \overline{u}) &= 0 \end{split}$$

Bei dieser Formel setzen wir voraus, daß v verschwindet.

Ausdrücke auf der rechten Seite der ersten Gleichung sind gegebene Funktionen, in unserem besonderen Falle durch Gezeiten und ähnliche lange Wellen bedingte Schwingungen in einem Flußmündungsgebiet. Danach bleibt nur ein

unbekannter Ausdruck, nämlich:
$$\frac{1}{Q} \int_{-b_0}^{b_1} \mathbf{R}^{(x)} dy$$

In Übereinstimmung mit hydro- und aerodynamischen Untersuchungen scheint es möglich zu sein, diesen Widerstand durch die Formel

$$\frac{1}{Q} \int_{-b_0}^{b_1} \!\! R^{(x)} \! dy = \frac{|\overrightarrow{ru}| \, \overline{u} \, | \, B}{Q} = \frac{|\overrightarrow{ru}| \, \overline{u} \, |}{\overline{H}}$$

auszudrücken, wobei $\overline{H}=\frac{Q}{B}$

Diese Gleichung besagt, daß der Widerstand proportional der zweiten Potenz der mittleren Geschwindigkeit ist. Von Beobachtungen her wissen wir, daß r, ein dimensionsloser Faktor, gleich 2·4·10⁻³ ist. In jenen Teilen des Mündungsgebietes, die seicht sind und wo der Boden mit Riffeln bedeckt ist, kann dieser Faktor zunehmen. Aber normalerweise ist der Einfluß auf den Wasserspiegel oder die Ströme durch wechselndes r relativ gering. Die endgültigen Gleichungen sind:

$$\begin{split} \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + g \frac{\partial \zeta}{\partial x} + r \frac{u |u|}{\overline{H}} &= 0 \\ \frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{1}{B} \cdot \frac{\partial}{\partial x} (Qu) &= 0 \end{split}$$

wo die Querstriche weggelassen sind. Da diese Gleichungen nicht linear und Q und B vorgegebene Funktionen sind, ist es ziemlich schwierig, eine Lösung in geschlossener analytischer Form zu erhalten. Aus diesen Gründen sehen wir von der Entwicklung einer solchen analytischen Lösung ab und ziehen es vor, auf direktem Wege zu einer numerischen Lösung zu kommen. Der erste Schritt dazu ist die Umformung des Systems der Differentialgleichungen in ein System von Differenzengleichungen. Die Umwandlung in finite Differenzen erfolgt unter Benutzung der Beziehungen:

$$\frac{\partial \mathbf{F}}{\partial \mathbf{x}} = \frac{\mathbf{F}((v+1)\mathbf{x}) - \mathbf{F}((v-1)\mathbf{x})}{2\mathbf{x}}$$
$$\frac{\partial \mathbf{F}}{\partial t} = \frac{\mathbf{F}((v+1)t) - \mathbf{F}((v-1)t)}{2t}$$

Es werden die x- und die t-Achse in Abschnitte geteilt, wobei sich die unteren Indizes auf die x-, die oberen auf die t-Achse beziehen.

Die Gleichungen haben dann folgende Form:

$$u'_{2\nu+1} = a_{2\nu+1} u_{2\nu+1} - b_{2\nu+1} (\zeta'_{2\nu+2} - \zeta'_{2\nu})$$

$$\zeta''_{2\nu+2} = \zeta'_{2\nu+2} - c_{2\nu+2} u'_{2\nu+3} + d_{2\nu+2} u'_{2\nu+1})$$

Zur Abkürzung schreiben wir:

$$a_{2\nu+1} = \frac{1 - \frac{\Delta t}{H_{2\nu+1}} \cdot \mathbf{r}_{2\nu+1} | \mathbf{u}_{2\nu+1}| - \frac{\Delta t}{41} \lambda_{2\nu+1} (\mathbf{u}_{2\nu+3} - \mathbf{u}_{2\nu-1})}{1 + \frac{\Delta t}{H_{2\nu+1}} \cdot \mathbf{r}_{2\nu+1} | \mathbf{u}_{2\nu+1}| + \frac{\Delta t}{41} \lambda_{2\nu+1} (\mathbf{u}_{2\nu+3} - \mathbf{u}_{2\nu-1})}$$

$$b_{2\nu+1} = \frac{g\Delta t}{1} \cdot \frac{1}{1 + \frac{\Delta t}{H_{2\nu+1}} \cdot \mathbf{r}_{2\nu+1} | \mathbf{u}_{2\nu+1}| + \frac{\Delta t}{41} \lambda_{2\nu+1} (\mathbf{u}_{2\nu+3} - \mathbf{u}_{2\nu-1})}$$

$$c_{2\nu+2} = \frac{\Delta t}{1} \cdot \frac{Q_{2\nu+3}}{B_{2\nu+2}} \quad , \qquad d_{2\nu+2} = \frac{\Delta t}{1} \cdot \frac{Q_{2\nu+1}}{B_{2\nu+2}}$$

Ausführlicher geschrieben nimmt obige Gleichung diese Form an:

 ζ_0 und u_{2N+1} gehen in die erste und letzte Gleichung als Randwerte ein. Diese "Schritt-für-Schritt-Methode" gilt nur, wenn der Betrag der Eigenwerte dieses Systems kleiner als 1 ist. Die entsprechende Determinante ist:

$$\begin{vmatrix} \lambda - a & , & b \\ -\lambda c & , \lambda - 1 & , \lambda c \\ & -b & , \lambda - a & , & b \\ & & -\lambda c & , \lambda - 1 & , \lambda c \\ & & & -b & , \lambda - a & , & b \\ & & & -\lambda c & , \lambda - 1 \end{vmatrix} = D_{2N}$$

Hier wird angenommen, daß a, b, c, d Konstanten sind, wie es in den folgenden Relationen aufgezeigt wird. Um ein System von linearen Gleichungen zur Bestimmung der Eigenwerte zu erhalten, ist es notwendig, diese Vereinfachungen einzuführen.

Folgende Relationen werden benutzt:

$$a=\frac{1-k\Delta t}{1+k\Delta t} \qquad , \qquad b=\frac{g\Delta t}{l(1+k\Delta t)} \qquad , \qquad c=d=\frac{\Delta t}{l} \cdot H$$

Normalerweise ist k > 0. Die Aufgabe besteht darin, durch Wahl von Δt zu erreichen, daß die Beträge der Eigenwerte kleiner als 1 sind. Das geschieht in folgender Weise: Zwischen den oben erwähnten Determinanten besteht eine Beziehung, nämlich

$$\begin{aligned} D_{2u} &= (1 - \lambda)D_{2u - 1} + \lambda bcD_{2u - 2} \\ D_{2u - 1} &= (a \lambda)D_{2u - 2} + \lambda bcD_{2u - 3} \end{aligned}$$

Nach Elimination aller Ausdrücke mit ungeraden Indizes erhalten wir:

$$D_{2u} = \big((a-\lambda)(1-\lambda) + 2\lambda bc\big)D_{2u-2} - \lambda^2b^2c^2D_{2u-4} = A^{2u}\cos\,2u\,\,\Theta$$

und daraus ergibt sich schließlich:

$$\begin{split} \lambda^2 + 2\lambda \Big[\operatorname{bc}(1 - \cos 2\Theta_{\nu}) \, + \, \frac{1+a}{2} \Big] &= -a \\ \\ \operatorname{mit} \, \Theta_{\nu}^{\bullet} &= \frac{(\nu + 1/2)\pi}{2N} \qquad , \qquad \nu = 0, 1, 2, \; \cdot \cdot \cdot \cdot \end{split}$$

Es kann gezeigt werden, daß, wenn o < a < 1, was normalerweise der Fall ist, $|\lambda| < 1$ für alle Werte mit

$$\Delta t < rac{1}{\sqrt{\mathrm{gH}}} \sqrt{rac{2}{1-\cos{2\Theta_{p}}}} \; \; \mathrm{gilt.}$$

Wenn diese Bedingung erfüllt ist, sind wir sicher, daß die endgültigen Werte unseres Problems nicht von den Ausgangswerten abhängen. Andererseits werden sich kleine Rechenfehler nicht verstärken, sondern im Gegenteil abklingen. Danach ist es möglich, z. B. Gezeiten und Gezeitenströme und entsprechend Wellen in Mündungsgebieten und Häfen zu berechnen. Wenn diese Berechnungen ohne elektronische Rechenmaschinen durchgeführt werden, muß die Zahl der Gitternetzpunkte klein sein.

Das geschilderte Verfahren ist bisher zur Ermittlung der Gezeiten und Gezeitenströme verwendet worden und hat praktisch brauchbare Ergebnisse geliefert. Daß ähnliche Wellen mit langer Periode behandelt werden können, scheint sicher. Für kürzer periodische Schwingungen muß die Tiefenabhängigkeit, wie oben angedeutet, berücksichtigt werden.

Abteilung II - Seeschiffahrt

Mitteilung 2

Seeschleusen und Trockendocke. — Berechnung sowie neue Bauentwürfe und -verfahren. — Tore und ihre Beanspruchung. — Angenommene Lösungen, insbesondere für Tore, die dem Seegang ausgesetzt sind.

Von Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E. h. Arnold Agatz, Bremen, Dr.-Ing. Erich Lackner, beratender Ingenieur, Bremen.

Zusammenfassung:

Im vorstehenden Bericht wurden die grundsätzlichen Erfahrungen in der konstruktiven Gesaltung und im Betrieb von Schleusen und Trockendocken mit ihren Torverschlüssen auf Grund der in den letzten 20 Jahren errichteten Bauwerke zusammengestellt. Besonders wurde auf das Problem des Füllens und Leerens von Schleusen und Docken eingegangen.

A. Trockendocke.

- 1. Ziel der konstruktiven Gestaltung der Dockquerschnitte der letzten neuen Großdocke für den Neubau von Schiffen und für den Reparaturbetrieb war es, mit einer möglichst geringen Sohlenstärke auszukommen, was auf folgende Weise erreicht wurde:
- a) Durch schwere stützende Seitenmauern in Stahlbeton in Verbindung mit einer als Biegeträger bemessenen Sohle.
- b) Durch Gewichtserhöhung schlanker Seitenmauern mittels eines rückwärtigen Sohlenkragarmes, auf dem das Bodengewicht zur Auftriebsübernahme als Ballast wirksam wird in Verbindung mit einem umgekehrten Sohlengewölbe.
- c) Durch Beseitigung des Auftriebs mittels einer Filterschicht unter der Sohle und Entlastungsrohren mit Rückschlagkugelventilverschlüssen und einer Spundwandumschließung.
- d) Durch Verankerung der Sohle an schräg gerammten Stahlpfählen, um das Bodengewicht zwischen den Pfählen zur Auftriebsübernahme heranzuziehen.
- e) Durch Verankerung der Docksohle mittels vorgespannten Stahlkabelankern an in den Boden eingerüttelten Betonankerblöcken.
- f) Durch sinnvolle Unterteilung der Sohle in statisch und bauausführungsmäßig günstige Blöcke, z. T. unter Anwendung von nachträglich zu schließenden Plomben, um die Einflüsse der größeren Setzungen der schweren Seitenwände auf die Sohle zu vermeiden, die Schwindeinflüsse abzumindern und um die Blöcke in einem Zuge, also ohne Unterbrechung betonieren zu können.
- g) Benechnung und Bemessung des Dockquerschnittes als Tragkörper auf elastischer Unterlage.
- 2. Um das Füllen und Leeren der Großdocke schnell und betrieblich günstig vornehmen zu können, wurden Modellversuche durchgeführt, um
- a) die günstigste Führung und Querschnittsform der Füll- und Lenzkanäle zu ermitteln, so daß keine überhöhten Geschwindigkeiten auftraten, die den Beton angriffen bzw. daß die Stellen genau festgestellt wurden, wo durch Stahlpanzerung der Beton geschützt werden mußte,
- b) die günstigste Form und Lage des Flut- und Lenzquerkanals in der Sohle des Dockhauptes und die beste Form der Energievernichtung zu ermitteln, um größere Wellenbewegungen und konzentrierte Strömungen zu vermeiden und geringste Trossenzüge zu erreichen,
- c) die günstigsten Füll- und Leerzeiten durch eine entsprechende Betriebsvorschrift für die Bewegung der Verschlüsse und für die Betätigung der Hauptpumpen zu erreichen,
- d) durch zusätzliche Anordnung von Durchlässen im Docktor die Füllzeiten ohne sonstige Störungen zu verkürzen.

Die Versuche zeigten eine gute Übereinstimmung mit dem Betrieb.

- 3. Es wurden weiterhin folgende neue Wege beschritten:
- a) Es wurde in allen Fällen eine mindestens doppelte Dichtung der Dockfugen ausgeführt. Dieser Ausbildungsgrundsatz hat sich im Betrieb bewährt.
- b) Ob das Dock in voller Breite oder mit zulaufender Spitze gebaut wurde, hing von den örtlichen Verhältnissen und von den Forderungen des Betriebes ab. Beide Lösungen kamen zur Anwendung.
- c) Die Entwässerungskanäle in der Sohle sind an den Stellen angeordnet, wo sie statisch die Hauptabmessungen des Sohlenquerschnittes nicht beeinflußten und gleichzeitig betrieblich nicht störten.
- d) Die Dockseitenwände wurden so ausgebildet, daß sie die schweren Kranlasten und die Versorgungsleitungen aufnehmen konnten.
- e) Verwendung von Schraubenschauflern mit senkrechter Achse und elektrischem Antrieb.
- f) Die zusätzliche Anordnung von kleineren Lenzpumpen zur Trockenhaltung des leeren Docks.

B. Seeschleusen

Die betrieblichen Erfahrungen und die ausgewerteten statisch-konstruktiven Gesichtspunkte ergaben folgende Lösungen:

- 1. Wo es der Untergrund zuließ, ist
- a) entweder bei schwer- oder undurchlässigem Baugrund von einer Sohlenbefestigung Abstand genommen worden
- b) oder bei durchlässigem Baugrund die Kammersohle mit 1,0 bis 1,5 m starken Betonplatten auf einer Kiesfilterschicht befestigt worden, vor allem, wenn ein Arbeiten der Schiffsschrauben tiefgehender großer Seeschiffe in der Schleuse nicht von vornherein ausgeschlossen werden konnte.
- 2. Die Kammermauern wurden als Pfahlrostkajen konstruiert, wobei auf einen vorderen Abschluß durch Spundwände oder Betonwand Wert gelegt wurde.
- 3. Bei einer Doppelseeschleuse wurde der Abstand der beiden Kammern auch aus Luftschutzgründen so breit gewählt, daß die Tore beider Kammern in die mittlere Insel eingezogen werden konnten und so ein geschütztes einheitliches Torkammerbauwerk billig herzustellen war.
- 4. Wenn eine Überdeckung der Torkammer gefordert wurde, konnte diese zur Ausbildung als Rahmenquerschnitt vorteilhaft herangezogen werden.
- 5. Die Anordnung von Einzeltoren oder Doppeltoren als Abschluß im Binnen- oder Außenhaupt war von dem vom Bauherrn gewünschten Sicherheitsgrad für den dahinter liegenden Schleusenhafen abhängig.
- 6. Für das Füllen und Leeren der Seeschleusen wurde auf besondere, nur verteuernde Umläufe in den Häuptern verzichtet und in die Schleusentone selbst Durchlässe mit oder ohne Energievernichter eingebaut. Auf die richtige Lenkung des Durchflußstrahles wurde besonders geachtet. Bei befestigter Kammersohle wurde der Strahl mit Rücksicht auf die Schiffslage nach unten, bei unbefestigtem Vorboden wegen der Kolkwirkung nach oben abgelenkt.

Die Modellversuche in den Versuchsanstalten zeigten eine gute Übereinstimmung mit den Erfahrungen aus dem Schleusenbetrieb.

C. Docktore

- 1. Bei den neuen Großdocken wurden als Torverschlüsse schwimmende Riegeltore verwendet, die entweder mit doppelter Stauwand oder mit einer in der Mitte des Tores liegenden einfachen Stauwand versehen waren.
- 2. Da bei den Riegeltoren der gesamte Wasserdruck in die seitlichen Toranschläge abgeleitet wird, ergaben sich völlig klare statische Verhältnisse und auf einen teueren Drempel konnte verzichtet werden.
- 3. Die Dichtung enfolgte an den vertikalen Anschlägen durch Kantholz, auf der Sohle durch einen hölzernen Aufsatzbalken mit zusätzlicher Gummidichtung.
- 4. Zur Verringerung der Füllzeit können auf Grund von Versuchsergebnissen und den guten Betriebserfahrungen bei den Schleusentoren zusätzliche Durchläufe mit Schieberverschlüssen und Prellplatten empfohlen werden.

5. Die Docktore wurden nach beiden Seiten kehrend konstruiert, so daß sie im Betrieb leichter unterhalten werden können.

D. Schleusentore

- 1. Das Kastentor in Riegelkonstruktion nach dem Schubkarrensystem gelagert – ein Unterwagen und ein Oberwagen — hatte sich im Betrieb bewährt und wurde beibehalten:
- 2. Die Dichtung an den senkrechten Anschlägen durch Kanthölzer, die auf eine Stahlguß- bzw. Stahlblechplatte mit dahinterliegendem einbetoniertem Stahlgerüst anschlagen, hat sich bewährt. Das Stahlgerüst gestattet eine einwandfreie Montage und gewährleistet ebene und absolut senkrechte Anschlagsflächen ohne spätere Nacharbeit.

Die Dichtung an der Schleusensohle wie bisher durch Federbleche hat auch neuerdings keine Nachteile ergeben.

3. Vorteilhaft bewährt haben sich Durchlaufverschlüsse in den Schleusentonen selbst in der Form von:

Schlauchdurchlässen mit Segmentverschlüssen oder Jalousieverschlüssen, Durchlässen mit Tosbecken und Schützenverschlüssen.

Der Austrittsstrahl der Durchläuse wurde so gelenkt, daß eine gute Spülwirkung bei gleichzeitiger schadloser Einführung in die Kammer bzw. in den Hafen oder Vorhafen gewährleistet wurde.

Die einzelnen Anlagen wurden anschließend beschrieben und Zeichnungen beigefügt. Uber Tore, die dem Seegang ausgesetzt sind, konnte nicht berichtet werden, da derartige Erfahrungen nicht vorliegen.

Literatur:

- [1] Der Bau der Nordschleusenanlage in Bremerhaven in den Jahren 1928—1931 von Hafenbaudirektor Dr.-Ing. Arnold Agatz und Mitarbeiter, Verlag Wilhelm Ernst & Sohn, Berlin 1931.
- [2] Jahrbuch der Hafenbautechnischen Gesellschaft, 17. Band (1937)

Verlag Julius Springer, Berlin, "Die Seeschleusen der III. Einfahrt in Wilhelmshaven und ihre gründliche Instandsetzung in den Jahren 1934—1937" von Marinebaurat Dr.-Ing. Gerdes, Wilhelmshaven.

[3] Jahrbuch der Hafenbautechnischen Gesellschaft, 19. Band (1941—49) Verlag Julius Springer, Berlin,

"Berechnung und konstruktive Gestaltung von Trockendocken und Seeschleusen" von Prof. Dr.-Ing. Agatz, Bremen.

[4] Vorträge des Deutschen Betonvereins 1949 Verlag des Deutschen Betonvereins, Wiesbaden, "Der Bau eines Trockendocks im Hamburger Hafen"

von Dipl.-Ing. Philipp Ebert i. Fa. Dyckerhoff & Widmann.

[5] Fachzeitschrift "HANSA", Zentralorgan für Schiffahrt-Schiffbau-Hafen Schiffahrtsverlag "HANSA" C. Schroedter & Co., Hamburg, "Das große neue Trockendock der Nordseewerke Emden G.m.b.H., Emden" von Prof. Dr.-Ing. E. h. Dr.-Ing. Agatz, Bremen,

Dr.-Ing. Lackner, Bremen, Dipl.-Ing. Matzkait, Emden, H. Haase, Emden.

6.5	Seite
Gliederung:	I. Allgemeines
	A Trockendocke
	B Seeschleusen
	C Schleusen- und Docktore
	1. Statische und konstruktive Grundsätze 233
	2. Docktore
A contract of	3. Schleusentore

	eite
II. Dauweike	236
	236
B Dock VII Wilhelmshaven	238
C Dock Elbe 17 Hamburg	239
D Dock VIII Wilhelmshaven	244
E Dock Emden	246
F Seeschleuse IV. Einfahrt Wilhelmshaven	249
III. Schleusen- und Docktore ,	251
A Docktor Elbe 17 Hamburg	251
B Docktor 7 Wilhelmshaven	252
C Docktor Emden	252
D Schleusentor III. Einfahrt Wilhelmshaven	254
E Schleusentor IV. Einfahrt Wilhelmshaven	25 5

I. Allgemeines

A. Trockendocke

Um zu besonders günstigen Konstruktionen zu gelangen, wurden folgende Grundsätze erarbeitet und bei der Bauausführung berücksichtigt:

- 1. Ziel der konstruktiven Gestaltung der Dockquerschnitte der letzten neuen Großdocke für den Neubau von Schiffen und für den Reparaturbetrieb war es, mit einer möglichst geringen Sohlenstärke auszukommen, was auf folgende Weise erreicht wurde:
- 1.1 Durch schwere stützende Seitenmauern in Stahlbeton in Verbindung mit einer als Biegeträger bemessenen Sohle. (Elbe 17 Hamburg)
- 1.2 Durch Gewichtserhöhung schlanker Seitenmauern mittels eines rückwärtigen Sohlenkragarmes, auf dem das Bodengewicht zur Auftriebsübernahme als Ballast wirksam wird in Verbindung mit einem umgekehrten Sohlengewölbe. (Dock VII Wilhelmshaven)
- 1.3 Durch Beseitigung des Auftriebs mittels einer Filterschicht unter der Sohle und Entlastungsrohren mit Rückschlagkugelventilverschlüssen und einer Spundwandumschließung. (Baudock Bremen)
- 1.4 Durch Verankerung der Sohle an schräg gerammten Stahlpfählen, um das Bodengewicht zwischen den Pfählen zur Auftriebsübernahme heranzuziehen. (Dock VIII Wilhelmshaven)
- 1.5 Durch Verankerung der Docksohle mittels vorgespannten Stahlkabelankern an in den Boden eingerüttelten Betonankerblöcken. (Baudock Emden) (Der Boden zwischen den Ankern wurde noch zusätzlich eingerüttelt, um mit Sicherheit den zwischen den Ankern liegenden Boden zur Auftriebsaufnahme heranziehen zu können.)
- 1.6 Durch sinnvolle Unterteilung der Sohle in statisch und bauausführungsmäßig günstige Blöcke, z. T. unter Anwendung von nachträglich zu schließenden Plomben, um die Einflüsse der größeren Setzungen der schweren Seitenwände auf die Sohle zu vermeiden, die Schwindeinflüsse abzumindern und um die Blöcke in einem Zuge, also ohne Unterbrechung betonieren zu können.
- 1.7 Berechnung und Bemessung des Dockquerschnitts als Tragkörper auf elastischer Unterlage.

- 2. Um das Füllen und Leeren der Großdocke schnell und betrieblich günstig vornehmen zu können, wurden folgende Wege beschritten:
- 2.1 Durchführung von Modellversuchen, um
 - 2.11 die günstigste Führung und Querschnittsform der Füll- und Lenzkanäle zu ermitteln, so daß keine überhöhten Geschwindigkeiten auftraten, die den Beton angriffen bzw. daß die Stellen genau festgestellt wurden, wo durch Stahlpanzerung der Beton geschützt werden mußte,
 - 2.12 die günstigste Form und Lage des Flut- und Lenzquerkanals in der Sohle des Dockhauptes und die beste Form der Energievernichtung zu ermitteln, um größere Wellenbewegungen und konzentrierte Strömungen zu vermeiden und geringste Trossenzüge zu erreichen,
 - 2.13 die günstigsten Füll- und Leerzeiten durch eine entsprechende Betriebsvorschrift für die Bewegung der Verschlüsse und für die Betätigung der Hauptpumpen zu erreichen,
 - 2.14 durch zusätzliche Anordnung von Durchlässen im Docktor die Füllzeiten ohne sonstige Störungen zu verkürzen.

Die Versuche zeigten eine gute Übereinstimmung mit dem Betrieb.

2.2 Verwendung von Schraubenschauflern mit senkrechter Achse und elektrischem Antrieb.

(Diese Pumpen drücken das Wasser über einen Überlauf. Eine derartige Pumpenanlage läßt sich auf kleinstem Raum in der Seitenmauer des Dockhauptes leicht unterbringen.)

- 2.3 Die zusätzliche Anordnung von kleineren Lenzpumpen zur Trockenhaltung des leeren Dockes.
- 3. Es wurde in allen Fällen eine mindestens doppelte Dichtung der Dockfugen ausgeführt. Dieser Ausbildungsgrundsatz hat sich im Betrieb bewährt.
- 4. Ob das Dock in voller Breite oder mit zulaufender Spitze gebaut wurde, hing von den örtlichen Verhältnissen und von den Forderungen des Betriebes ab. Beide Lösungen kamen zur Anwendung.
- 5. Die Entwässerungskanäle in der Sohle sind an den Stellen angeordnet, wo sie statisch die Hauptabmessungen des Sohlenquerschnittes nicht beeinflußten und gleichzeitig betrieblich nicht störten.

(Sie müssen so groß bemessen werden, daß sie nicht nur für den Lenzwasseranfall ausreichen, sondern darüber hinaus auch den Abfluß des Restwassers bei der Dockentleerung wirkungsvoll unterstützen. Dementsprechend muß die Docksohle ebene Gefälleflächen zur Entwässerung aufweisen.)

6. Die Dockseitenwände wurden so ausgebildet, daß sie die schweren Kranlasten und die Versorgungsleitungen aufnehmen konnten.

B. Seeschleusen

Die betrieblichen Erfahrungen und die ausgewerteten statisch-konstruktiven Gesichtspunkte ergaben folgende Lösungen:

- 1. Wo es der Untergrund zuließ, ist
- a) entweder bei schwer- oder undurchlässigem Baugrund von einer Sohlenbefestigung Abstand genommen worden

- b) oder bei durchlässigem Baugrund die Kammersohle mit 1,0 m bis 1,5 m starken Betonplatten auf einer Kiesfilterschicht befestigt worden, vor allem, wenn ein Arbeiten der Schiffsschrauben tiefgehender großer Seeschiffe in der Schleuse nicht von vornherein ausgeschlossen werden konnte.
- 2. Die Kammermauern wurden als Pfahlrostkajen konstruiert, wobei auf einen vorderen Abschluß durch Spundwände oder Betonwand Wert gelegt wurde.
- 3. Bei einer Doppelseeschleuse wurde der Abstand der beiden Kammern auch aus Luftschutzgründen so breit gewählt, daß die Tore beider Kammern in die mittlere Insel eingezogen werden konnten und so ein geschütztes einheitliches Torkammerbauwerk billig herzustellen war.
- 4. Wenn eine Überdeckung der Torkammer gefordert wurde, konnte diese zur Ausbildung als Rahmenquerschnitt vorteilhaft herangezogen werden.
- 5. Die Anordnung von Einzeltoren oder Doppeltoren als Abschluß im Binnenoder Außenhaupt war von dem vom Bauherrn gewünschten Sicherheitsgrad für den dahinterliegenden Schleusenhafen abhängig.
- (Ob das Doppeltor in das Binnen- oder Außenhaupt gelegt oder ob in einem zu bestimmenden Abstand innerhalb der Schleusenkammern ein weiteres Einzeltor angeordnet wird, hängt davon ab, ob nur Großschiffe oder auch Seeschiffe kleinerer Abmessungen die Schleuse benutzen. Abgesehen von dem größeren Wasserverlust spielt eine Abkürzung der Schleusungszeit bei den nur wenigen Minuten der Füll- und Leerzeit allerdings kaum eine Rolle.)
- 6. Für das Füllen und Leeren der Seeschleusen wurde auf besondere nur verteuernde Umläufe in den Häuptern verzichtet und in die Schleusentore selbst Durchlässe mit oder ohne Energievernichter eingebaut. Auf die richtige Lenkung des Durchflußstrahles wurde besonders geachtet. Bei befestigter Kammersohle wurde der Strahl mit Rücksicht auf die Schiffslage nach unten, bei unbefestigtem Vorboden wegen der Kolkwirkung nach oben abgelenkt.

Die Modellversuche in den Versuchsanstalten zeigten eine gute Übereinstimmung mit den Erfahrungen aus dem Schleusenbetrieb.

C. Schleusen- und Docktore

1. Statisch-konstruktive Grundsätze

a) Belastung der Schleusen- und Docktore durch:

Eigengewicht,

Verkehrslasten, falls Verkehr über das Tor geht,

Wasserüberdruck,

Auftriebskräfte,

Windkräfte,

Antriebs- und Reibungskräfte beim Verfahren von Schiebetoren,

Reibungswiderstände an den Auflagern, die eine freie Verformung des durch Wasserüberdruck belasteteten Tores behindern (Einspannungswirkung),

dynamische Wasserdruckbelastungen, falls das Tor der Wirkung von fließendem Wasser (z.B. bei Durchlässen im Tor) oder Wellenwirkungen ausgesetzt ist,

Schiffsstöße.

b) Ausbildungs- und Berechnungsgrundsätze für die konstruktive Gestaltung der Tore

Von den früher üblichen Ständertoren mit Drempelabstützung ist man bereits seit längerer Zeit auf reine "Riegeltore" übergegangen. Bei letzteren wird praktisch der gesamte Wasserdruck in die Seitenanschläge abgetragen. Die tragenden Elemente zur Aufnahme des Wasserdrucks sind die Stauwände mit ihren Aussteifungen, die Riegel und die Querverbände. Der Schwimmkasten wirkt dabei meist als Hauptriegel mit. Da die einzelnen Riegel durch die Querverbände miteinander verbunden sind, ist eine unabhängige Durchbiegung der Riegel nicht möglich. Das Tor stellt daher im allgemeinen Fall theoretisch ein hochgradig statisch unbestimmtes System dar, das genau nur nach der Elastizitätstheorie und angenähert nach dem Trägerrostverfahren berechnet werden kann. Im letzteren Fall muß jedoch beachtet werden, daß vor allem Kastentore oder Tore mit beiderseitiger Stauwand einen Torsionsquerschnitt von großer Steifigkeit darstellen. Die bekannten Berechnungsverfahren für Trägerroste sind daher nur bedingt anwendbar. In einer Zusatzberechnung muß hier die Torsionssteifigkeit mit berücksichtigt werden. Die statische Berechnung der Riegeltore wird jedoch verhältnismäßig einfach, wenn die Verwindungssteifigkeit der Torkonstruktion vernachlässigbar klein ist. Das ist immer dann der Fall, wenn der Schwimmkasten nicht verwindungssteif ist und wenn nur eine Stauwand, entweder einseitig oder mittig, angeordnet ist. Die Bemessung der Riegel erfolgt dann für die darauf entfallenden Anteile der Wasserdruckbelastung, wobei durch entsprechende Profilwahl für alle Riegel möglichst gleiche Durchbiegungen anzustreben sind.

In den meisten Fällen müssen jedoch verschiedene Belastungsfälle berücksichtigt werden, so daß eine gleiche Durchbiegung nicht für alle Riegel erreichbar ist. Dann muß der Belastungsausgleich durch die lotrechten Zwischenschotte erfolgen, die entsprechend zu bemessen sind. Eine vereinfachte Näherungsberechnung kann dann unter den Grenzannahmen durchgeführt werden, daß keine Zwischenschotte vorhanden sind und unter der Annahme absolut starrer Zwischenschotte. Das jeweils ungünstigere Berechnungsergebnis wird der Bemessung der Riegel und Querverbände zugrunde gelegt. Die tatsächlich auftretenden Beanspruchungen liegen dann stets zwischen den beiden berücksichtigten Grenzwerten.

Besitzt die Torkonstruktion durch Anordnung beiderseitiger Stauwände und durch den steifen Schwimmkasten eine erhebliche Verwindungssteifigkeit, so empfiehlt es sich bei großen Toren stets, eine genauere Berechnung nach der Elastizitätstheorie durchzuführen. Nur eine solche Berechnung gewährleistet eine ausreichende Sicherheit bei sparsamster Konstruktion.

Für die Bestimmung der Torbreite sind nicht allein die statischen Erfordernisse entscheidend. Vielmehr müssen auch die Bedingungen zum Ein- und Ausschwimmen der Tore bzw. beim Transport selbstschwimmender Tore maßgeblich berücksichtigt werden. Häufig wird gefondert, daß die Tore auch bei NNW ausschwimmbar sind. Die Tauchtiefe ist dann ungünstig vorgegeben. Durch eine solche Forderung ist eine besonders tiefe Lage des Schwimmkastens bedingt, die sich sehr ungünstig auf die Schwimmstabilität des Tores auswirkt.

Eine Gewichtsstabilität ist nur selten zu erreichen.

Allgemein besitzen die Tore nur Formstabilität, wobei eine metazentrische Höhe von mindestens 1,0, besser 2,0 m anzustreben ist. Dies ist bei tiefliegendem Schwimmkasten nur durch eine entsprechend große Torbreite oder durch tiefliegenden Ballast erreichbar.

c) Lagerung und Dichtung von Schleusen- und Docktoren

Als Schleusenverschlüsse wurden stets Schiebetore angewendet. Obwohl die Tore in Riegelkonstruktion ausgeführt wurden, wurde der Drempelanschlag im Hinblick auf die Sohlendichtung der ein- und ausfahrenden Schiebetore für das entsprechend ausgebildete Federblech mit Dichtungsleiste nach wie vor beibehalten. Die Lagerung erfolgte nach dem Schubkarrensystem auf einem vorderen Unterwagen und einem hinteren Oberwagen mit Gelenkzahnstangenantrieb.

Bei den modernen Schwimmtoren für Trockendocke in Riegelbauweise verzichtet man völlig auf den Anschlag am Drempel, so daß die Sohle eben ausgeführt werden kann. Die Auflagerung, Lastübertragung und Dichtung gegen die Seitenanschläge wurden in der bisherigen Form beibehalten. Die Sohlendichtung wurde bei den Docktoren als reine Aufsatzdichtung ausgeführt. Der Sohlendichtungsbalken setzte sich auf einen im Beton vergossenen Stahlträger auf, wobei eine ausreichend große Belastung des Sohlenbalkens sichergestellt sein mußte. Diese wird durch Fluten von bestimmten, hierfür vorgesehenen Zellen des Schwimmkastens erzeugt. Eine gute Abdichtung wird außerdem nur bei genauer Bearbeitung des Sohlenbalkens und einer genauen Montage des einbetonierten Stahlträgers erzielt. Da dieses Schwierigkeit bereitet, erhält der Aufsatzbalken des Tores zweckmäßig zusätzliche Gummidichtungen in besonderen Profilen.

d) Durchlässe in den Schleusentoren

Bei neueren Anlagen wird das Füllen und Entleeren der Schleusen nicht mehr durch Umläufe in den Häuptern, sondern durch Durchlässe in den Toren vorgenommen. Bei den Toren der III. Einfahrt Wilhelmshaven sind erstmalig im Zuge der Instandsetzung in den Jahren 1934—1937 Durchlässe mit Jalousieverschlüssen eingebaut worden. Da über die Wirkungsweise derartiger Verschlüsse seinerzeit keine Erfahrungen vorlagen, wurden umfangreiche Modellversuche durchgeführt, deren Hauptaufgabe es war, die Füll- und Entleerungszeiten der Schleuse zu bestimmen und die auftretenden Trossenzüge während des Schleusungsvorganges zu ermitteln. Außerdem wurden durch Druckmessungen am Tormodell die auf die Torkonstruktion und die Durchlässe selbst wirkenden statischen und dynamischen Kräfte festgestellt. Sie bildeten die Grundlage für die statische Berechnung der entsprechenden Konstruktionsteile und für die Bemessung der Antriebe der Durchläßverschlüsse.

Bei den schlauchartigen Durchlässen mit Drehsegmentverschluß vollzieht sich die Energievernichtung erst in der Schleusenkammer bzw. über dem Vorboden. Bei den Durchlässen mit zwischengeschalteter Toskammer wird die Energie in zwei Stufen, und zwar in der Toskammer und in der Schleusenkammer bzw. über dem Vorboden vernichtet. Entsprechend dem Grade der Energievernichtung in der Toskammer ergeben sich für Schiffe, die in der Schleusenkammer liegen, verschiedene Trossenzüge.

Nach Messungen am Modell lagen die Trossenzugkräfte auch bei Schlauchdurchlässen weit unter den Trossenzügen, die bei Pollern für das Regelfrachtschiff des Weltverkehrs in Ansatz gebracht werden.

Bei der IV. Einfahrt in Wilhelmshaven kamen dann ebenfalls auf Grund von Modellversuchen schlauchartige Durchlässe mit Segmentverschlüssen und Toskammerdurchlässe mit Schützenverschlüssen zur Anwendung.

Beim Docktor Emden wurden noch zusätzliche Flutschieber ϕ 800 mm mit Prellwänden zur Energievernichtung eingebaut.

2. Docktore

- a) Bei den neuen Großdocken wurden als Torverschlüsse schwimmende Riegeltore verwendet, die entweder mit doppelter Stauwand oder mit einer in der Mitte des Tores liegenden einfachen Stauwand versehen waren.
- b) Da bei den Riegeltoren der gesamte Wasserdruck in die seitlichen Toranschläge abgeleitet wird, ergaben sich völlig klare statische Verhältnisse und auf einen teueren Drempel konnte verzichtet werden.
- c) Die Dichtung erfolgte an den vertikalen Anschlägen durch Kantholz, auf der Sohle durch einen hölzernen Aufsatzbalken mit zusätzlicher Gummidichtung.
- d) Zur Verringerung der Füllzeit können auf Grund von Versuchsergebnissen und den guten Betriebserfahrungen bei den Schleusentoren zusätzliche Durchläufe mit Schieberverschlüssen und Prellplatten empfohlen werden.
- e) Die Docktore wurden nach beiden Seiten kehrend konstruiert, so daß sie im Betrieb leichter unterhalten werden können.

3. Schleusentore

- a) Das Kastentor in Riegelkonstruktion nach dem Schubkarrensystem gelagert ein Unterwagen und ein Oberwagen hatte sich im Betrieb bewährt und wurde beibehalten.
- b) Die Dichtung an den senkrechten Anschlägen durch Kanthölzer, die auf eine Stahlguß- bzw. Stahlblechplatte mit dahinterliegendem einbetonierten Stahlgerüst anschlagen, hat sich bewährt. Das Stahlgerüst gestattet eine einwandfreie Montage und gewährleistet ebene und absolut senkrechte Anschlagsflächen ohne spätere Nacharbeit.

Die Dichtung an der Schleusensohle wie bisher durch Federbleche hat auch neuerdings keine Nachteile ergeben.

c) Vorteilhaft bewährt haben sich Durchlaufverschlüsse in den Schleusentoren selbst in der Form von:

Schlauchdurchlässen mit Segmentverschlüssen oder Jalousieverschlüssen, Durchlässen mit Tosbecken und Schützenverschlüssen.

Der Austrittsstrahl der Durchläufe wurde so gelenkt, daß eine gute Spülwirkung bei gleichzeitiger schadloser Einführung in die Kammer bzw. in den Hafen oder Vorhafen gewährleistet wurde.

II. Bauwerke

A. Dock Bremen (Anmerkung) (Bild 1)

Hier handelt es sich um ein Baudock mit folgenden Abmessungen:

						_				J
Nutzlänge		.•		• ;			٠.		350	m
Nutzbreite		٠			•				60	m
Tiefe des D	rem	pels	un	ter (MTI	1 TAT .			Q	m

Für die Wahl des endgültigen Querschnittes war der vorhandene Untergrund unter der Docksohle, bestehend aus Geschiebemergel und aus Tonmergel (sogenannter "Lauenburger Ton") in praktisch geschlossener Formation, entscheidend. Der "Lauenburger Ton" wurde im Dockbereich in einer Mächtigkeit von rd. 30 m erbohrt.

Ein auftriebssicherer Querschnitt hätte einen tiefen Aushub bedingt, der wegen der geforderten kurzen Bauzeit und dem dicht neben dem Dock liegenden Wesenstrom möglichst vermieden werden sollte. Man entschloß sich daher für einen leichteren Querschnitt, wobei der Auftrieb auf folgende Weise beseitigt wurde:

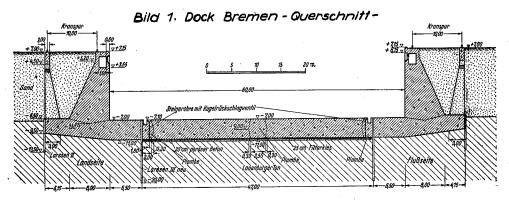


Bild 1 Dock Bremen — Querschnitt

Der bei Weserhochwasser nicht auftriebsichere 4 m dicke Docksohlenteil wurde durch eine beiderseitig 9 m tief unter der Sohle eingerammte Stahlspundwand umschlossen, an die die Docksohle angehängt wurde. Außerdem wurde eine 25 cm dicke Filterkiesschicht und darüber eine 20 cm starke Filterbetonschicht unter der Sohle eingebracht. In diese Filterzone wurden dann nahe den Sohlenrändern Steigrohre mit Kugelrückschlagventilverschlüssen angeordnet, die erst wirksam wurden, kurz bevor der Auftrieb das Gewicht der Docksohle erreichte.

Die Docksohle, die wegen der geforderten hohen Kiellasten von 500 t/lfdm bis örtlich 1200 t/lfdm eine Stärke von 4 m erhielt, wurde in Abschnitten schachbrettartig betoniert, wobei die beiden Seiten- und die Mittelplombe erst im Spätstadium der Dockherstellung mit Beton verfüllt wurden.

Die Seitenmauern erhielten zur Erhöhung der Standsicherheit einen rückwärtigen Sporn, auf dem gleichzeitig der landseitige Kranbahnbalken für die schweren 40 t Krane gegründet wurde.

Die Oberkante der Seitenmauern wurde bis + 7,15 NN. heraufgeführt, um das Dock sturmflutsicher zu gestalten. Im Kopf der Seitenmauern wurde ein begehbarer Versorgungskanal angeordnet.

Die beiderseitigen Treppen in Dockmitte und am Dockhaupt wurden in Stahlkonstruktion ausgeführt und durch ausklappbare Konsolen unterstützt. Es war so bei sehr breiten Schiffen jederzeit möglich, diese Treppen herauszunehmen. Der Verkehr zur Docksohle konnte dann noch über die Stahltreppen an der Dockspitze aufrechterhalten werden.

Das Füllen des Docks erfolgte durch einen Flutkanal am Dockhaupt, der als Querkanal knapp hinter dem Docktor angeordnet und oben teilweise mit Stahlbetonbalken abgedeckt war, deren Lage und Form auf Grund von Modellversuchen so festgelegt wurde, daß eine unnötige Wellenbewegung und größere Trossenzüge mit Sicherheit vermieden wurden. Dieser Kanal diente gleichzeitig als Lenzkanal. Der Dockkörper selbst ist fertiggestellt worden. Infolge des Kriegsendes ist das Dock jedoch nicht mehr in Betrieb genommen worden.

Anmerkung:

Statisch-konstruktive Bearbeitung:

Ingenieurbüro des erstgenannten Berichters

Bauausführung:

Fa. Hermann Möller, Wilhelmshaven

B. Dock VII Wilhelmshaven (Anmerkung) (Bild 2)

Das Dock VII in Wilhelmshaven wurde als Baudock mit folgenden Abmessungen konstruiert:

Nutzbare	Länge		•	·. •.				350	m
Nutzbare	Breite			•	•.			60	m
Tiefe des	Drempel	s u	nter	MH	aW		v .	8.55	m

Der Untergrund besteht aus diluvialem Feinsand unter einer etwa 2—3 m dicken aluvialen Kleischicht.

Das Dock wurde in Baublöcken von 16,4 m Breite unterteilt.

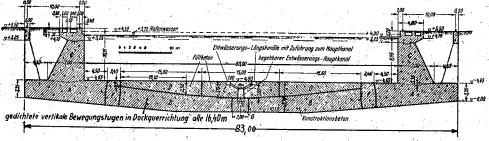


Bild 2. Dock W Wilhelmshaven - Querschnitt -

Bild 2 Dock VII Wilhelmshaven — Querschnitt

Die Blockfugen erhielten eine dreifache Dichtung. Unten wurde ein 8—10 cm dicker mit Bitumen getränkter Strick auf einer doppelten Asphaltpappenunterlage aufgeklebt. In der Mitte wurde eine Alcuta-Dichtung angeordnet. An der Oberseite erhielten die Bewegungsfugen eine schräg angeordnete Einfassung aus Stahlblechen. Der so gebildete schwalbenschwanzförmige Hohlraum wurde im unteren Teil mit einem in Bitumen getränkten Hanfstrick verstemmt und im oberen Teil durch verstemmte Bleiwolle abgedichtet. Diese obere Dichtung brachte den Vorteil, etwa auftretende Undichtigkeiten durch weiteres Verstemmen mit Bleiwolle nachdichten zu können. Nach dem Ansteigen des Grundwassers zeigten sich in den folgenden Jahren keine Undichtigkeiten in den Fugen.

Das Dock erhielt eine nach unten gewölbte Sohle (umgekehrtes Gewölbe) mit 2,60 m Dicke im Scheitel und 3,80 m an den Widerlagern. Der darüber liegende Teil des mittleren Sohlenabschnittes wurde bis Oberkante Docksohle in unbewehrtem Aufbeton ausgeführt. Die gesamte Sohlendicke beträgt in der Mitte 5,70 m, an den Seiten verjüngt sie sich auf 4,30 m.

Die Vergrößerung des wirksamen Gewichts der Seitenmauern für die Auftriebaufnahme und für die Aufnahme der lotrechten Komponente des Gewölbeschubes des mittleren Sohlenabschnittes erfolgte durch billigen Sandballast.

Da das Dock mit schweren 40 t Werftkranen ausgerüstet werden sollte und daher auf eine einwandfreie Gründung der rückwärtigen Kranbahn ein besonderer Wert gelegt werden mußte, brachte der hintere Sohlensporn den Vorteil, die rückwärtige Kranbahn auf einzelstehenden Pfeilern mit durchlaufendem oberem Kranbahnbalken sehr wirtschaftlich gründen zu können.

Das Dock wurde in der Querrichtung in vier Abschnitten hergestellt. Zuerst wurden die schweren Seitenmauern hergestellt und hinterfüllt, um hier die Setzungen vor dem Schließen der Plomben ausklingen zu lassen. Die Gewölbesohle wurde durch eine mittlere Plombe in zwei Abschnitte unterteilt, die ihrerseits von den Seitenwandblöcken durch Seitenplomben getrennt waren.

Über dem Scheitel der Gewölbesohle wurde im Aufbeton ein leistungsfähiger Entwässerungskanal angeordnet.

Als Pumpen waren MAN-Schraubenschaufler mit elektrischem Antrieb vorgesehen, die gleichzeitig auch das später zu bauende Nachbardock entleeren sollten.

Das Dock selbst ist als Betonbauwerk fertiggestellt, jedoch aus kriegsbedingten Gründen nicht mehr in Betrieb genommen worden.

Anmerkung:

Statisch-konstruktive Bearbeitung:

Ingenieurbüro des erstgenannten Berichters

Bauausführung:

Fa. Heinrich Butzer KG., Dortmund

C. Dock Elbe 17 Hamburg (Anmerkung) (Bild 3 a — b — c)

Das für den Bau von Seeschiffen errichtete Dock hat folgende Abmessungen:

Maximale Länge	4	326,50 m	1
Nutzbreite		60,00 n	1
Breite an der Dockspitze .		20,00 n	1
Tiofo des Dremnels unter M	MThw	10.45 m	1

Für die Querschnittsgestaltung war die Forderung nach einem Sicherheitsfaktor 1,05 des Gesamtbauwerkes gegen Aufschwimmen bei höchstem Hochwasser maßgebend. Die Sohle konnte daher den auf sie wirkenden Auftrieb durch ihr Gewicht allein nicht aufnehmen. Sie mußte den Auftriebsüberschuß auf die schweren Seitenwände übertragen und mußte daher als 84 m langer bewehrter Stahlbetonträger ausgebildet werden. Sie ist im mittleren Teil auf 20 m Breite 6,5 m dick und verjüngt sich bis zum Baugrubenrand auf 4,5 m.

Aus herstellungstechnischen Gründen und zum Ausgleich von Belastungs- und Setzungsunterschieden wurde das Dock durch Bewegungsfugen in 16 Blöcke

Bild 3a. Dock Elbe 17 Hamburg Querschnitt des Pumpenhauses.

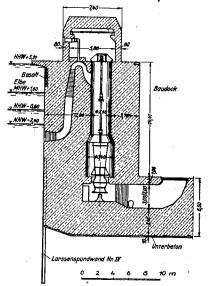


Bild 3a Dock Elbe 17 Hamburg — Querschnitt des Pumpenhauses

Bild 3b. Dock Elbe 17 Hamburg- Dockquerschnitt.

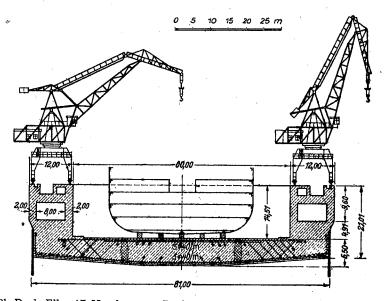


Bild 3b Dock Elbe 17 Hamburg — Dockquerschnitt

unterteilt. Diese Blöcke wurden außerdem noch durch Arbeitsfugen in Form von Plomben von etwa 1,5 m mittlerer Breite, parallel zur Dockachse in drei Abschnitte unterteilt und nacheinander betoniert.

Die Breite der Seitenwände ergab sich aus der Spurweite der einwandfrei zu gründenden Kranschienen für die schweren Wippkrane (40 t Nutzlast bei 40 m Ausladung) zwangsläufig mit etwa 12 m.

Die Belastung der Kielstapel betrug maximal 1200 t/lfdm Dock. Diese große Last mußte durch eine entsprechende Bewehrung der Sohle auf eine genügende Breite verteilt werden.

Die Berechnung der Sohle wurde nach verschiedenen Verfahren vorgenommen, um so die Beanspruchungen einzugrenzen. So wurde die Sohle als Träger auf elastischer Bettung mit drei verschiedenen Bettungsziffern berechnet. Ferner wurden Näherungsansätze über die Verteilung der Seitenwandlasten unmittelbar auf den Baugrund und auf die Sohle durchgerechnet und die verschiedenen Bauzustände untersucht mit Berücksichtigung der auftretenden Zwischenzustände.

Die Querfugen im Abstand von rd. 22 m wurden anfangs mit gebogenen Kupferblechen etwa 1 m unter der Sohlenoberkante gedichtet. Außerdem wurden beiderseits dieser Hauptdichtung zusätzliche Teerstrickdichtungen angeordnet, welche in winkelförmigen Nuten verlegt wurden. Wegen der Knappheit an Kupfer wurde später die Dichtung aus Kupferblech durch eine auswechselbare Gummiplatte ersetzt. Diese wurde mittels Profileisen an einbetonierte, winkeleisenförmige Verkleidungen der Blockkanten angedrückt.

Die Toranschläge wurden mit einer verhältnismäßig schwachen Panzerung aus 14 mm starken Stahlblechplatten, die miteinander verschweißt wurden, versehen. Die dahinterliegende Rundeisenbewehrung folgte genau dem Verlauf der auf spannungsoptischem Wege ermittelten Spannungstrajektorien.

Infolge der besonderen Lage des Docks konnten die Pumpenanlage ebenso wie die Fülleinrichtungen des Docks in der in den Strom hinausreichenden Dockseitenmauer untergebracht werden.

Die Form und die Verteilung der Einlauföffnungen und der sonstigen Kanäle wurden auf Grund von Modellversuchen festgelegt. Für das Lenzen des Docks wurden 3 Stück MAN-Schraubenschaufler mit lotrechter Achse angewendet, davon 1 in Reserve.

Außerdem waren noch zwei kleinere Pumpen für die Beseitigung des normalen Regenwassers und des Wassers aus eventuellen kleinen Undichtigkeiten usw. als Lenzwasserpumpen angeordnet. Es zeigte sich bei der Inbetriebnahme des Docks, daß letztere kaum einmal in der Woche arbeiten mußten.

Anmerkung:

Statisch-konstruktive Bearbeitung:

Fa. Dyckerhoff & Widmann KG. in Zusammenarbeit mit Prof. Dr.-Ing. Streck, Hannover.

Bauausführung:

Fa. Dyckerhoff & Widmann KG.

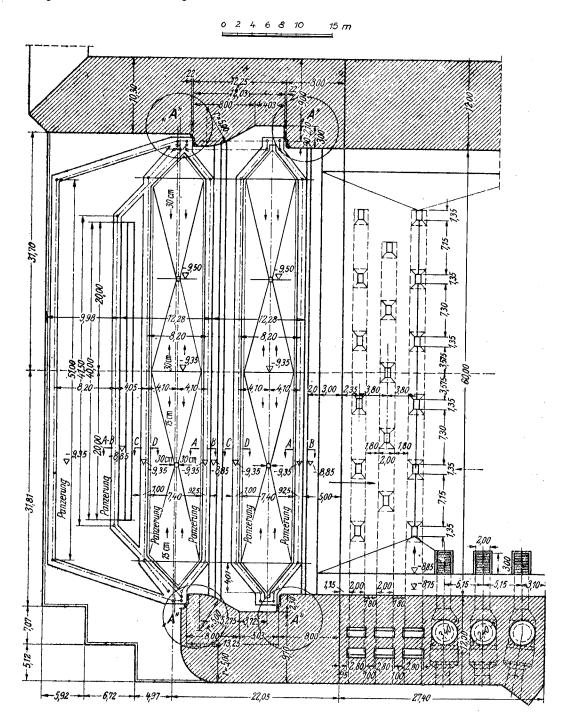
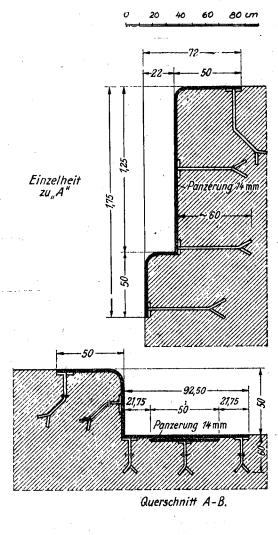
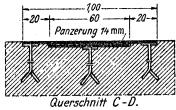


Bild 3c. Dock Elbe 17 Hamburg - Grundri.

Bild 3 c Dock Elbe 17 Hamburg — Grundriß vom Dockhaup't





vom Dockhaupt.

D. Dock VIII Wilhelmshaven (Anmerkung) (Bild 4)

Dieses Dock wurde als Reparaturdock mit folgenden Abmessungen entworfen:

Das Dock liegt in einem Gelände, dessen Untergrund aus diluvialem Sandboden besteht, der von einer 2—3 m dicken aluvialen Kleischicht überdeckt wird.

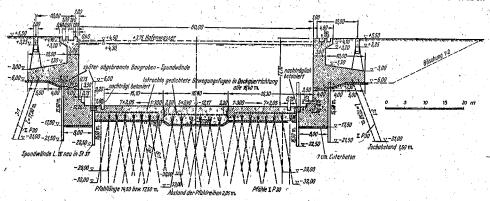


Bild 4. Dock III Wilhelmshaven - Querschnitt -

Bild 4 Dock VIII Wilhelmshaven — Querschnitt

Beim vorhandenen großen Auftrieb kamen drei Lösungen in Frage:

1. Dock mit Filtersohle.

Auf diese Lösung wurde nicht zurückgegriffen, weil dabei sehr große Wassermengen laufend gepumpt werden mußten, die Pumpenanlage nicht die erforderliche Betriebssicherheit für Kriegseinwirkungen aufwies und weil Schäden durch Schrumpfung der oberen Kleischicht in der Stadt auf ein Minimum zu beschränken waren.

2. Ein massives Dock.

Dieses hätte eine derartig starke Betonsohle erhalten müssen, daß es weder wirtschaftlich noch bauausführungsmäßig zu vertreten war. Außerdem mußten bei dem dicht danebenliegenden bereits fertiggestellten Dock zusätzliche Setzungen bei der erforderlichen übergroßen Absenkung des Grundwassers erwartet werden.

3. Dock mit verankerter Sohle.

Hierfür wurde ein besonderer Vorschlag ausgearbeitet, der zur Ausführung bestimmt wurde.

Die Untersuchungen führten zu folgendem Ergebnis:

a) Eine Lösung mit nur senkrecht angeordneten Zugpfählen schied aus, da diese bei den vorhandenen Bodenverhältnissen nicht die Gewähr gab, daß der Boden in vollem Umfang zwischen den Pfählen dauernd als Auftrieb-Gegengewicht wirksam blieb. Hier war auch zu berücksichtigen, daß diese Pfähle starken Wechselbeanspruchungen ausgesetzt sind und zwar auf Zug bei leerem Dock und entsprechend großem Druck bei hoher Kiellast.

- b) Eine Verankerung an sich kreuzenden Schrägpfahlreihen hatte gegenüber einer Lösung nach a) den Vorteil, daß hier infolge der Vernähung des Untergrundes die Gewähr gegeben war, daß der Boden zwischen den Schrägpfählen in ausreichendem Umfang und dauernd wirksam als Gegengewicht herangezogen werden konnte. Zur Vermeidung einer Pfahllockerung infolge von Wechselbeanspruchungen mußte aber auch hier die rechnungsmäßige Nutzlast entsprechend tief unter der Grenzlast auf Zug und Druck bleiben.
- c) Ein Versuch, einen rechteckigen Winkeleisenrahmen bis zur erforderlichen Tiese nach dem Keller'schen Rüttelverfahren abzusenken, hatte ein positives Ergebnis. Die Zugkräfte sollten hier jeweils durch vier Rundstahlanker, die in die Sohle einbetoniert werden sollten, von der Sohle in den Winkeleisenrahmen übertragen werden.

Die Entscheidung fiel zugunsten des Dockes mit Schrägpfahlverankerung. Die Bauarbeiten wurden begonnen, das Dock jedoch aus kriegsbedingten Gründen nicht zu Ende gebaut.

Als Verankerungspfähle wurden Breitflanschträger IP 30 gewählt, nachdem Versuche, mit verwundenen IP 30-Pfählen eine größere Gesamt-Wirtschaftlichkeit als mit glatten Pfählen zu erreichen, kein positives Resultat ergeben hatten.

Die Betonsohle besteht aus einer mittleren 16,40 m breiten Stahlbetonplatte von rd. 4,80 m Dicke und zwei rd. 3,80 m dicken Seitenfeldern. Der mittlere Teil mußte stärker gewählt werden, weil hier Kiellasten von 500 t/lfdm bis örtlich 1200 t/lfdm gefordert wurden.

Die Seitenmauern sind im unteren Teil aus einer massiven 4 m dicken Betonwand hergestellt, die sich unten auf einen i. M. 8,36 m breiten, im Schutze einer Umspundung tief gegründeten Sohlblock abstützt. Der darüberliegende winkelförmige Aufbau kragt 9 m breit nach hinten in das Erdreich und wird im rückwärtigen Teil durch zwei schräge Zugpfahlreihen nach hinten und unten verankert, um beim späteren Betrieb des Dockes die Erd- und Wasserdruckbelastungen einwandfrei aufnehmen zu können. Auf diesen rückwärtigen Sporn konnte wiederum wie bei Dock VII die Gründung der schweren hinteren Kranbahn vorgenommen werden.

Die Bauausführung der Sohle konnte nach Erstellung der Seitenwände in einer einwandfrei gesicherten Baugrube vorgenommen werden.

Die Dichtung der Fugen war wie bei Dock VII vorgesehen, wobei die Baublockbreite ebenfalls mit 16,4 m gewählt wurde.

Als Verschluß war ein kastenförmiges Schwimmtor mit nur seitlicher Wasser-druckabtragung geplant, das jedoch nicht mehr zur Ausführung gekommen ist.

Die Füllung und Leerung des Docks sollte über einen Flut- und Lenzkanal am Dockhaupt erfolgen, der in ein unterirdisches Pumpenhaus zwischen Dock VII und VIII führt, von dem aus beide Docks bedient werden sollten.

Anmerkung:

Statisch-konstruktive Bearbeitung:
Ingenieurbüro des erstgenannten Berichters
Bauausführung:
Fa. Heinrich Butzer KG., Dortmund

E. Dock Emden (Anmerkung) (Bild 5 a — b — c)

Auf Grund eingehender Überlegungen mit dem Bauherrn des Docks, der Nordseewerke Emden GmbH., Emden, wurde für die Bemessung des Bau- und Reparaturdocks ein Groß-Schiff von 38 000 dwt zugrunde gelegt. Damit ergaben sich folgende Dockabmessungen:

Maximale	Ĺänge								- 218	m
Lichte Brei	ite über	die	gan	ze L	änç	je			32	m
Höhenlage	des Dr	emp	els	und	dei	ük	rige	en		
Sohle in	Dockm	itte	unte	er N	ИНа	W	,		8,20	m

Die Docksohle ist so bemessen, daß auch zwei Kielstapelreihen angeordnet werden können, wenn zwei Schiffe nebeneinander gebaut oder gedockt werden.

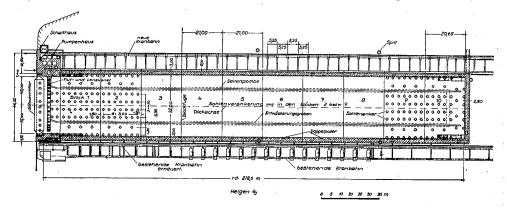


Bild 52. Grundriß des ausgeführten Dockes in Emden.

Bild 5 a Dock Emden — Grundriß des ausgeführten Docks

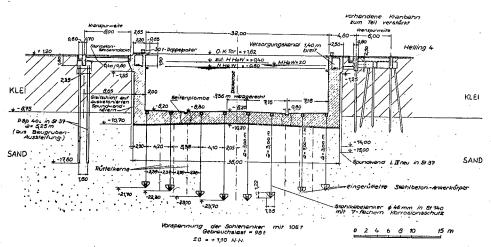


Bild 5b. Normalquerschnitt des fertigen Dockes in Emden.

Bild 5 b Dock Emden — Normalquerschnitt des fertigen Docks

In der Vorplanung wurden verschiedene Trockendock-Konstruktionsformen untersucht, u. a.:

ein Dock mit Massivsohle und Stahlspundbohlen als Seitenwände,

ein massives Trockendock und

ein im Untergrund verankertes Stahlbetondock.

Auf Grund sorgfältiger Gegenüberstellungen hinsichtlich der günstigsten Bauausführung, der konstruktiven Gestaltung und der Kosten wurde dem Bauherrn vorgeschlagen, für das Dock einen elastischen Stahlbetonkörper zu wählen, der mittels patentverschlossener Stahlkabelanker an eingerüttelten Stahlbetonankerblöcken unter Vorspannung gegen den Untergrund verankert wird.

Die Stahlbeton-Docksohle ist in Dockmitte 2 m dick. Die gleiche Dicke besitzen auch die Seitenwände.

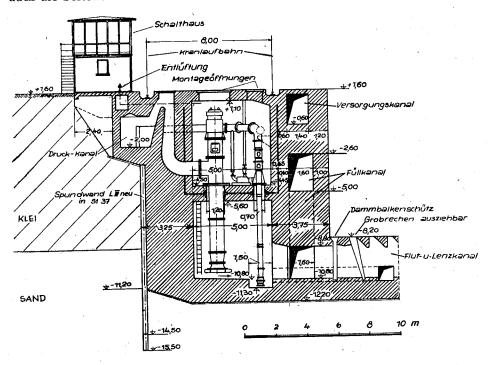


Bild 5c. Querschnitt durch das Pumpenhaus in Emden.

Bild 5 c Dock Emden — Querschnitt durch das Pumpenhaus

Die im Ausschreibungsentwurf vorgesehene innenliegende Voutenverstärkung am Fuß der Seitenwände mußte aus betrieblichen Gründen entfallen.

Für die Verankerung des gesamten Docks wurden 496 Anker eingerüttelt. Um eine durchgehende besonders dichte Lagerung des diluvialen Sandes unter der gesamten Docksohle sicherzustellen, wurden dazwischen noch besondere Verdichtungskerne durch Bodeneinrüttelung hergestellt.

Die durch die Sohle hindurchgeführten Stahlkabelanker wurden nach Fertigstellung und Erhärtung der Sohle mittels Pressen auf 105 t vorgespannt und durch Spezialseilköpfe gesichert. Diese Köpfe besitzen nachstellbare Muttern und gestatten daher jederzeit eine spätere Nachprüfung der eingebrachten Vorspannung bzw., sofern erforderlich, ein Nachspannen der Anker.

Die Stahlkabelanker ϕ 46 mm in St 140 sind siebenfach gegen Korrosion geschützt. Auch für den Korrosionsschutz der Ankereinbindestellen ist besonders gesorgt worden. Die Stahlkabelanker wurden in verschlossener Drahtseilkonstruktion von der Felten & Guilleaume, Carlswerk Eisen- und Stahl-AG in Köln-Mülheim hergestellt, wo auch die Kabelzerreißversuche stattfanden. Ferner wurden Belastungsproben an Ankerkörpern vorgenommen und einzelne eingebaute Anker des Bauwerkes mit 135 t probebelastet.

Die rechnungsmäßige Zugbelastung der Anker beträgt 95 t. Bei dieser Ankerkraft hat die Docksohle in allen Lastfällen Bodenkontakt.

Durch die Vorspannung auf 105 t wurden die zu erwartenden Kriecherscheinungen im Stahlkabelanker und in den Anschlüssen ausgeglichen und ein Anpressen der Docksohle an den Untergrund in erhöhtem Maße gewährleistet.

Der Fortschritt gegenüber den bisherigen Verankerungslösungen liegt in der Verspannung gegen den Baugrund und in der richtigen Ausnutzung der Wechselwirkung zwischen vorgespanntem elastischem Bauwerk und elastischem Baugrund.

Beim Entwurf wurden auch die Erfahrungen mit horizontalen Stahlkabelankern von Spundwänden herangezogen. Letztere sind erstmalig bei einer schweren Außenhafenspundwand in Wilhelmshaven angewendet worden und werden jetzt bereits häufig und mit Erfolg ausgeführt. Auf Grund der Versuche in der Hannoverschen Versuchsanstalt für Grundbau und Wasserbau, Franziusinstitut, wurde die minimale Füllzeit des Docks bis zur Mittelwasserlinie ohne Schiff auf rd. 60 Minuten und mit dem 38 000 dwt-Schiff auf rd. 40 Minuten herabgedrückt. Auch wurden die zu panzernden Bereiche durch Versuche ermittelt.

Als Pumpen wurden drei MAN-Schraubenschaufler mit einer Leistung von je 2 m^3/s gewählt. Mit diesen Pumpen kann das bis zur Mittelwasserlinie gefüllte Dock ohne Schiff in 2,6 Stunden und mit dem 38 000 dwt-Schiff in 2 Stunden geleert werden.

Die seitlichen Toranschläge wurden mit Stahlarmierungen ausgerüstet, die in Aussparungen nachträglich versetzt wurden.

Anmerkung:

Ausschreibungsentwurf:

Erstgenannter Berichter in Zusammenarbeit mit dem zweitgenannten Berichter.

Statisch-konstruktive Bearbeitung des Ausführungsentwurfes: Ingenieurbüro des zweitgenannten Berichters.

Bauausführung:

Fa. Hochtief A.G., Essen (Federführung),

Fa. Köhncke & Co., Bremen,

Fa. Gebrüder Neumann, Norden.

Grundwasserabsenkung und Einrüttelung der Anker und des Untergrundes: Fa. Johann Keller G.m.b.H., Frankfurt.

F. Seeschleuse IV. Einfahrt Wilhelmshaven (Anmerkung) (Bild 6 a -- b)

Hier handelt es sich um eine Doppelschleuse für größte Seeschiffe mit folgenden Abmessungen:

Nutzlänge zwischen den Toren .	350,00 m
Einfahrts- und Kammerbreite	60,00 m
Drempeltiefe unter MHaW	16.75 m
unter MThw	17,18 m

Der Untergrund besteht aus diluvialem Feinsand unter einer 2—3 m dicken aluvialen Kleischicht.

Der Schleusenquerschnitt besteht aus zwei Seitenmauern und einer dazwischenliegenden nur gepflasterten Sohle. Die Seitenmauern bestehen bei einem Geländesprung von 19 m aus einer Stahlbetonwinkelmauer von nur 11 m Breite, die sich auf der Wasserseite unten gegen eine zwischen stählerne Spundwände

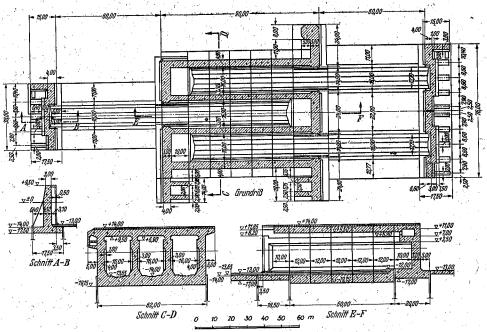


Bild 6b. Häupterbauwerk I Einfahrt Wilhelmshaven.

Bild 6 b Seeschleuse IV. Einfahrt Wilhelmshaven — Häupterbauwerk

gegossene Betonschürze von i. M. 1,75 m Dicke und hinten gegen Stahlpfahlblöcke IP 30 abstützt. Die Rammtiefe dieser Pfähle und deren zulässige Belastung wurden auf Grund eingehender Ramm-, Zug- und Druckversuche festgelegt. Es wurden dabei folgende Pfahllasten zugelassen:

Maximale Druckpfahlkraft . . . rd. 90 t/Pfahl Maximale Zugpfahlkraft . . . rd. 50 t/Pfahl.

Die ausgeführte leichte Seitenwandkonstruktion hat sich auch unter der Einwirkung von 500-kg-Bomben, die hinter der Mauer eingeschlagen sind, einwandfrei bewährt.

Bild 6a. Seeschleuse IV. Einfahrt Wilhelmshaven

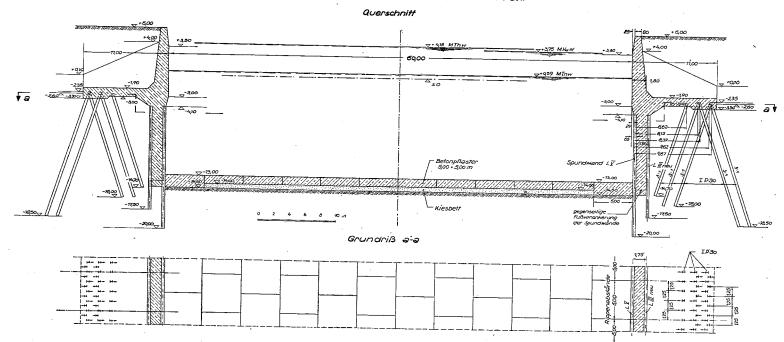


Bild 6 a Seeschleuse IV. Einfahrt Wilhelmshaven — Querschnitt und Grundriß

Die Sohlenpflasterung der Kammer wurde im allgemeinen 1 m und vor den Seitenmauern 1,5 m dick ausgeführt. Unter den dünneren Betonplatten ist eine durchlaufende Filterschicht angeordnet worden, um bei großen Differenzen zwischen Außenwasser- und Grundwasserspiegel ein Ausspülen von Sand und damit verbundenes Absacken der Platten zu verhindern. Die Betonplatten sind 5×5 m groß.

Die Betonpflasterplatten vor den Seitenmauern wurden bei der Ermittlung der unteren Stützung der Schürze nur als Auflast berücksichtigt. Das Außen- und Binnenhaupt der Doppelschleuse mit je drei Toren erhielt bombengeschützte Torkammern, die in dem Geländestreifen zwischen den benachbarten Schleusen Platz fanden. Die 4 m dicken Bombenschutzdecken gestatteten die Berechnung der Torkammern als geschlossene Rahmen.

Die Torkammern konnten durch vorgesetzte Dammbalkenverschlüsse jederzeit einzeln trockengelegt werden.

Die Füllzeiten der Schleuse betrugen:

Bei einer Wasserstandsdifferenz von 1,60 m = rd. 9 Min. von 2,70 m = rd. 11 Min. von 3,20 m = rd. 12 Min.

Anmerkung:

Statisch-konstruktive Bearbeitung:

Ingenieurbüro des erstgenannten Berichters.

Bauausführung:

Fa. Polensky & Zöllner.

III. Schleusen- und Docktore

A. Docktor Elbe 17 Hamburg (Anmerkung) (Bild 7)

Der Dockverschluß wurde als doppelkehrendes Riegeltor mit Seiten- und Aufsatzdichtung konstruiert.

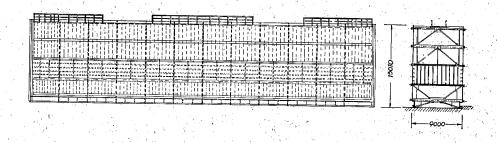
Es hatte folgende Abmessungen:

Lichte	Wei	te					60,00 m	1
Stützw	eite						62,00 m	l
Höhe						•	15,00 m	1
Breite							9,00 m	1

Der Bauherr forderte jedoch die zusätzliche Berücksichtigung, daß der unterste Riegel beschädigt wird und dann als tragendes Element ausfällt. Für diesen Katastrophenfall mußte ein Drempelanschlag vorgesehen werden, gegen den sich das Tor abstützen kann. Es mußten daher die unteren Querverbände so stark ausgebildet werden, daß sie die Wasserlast auf den Drempel und den Schwimmkasten übertragen konnten.

Anmerkung:

Statisch-konstruktive Bearbeitung, Modellversuche und Ausführung: M.A.N., Werk Gustavsburg.



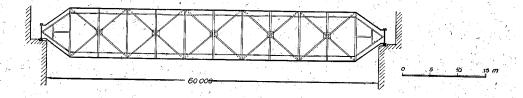


Bild 7. Docktor Elbe 17 Hamburg.

Bild 7 Docktor Elbe 17 Hamburg

B. Docktor VII Wilhelmshaven (Anmerkung)

Der kastenförmige Dockverschluß ist als reines Riegeltor mit Aufsatz- und Seitendichtung mit folgenden Abmessungen gebaut:

Breite		•	•	• , • •					11,00	m
Höhe	•	. ·	1		Kir 🦸	rii ya. Gale	•	, .	10,30	m
lichte '	100		• ,						60,00	m
Stützw	eite r	d							62:00	m

Anmerkung:

Statisch-konstruktive Bearbeitung:

Ingenieurbüro Oberbaurat Bock, Köln.

Bauausführung:

August Klönne A.G., Dortmund.

C. Docktor Emden (Anmerkung) (Bild 8)

Als Dockverschluß wurde ein Schwimmtor in Riegelkonstruktion ausgeführt.

Torhöhe	,	9,82 m
größte Breite	in the second second	1,80 m
lichte Weite		0,00 m
Stützweite		,60 m
maximale äußere Wasserhöh	ne bei einge-	
setztem Tor		

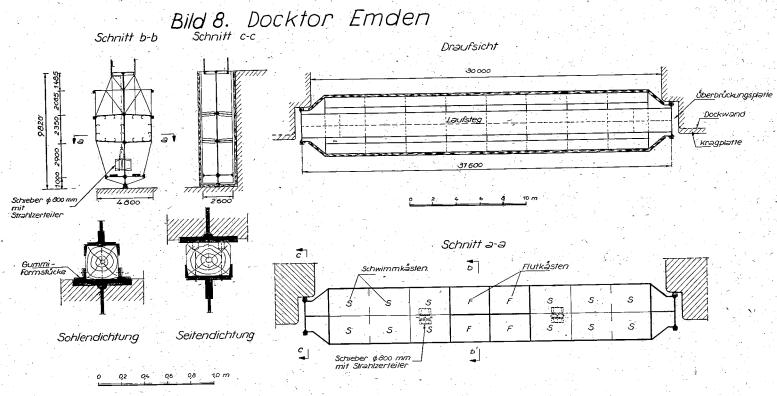


Bild 8 Docktor Emden

Das Tor setzt sich nur mit einem Dichtungsbalken, an dem eine zusätzliche Gummi-Feindichtung angebracht ist, auf die waagerechte Docksohle auf. Um das Torgewicht kleinzuhalten, ist ober- und unterhalb des Schwimmkastens nur eine in Tormitte angeordnete Stauwand vorhanden. Sie schließt sich an die Endschotte und den Dichtungsbalken an.

Die kräftigen Endschotten sind an ihren äußeren Stirnflächen mit 37 cm breiten Auflagerhölzen ausgerüstet. Diese übertragen den Auflagerdruck über einbetonierte Auflagerträger in die Stahlbetonanschläge. Sie dichten das Tor zugleich gegen die Auflagerfläche ab.

Das Tor ist doppelseitig kehrend ausgebildet. Es wurde aus St 37 in genieteter Konstruktion ausgeführt, mit einer für den einachsigen Spannungszustand zugelassenen Spannung von 1200 kg/cm². Für das Zusammenwirken von Normalund Schubspannungen sowie für den zweiachsigen Spannungszustand wurden für die maßgebenden Beanspruchungen 1500 kg/cm² zugelassen.

Der untere Hauptträger dient gleichzeitig als Ballast. Das Tor hat Gewichtsstabilität und kann also auch beim Fluten des Docks nicht kentern. Das Lenzen der Flutkästen im Tor erfolgt mittels Pumpen, die durch Drehstrommotoren angetrieben sind.

Um die Füllzeit des Docks abzukürzen, sind im Tor zwei Flutungsschieber von 800 mm ϕ mit Prellplatten zur Energievernichtung eingebaut.

Anmerkung:

Statisch-konstruktive Bearbeitung und Ausführung des Tores:

Dortmunder-Union Brückenbau A.G., Dortmund.

Entwurf der Durchlässe:

Dortmunder-Union Brückenbau A.G., Dortmund.

Modellversuche:

Franziusinstitut der T. H. Hannover.

D. Schleusentore III. Einfahrt Wilhelmshaven (Anmerkung) (Bild 9)

In den Jahren 1934 bis 1937 mußte infolge baulicher Schäden die große Doppelschleuse wieder instand gesetzt werden.

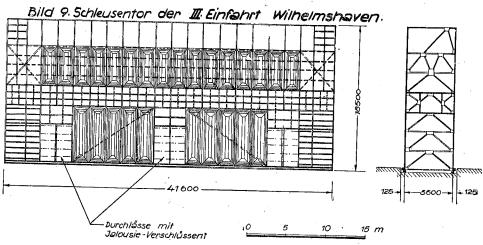


Bild 9 Schleusentor der III. Einfahrt Wilhelmshaven

Bei dieser Gelegenheit wurden die vier Schleusentore der Doppelseeschleuse von Ständertoren auf Riegeltore umgebaut. Hierbei wurden folgende weitere Verbesserungen durchgeführt:

- 1. Sämtliche Tore wurden auf die einheitliche lichte Weite von 40,00 m gebracht, so daß ihre Verwendung in allen Häuptern der Doppelseeschleuse möglich war.
- 2. Entlastung des Drempelanschlages infolge des Umbaues auf die Riegelkonstruktion.
- 3. Einbau von Durchläufen in den Toren, um dadurch auf Umläufe in den Häuptern verzichten zu können.

Für die Durchläufe in den Toren wurden gruppenweise angeordnete Jalousieklappen verwendet, deren Form und Einstellung auf Grund von Modellversuchen ermittelt wurden, um möglichst geringe Kolkwirkungen und Trossenzüge zu erreichen.

Der Antrieb der Tore erfolgte durch einen rückwärts angeordneten elektrischen Antrieb mittels Gelenkzahnstangen. Die Tore ruhten auf einem Ober- und Unterwagen.

Die Abmessungen der Tore betrugen:

Lichte Weite					40,00 m
Gesamtweite					41,64 m bzw. 40,72 m
Breite			•		6,00 m
Höhe					

Anmerkung:

Tore und Jalousieverschlüsse wurden nach den Entwürfen und dem Ergebnis der Modellversuche der M.A.N., Werk Gustavsburg, hergestellt.

E. Schleusentore IV. Einfahrt Wilhelmshaven (Anmerkung) (Bild 10)

1. Die Torkonstruktion

Wie seinerzeit die Tore der Nordschleuse in Bremerhaven sind auch die Tore der Doppelschleuse Wilhelmshaven als reine Riegeltore ausgebildet mit folgenden Abmessungen:

Lichte	We	ite				•	60,00 m
Stützw	eite						63,00 m
Breite							12,00 m
Höhe							20,44 m.

Die Tore erhielten einen Ober- und Unterwagen mit Gelenkzahnstangenantrieb.

Der Dichtungsanschlag am Drempel besteht aus einer Dichtungsleiste aus Eichenholz, die an einem Federblech aus hochwertigem Stahl befestigt ist. Letzteres kann elastisch so weit nachgeben, daß die Durchbiegung des unteren Riegels aus der Wasserdruckbelastung aufgenommen werden kann.

Die Seitendichtung erfolgte durch Kantholzanschlag. Sämtliche Schiebetore der Doppelschleuse sind in den Abmessungen und in der Konstruktion völlig gleich. Sie unterscheiden sich nur in den Durchlässen und in deren Verschlüssen.

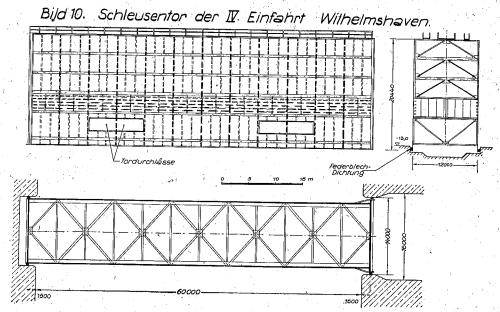


Bild 10 Schleusentor der IV. Einfahrt Wilhelmshaven

2. Durchlässe in den Toren

Von den sechs Toren der Schleuse wurden drei Tore mit Schlauchdurchlässen mit Drehsegmentverschlüssen und drei Tore mit Tosbeckendurchlässen und Schützenverschlüssen ausgerüstet. Diese neuartigen Durchlässe sind in ihrer Wirkungsweise durch Modellversuche eingehend überprüft worden. Für die Drehsegmentverschlüsse wurden folgende Betriebsvorschriften festgelegt:

- 1. Die Segmente werden bis zur vollständigen Freigabe der Durchflußöffnung mit gleichmäßiger Geschwindigkeit bewegt.
- 2. Im normalen Betrieb wird zuerst das oberwasserseitige Segment voll geöffnet und danach mit dem nach der Unterwasserseite hin liegenden Segment der Wasserdurchfluß gesteuert.
- 3. Beim Füllen der Schleuse wird das Segment nach unten gedreht, so daß der Wasserstrahl auf die Sohle der Schleusenkammer trifft, wobei die kleinsten Trossenzüge und die ruhigste Schiffslage erreicht werden. Da die Schleusensohle befestigt ist, besteht hierbei keine Kolkgefahr.
- 4. Beim Absenken des Schleusenwassers wird das Segment nach oben gedreht, so daß der Wasserstrahl nach oben abgelenkt auf das Wasserpolster des Unterwassers trifft. Eine übermäßige Auskolkung der nichtbefestigten Sohle tritt dabei nicht auf.
- 5. Alle Segmentantriebe sind so eingerichtet, daß die Bewegung'der Segmente sowohl nach oben als auch nach unten vorgenommen werden kann.

Auch für Durchlässe mit Schützenverschlüssen wurden ähnliche Vorschriften festgelegt. Hierbei konnte berücksichtigt werden, daß durch die innerhalb dieser

Durchlässe befindlichen Toskammern die Energie des hindurchströmenden Wassers weitgehend vernichtet wird. Besonders eingebaute Leitwinkel sorgen für eine genügende Verteilung des austretenden Wasserstrahles.

Anmerkung:

Statisch-konstruktive Bearbeitung der Tore;

Ingenieurbüro Oberbaurat Bock, Köln.

Ausführung von je zwei Toren durch:

Dortmunder-Union Brückenbau A.G., Dortmund,

M.A.N., Werk Gustavsburg,

August Klönne A.G., Dortmund.

Segment-Tordurchlässe nach den Entwürfen und auf Grund der Modellversuche der M.A.N., Werk Gustavsburg.

Schützenverschlüsse nach den Entwürfen der Dortmunder-Union Brückenbau A.G., Dortmund, und den Modellversuchen des Flußbau-Laboratoriums der T.H. Karlsruhe.

257

Abteilung II - Seeschiffahrt

Mitteilung 3

Anlandungen in Küstengewässern, Flußmündungen, Fahrrinnen, den Tidebecken, Dockhäfen und Seekanälen. — Maßnahmen, um sie zu verringern. — Neue Methoden zum Messen der Tiefen, der Strömungen, der Wellen, von Ebbe und Flut und der Bewegungen der festen Stoffe in offener See und in den Flußmündungen.

Von Dr.-Ing. Theodor Janssen, Regierungsbaurat, Vorstand des Wasser- und Schiffahrtsamtes Norden, Dr. Walter Hansen, Oberregierungsrat beim Deutschen Hydrographischen Institut, Hamburg.

Thema: "Maßnahmen zur Festlegung und Erhaltung der Schwemminseln an der südlichen deutschen Nordseeküste sowie Grundsätzliches über den Einfluß der Strömungen und Wasserstände in der Deutschen Bucht auf die Küstengestaltung."

Zusammenfassung:

A. Maßnahmen zur Erhaltung der Schwemminseln an der südlichen deutschen Nordseeküste.

Die ostfriesischen Schwemminseln an der südlichen deutschen Nordseeküste bestehen aus feinem Seesand, der vom Meer fortwährend an der Küste entlang bewegt wird. Das Meer baut die Inseln aus dem Sand auf und verändert sie ständig. Die Beweglichkeit der Inseln ist für die Schiffahrt, die Bewohnbarkeit der Inseln und die Entwässerung des Festlandes gleich ungünstig. Der Mensch ist daher bemüht, sie durch künstliche Maßnahmen festzulegen.

Die in der Regel angewendeten Inselschutzwerke bestehen aus Dünenschutzmauern gegen Wellenschlag und Buhnen gegen Strandabnahme. Die Bauten sind mit der Zeit immer teurer geworden, ohne daß ein durchschlagender Erfolg erreicht werden konnte. Da sich die ungünstige Entwicklung fortsetzt, muß nach neuen Wegen im Inselschutz gesucht werden.

Ist man in der Vergangenheit empirisch vorgegangen und hat man nur die reine Bauerfahrung als Lehrmeisterin gelten lassen, so hat sich seit einiger Zeit die Erkenntnis Bahn gebrochen, daß auch theoretische Erkenntnisse verwertet werden müssen und daß man von den wirkenden Naturkräften auszugehen hat. Mit dem Ziel der Erforschung der für den Inselschutz auf den ostfriesischen Nordseeinseln wichtigen Naturkräften arbeitet seit 1937 eine für diesen Zweck gegründete Forschungsstelle auf Norderney.

Tastend sind schon seit etwa zwei Jahrzehnten Versuche unternommen worden, über die alte Bauweise hinausgehend durch weiter ins Seegebiet hinein vorgestreckte Bauwerke die Wasserkräfte zu beeinflussen, noch bevor sie die Inseln erreicht haben. Es sind zu nennen: die Unterwasserbuhnen I—IV auf Borkum und die verlängerte Buhne H auf Wangerooge. Beide Baumaßnahmen haben sich bewährt, sind aber einmalige Lösungen, wie sie von Fall zu Fall geplant werden können.

Schließlich sind auch Wege für den Inselschutz vorgeschlagen worden, die sich ganz von der althergebrachten Bauweise lösen. Da das Naturgeschehen im Küstenbereich, wozu auch das Entstehen und die Veränderung der Inseln gehören, gesetzmäßig abläuft, kann auch an Stellen, die nicht unmittelbar mit der Insel zusammenhängen, auf den Schutz der Insel Einfluß genommen werden. Hierzu bieten sich besonders die Wattengebiete an. Es werden zwei Planungen dieser Art besprochen.

Das Ergebnis der Untersuchung ist, daß die klassische Bauweise zur Zeit noch maßgebend ist. In bestimmten Fällen wird man auch einzelne vorgestreckte Bauwerke planen. Vorgeschlagene völlig neue Wege sind noch nicht gegangen worden. Die Verwirklichung derartiger Piäne setzt ein gutes Maß von Vertrauen in die neuen Gedanken

und eine gewisse Zeit des Reifens voraus. Zum Schluß wird der Hoffnung Ausdruck gegeben, daß auch für den Inselschutz auf lange Sicht ein brauchbares Verfahren gefunden werden wird.

B. Grundsätzliches über den Einfluß der Strömungen und Wasserstände in der Deutschen Bucht auf die Küstengestaltung.

Die Unsymmetrie der Gezeitenströme in der Deutschen Bucht kann Anlaß geben zu einem resultierenden Bodenmaterialtransport. An drei Beobachtungsstationen wird die Unsymmetrie erläutert. Die theoretisch sich aus hydrodynamischen Rechnungen ergebenden Stromgeschwindigkeiten für einen rechteckigen und trichterförmigen Kanal werden besprochen. Außerdem wird ein Priel-Wattsystem behandelt. Die Ergebnisse können bei der Planung von Seewasserbauten Verwendung finden, um prinzipiell eine Vorstellung von den zu erwartenden Sandumlagerungen zu erhalten.

		Seite
Gliederung:	A Maßnahmen zur Erhaltung der Schwemmsandinseln an	
J.	der südlichen deutschen Nordseeküste	259
	B Grundsätzliches über den Einfluß der Strömungen und	,
	Wasserstände in der Deutschen Bucht auf die Küsten-	
	gestaltung	270

A) Maßnahmen zur Festlegung und Erhaltung der Schwemminseln an der südlichen deutschen Nordseeküste

1.

Die Inseln an der südlichen deutschen Nordseeküste: Borkum, Memmert, Juist, Norderney, Baltrum, Langeoog, Spiekeroog und Wangeroog (Bild 1), auch Ostfriesische Inseln genannt, sind Sandablagerungen, Schwemminseln, vor einer flachen Marschenküste. Während aber die Küste aus relativ festem Ton aufgebaut ist, bestehen sie — wie die Sandbänke, Riffe und Platen vor den Seegaten und Flußmündungen der südlichen Nordseeküste — aus ganz feinem, leicht beweglichem Seesand.

Dieses Material, als Sandkorn betrachtet, wandert unter dem Einfluß von Wasserkräften ständig in einem schmalen Gürtel an der Seeseite der Inselkette von Westen nach Osten entlang. Dabei bilden sich zusammenhängende Ablagerungen, wie Riffe und Platen. Auch die Inseln selbst sind nichts anderes als solche Ablagerungen, wenn an ihrem Aufbau auch Wind und Vegetation mitwirken; sie sind ganz junge, selbständige Bildungen des Meeres.

Die genannten Ablagerungen haben also eine Doppelnatur. Einmal stellen sie in dem fortdauernden Sandstrom relativ beharren de Formen dar, doch werden auch sie ständig umgebildet. Dies trifft in erster Linie für die langgestreckten, an den Nordseiten der Inseln befindlichen untermeerischen Brandungswälle — auch Riffe genannt — und für die größeren, im Grundriß verschieden geformten Platen — auch Sandbänke genannt —, die sich im Bereich der Mündungsarme der Flüsse und Seegaten befinden, zu. Aber auch bei den ostfriesischen Inseln ist es so. Sie sind zwar in ihrem gesamten Bestande so dauerhaft, daß sie als Siedlungsraum von den Menschen genutzt werden können. Im einzelnen werden sie aber doch wieder fortwährend umgestaltet. — Ihre Ahnlichkeit untereinander nach Form und Lage läßt dabei das Wirken gleicher Naturkräfte bei ihrer Entstehung, Erhaltung und Umbildung erkennen.

Die Veränderlichkeit aller Sandablagerungen ist für die Schiffahrt, die Entwässerung des Festlandes und für das Siedeln der Menschen auf den Inseln gleich ungünstig: Mit den wandernden Sänden verlagern sich die zwi-

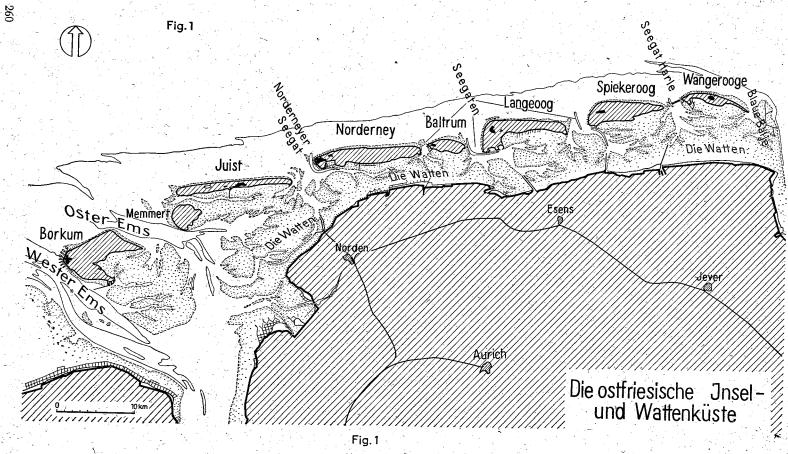


Bild 1 Die Schwemminseln vor der südlichen deutschen Nordseeküste

schen ihnen liegenden, von der Schiffahrt genutzten Rinnen, so daß eine ständige Überwachung der Fahrwasser und ein immer wiederholtes Verlegen der Seezeichen erforderlich ist; das an bestimmten Punkten zusammengeführte Niederschlagswasser der Marschenküste, durch "Siele" ins Meer geleitet, hat infolge der veränderlichen Sandablagerungen mit Vorflutschwierigkeiten zu kämpfen; endlich haben in vergangenen Zeiten die Menschen auf den Inseln immer wieder ihre Wohnstätten verlegen müssen, weil das Meer den Boden an einer Stelle wegnahm und an anderer Stelle wieder anlagerte.

Die Bemühungen um die Festlegung und Erhaltung der Inseln mit einfachen Mitteln ist schon alt. Im ganzen hat sich ihre Fläche in historischer Zeit auch vergrößert. Doch blieb die Veränderlichkeit und sie ist die Ursache für die planmäßigen künstlichen Festlegungsmaßnahmen, dem Bau der "Schutzwerke", vor allem an den Westenden der Ostfriesischen Inseln.

2.

Der Bau der Schutzwerke begann auf Borkum 1869, auf Juist 1913, auf Norderney 1857, auf Baltrum 1873, auf Spiekeroog 1873 und auf Wangerooge 1874.

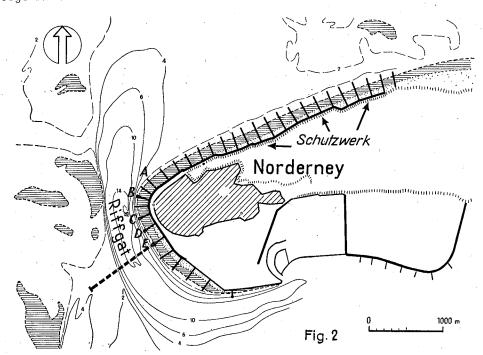


Bild 2 Das Westende der Insel Norderney mit dem Schutzwerk. Wassertiefen in m unter Seekartennull

Die auf Juist errichteten Bauten gerieten bald völlig unter Sand; sie hatten nur vorübergehend als Schutzwerk Bedeutung. Ohne Schutzbauten blieben Memmert und Langeoog. Es werden daher nur betrachtet Borkum, Norderney, Baltrum, Spiekeroog und Wangerooge.

Als Schutzbauten sind auf den genannten Inseln Werke errichtet, die aus zwei Grundelementen bestehen:

- a) Dünenschutzmauern parallel zum Ufer und zum Schutze des Dünenfußes gegen Wellenschlag,
- b) im Grundriß senkrecht dazu gerichtete Buhnen zur Fernhaltung von Stromrinnen und zur Erhaltung des Strandes.

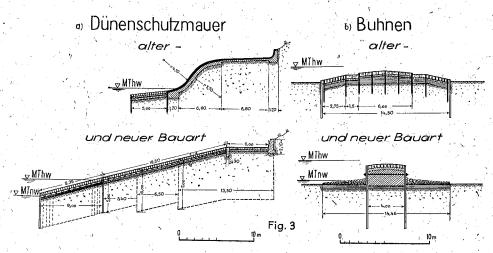


Bild 3 Querschnitte von Schutzwerkbauten auf den Ostfriesischen Inseln

Die Werke zu a) (Bild 3 a) erreichen in neuster Ausbildung Grundrißbreiten von 35 m und Aufrißhöhen von 8,8 m. Die Buhnen (Bild 3 b) haben eine Länge von meist 150—200 m, sind aber auch 400 m lang gebaut worden und besitzen stellenweise Breiten von mehr als 20 m.

Das ausgedehnteste Schutzwerk hat die Insel Norderney; Dünenschutzmauer sowohl wie die Gesamtheit der Buhnen besitzen je eine Länge von mehr als 6 km. (Bild 2)

Die großen Abmessungen der einzelnen Bauten und der ganzen Schutzwerke waren nicht von Anfang an vorhanden. Vielmehr fing man mit sehr schwachen und kleinen Bauwerken an und erst als die Erfahrung lehrte, daß sie nicht genügten, wurden die Schutzwerke nach und nach immer stärker ausgebildet.

Diese hier als Inselschutz in "klassischer Bauweise" bezeichneten Maßnahmen werden auch heute noch in der Hauptsache angewendet. Die Bauweise nähert sich aber aus zwei Gründen einem kritischen Punkt:

- 1. Die allein für die Unterhaltung der Schutzwerke aufgewendeten Mittel steigen mit der Zeit immer mehr an. Die jährlichen Unterhaltungskosten betrugen z.B. im Mittel der Jahre 1953—1955 für Borkum 450 000 DM, für Norderney 239 000 DM, für Baltrum 105 000 DM, für Spiekeroog 62 000 DM und für Wangerooge 167 000 DM, zusammen also jährlich mehr als 1 Million DM.
- 2. Der Erfolg der angewendeten Baumaßnahmen ist nicht durchgreifend und endgültig. Einerseits haben die Schutzwerke zweifellos Erfolg gehabt; denn da, wo vor rund 100 Jahren der Dünenrand festgelegt wurde, da liegt er noch heute. Andererseits hat der Strand vor den Werken an vielen Stellen ständig

abgenommen. Die natürliche Entwicklung scheint dort auf einen Beharrungszustand zu gehen, bei dem zwischen den Köpfen der Buhnen eine Wassertiefe von etwa — 2.5 m unter MTnw vorhanden ist, was aber für die Erhaltung der Werke untragbar ist.

Bei gradliniger Weiterentwicklung der klassischen Bauweise muß aus beiden Gründen ein Punkt erreicht werden, wo sich die Fortsetzung verbietet, zumal schon jetzt die Unterhaltung nicht überall mit dem Verfall Schritt hält.

Über die Bedeutung der klassischen Bauweise, die heute noch unentbehrlich ist, werden im Abschnitt 4 weitere Angaben gemacht. An dieser Stelle soll nur noch einer besonderen Schutzmaßnahme zur Sicherung eines bereits gefährdeten Werkes gedacht werden, der sogenannten Strandaufspülung in Norderney.

Der Strand im Westen und Nordwesten der Insel hatte vor 1950 soweit abgenommen, daß der vorerwähnte "kritische Punkt" dort erreicht war. Um dem Ubelstand abzuhelfen, wurden 1950 und 1951 rd. 2 000 000 m³ Sand um den ganzen Westkopf der Insel im Spülverfahren aufgebracht. Es wurde hier der Sand als zum Schutzwerk gehörender Baustoff aufgefaßt, der, nachdem die See den Strand abgetragen hatte, künstlich wieder ersetzt wurde.

Diese Maßnahme sollte bewußt aufschiebende Wirkung haben. Der aufgespülte hoch wasserfreie Strand wurde dann auch seit 1951 schnell wieder abgetragen. Unter Wasser, auf dem sogenannten Vorstrand, lagerte er aber länger, und noch heute ist eine günstige Nachwirkung insofern festzustellen, als die Angriffe der See, da die Brandungswellen sich bei der kleinen Wassertiefe nicht so voll entwickeln können, herabgemindert werden. Der Erfolg ist aber nicht sehr nachhaltig, und in Zukunft wird voraussichtlich nur in ganz besonderen Notfällen zu einer Aufspülung geschritten werden.

3.

Die Notwendigkeit, die klassische Bauweise an geeigneten Stellen durch neue Methoden abzulösen ist schon lange erkannt. Man sah ein, daß, wenn der künstliche Inselschutz mit der Aufwendung geringster Mittel betrieben werden soll, man nicht allein von den aus der Erfahrung entwickelten Baumaßnahmen, sondern mehr von wirkenden Naturkräften auszugehen habe. Diese gilt es im Sinne des Wasserbauingenieurs zu lenken. Wenn die Naturkräfte zweckmäßig beeinflußt werden sollen, dann muß man sie aber zunächst ihrer Art und Größe nach richtig erkennen. Mit der Zielsetzung der Erforschung dieser Kräfte ist — von anderen Bestrebungen abgesehen — die Forschung stelle Norderney schon vor einer Reihe von Jahren gegründet worden.

Da wird zunächst die Entwicklungsgeschichte der Küste erforscht, weil es bestimmte Naturkräfte gibt, die nicht unmittelbar zu messen sind, sondern sich erst an ihren Wirkungen ablesen lassen. Vergleicht man den älteren Zustand des Küstengebiets mit dem neueren, dann erkennt man die inzwischen eingetretene Anderung und kann auf die Kräfte, die die Anderung bewirkt haben, zurückschließen. Da gibt es z. B. über Jahrzehnte und Jahrhunderte gehende "säkulare" Vorgänge, wie beispielsweise Küstensenkungen, kosmisch bedingte Anderungen der Gezeiten und Großklimaschwankungen. Um sie zu erfassen, werden auch die Ergebnisse der Vorgeschichte und der Geschichte, soweit sie Schlüsse auf die Küstenumbildung zulassen, gesammelt.

Kurzfristige Veränderungen im Küstenbereich der Inseln werden durch wiederholte Peilungen erfaßt. Mittelbare Schlüsse auf die Entwicklungstendenz läßt auch das Studium der Biologie des Küstengebiets zu.

Unmittelbar werden Wind- und Wasserkräfte gemessen, letztere mittels Strommesser und anderer z. T. neu entwickelter hydrometrischer Geräte. Neben der Messung versucht man auch, das Naturgeschehen rechnerisch zu erfassen.

Insgesamt haben derartige Untersuchungen bereits ein gutes Bild des in den Brennpunkten vor sich gehenden Naturgeschehens gegeben, so daß Nutzanwendungen für den praktischen Seebau daraus gezogen werden konnten.

4

Parallel mit dieser Entwicklung versuchte auch die praktische Bauerfahrung neue Wege über die klassische Bauweise hinaus zu finden. In alter Denkweise wollte man den Inseln einen zusätzlichen Schutz verleihen. Der Blick war daher auf das zu schützende Objekt gerichtet.

Als bezeichnend für die klassische Bauweise kann der von einer ausgeglichen en "Streichlinie", d. h. der Verbindungslinie der Buhnenköpfe umschlossene Widerstandskörper der Insel, gelten. An der Streichlinie sollen alle Buhnenköpfe gleiche Höhe, die aus baulichen Gründen ein wenig über dem mittleren Niedrigwasserstand liegen muß, haben. Die Buhnen sollen vom Kopf nach der Wurzel alle gleichmäßig — dem natürlichen Anstieg des Strandes entsprechend etwa in der Neigung 1:70 — ansteigen. Sie enden an der Strandschutzmauer, die das eigentliche Inselmassiv gegen das Eindringen von Wasser schützt.

Der Angriff des Meeres auf diesen geschlossenen Widerstandkörper der Inseln ist aber an allen Punkten durchaus nicht gleichmäßig. Im Westen der Insel Norderney z.B. drängt seit langem eine tiefe Rinne, das Riffgat, dicht an das Schutzwerk heran. In den 90er Jahren waren dort Tiefen bis zu 28 m

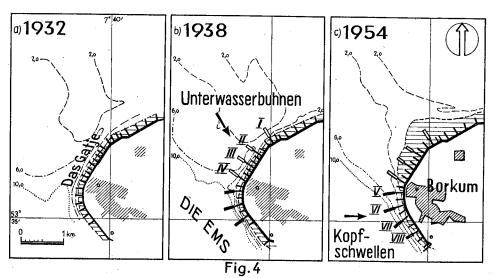


Bild 4 Die Wirkung der Unterwasserbuhnen I—IV auf dem Nordwestrand der Insel Borkum. Kopfschwellen V—VIII

unter MTnw unmittelbar vor den Buhnenköpfen, das Schutzwerk und die Insel selbst gefährdend, vorhanden, und auf Borkum bereitete das seit Jahrzehnten zu beobachtende Heranlegen der tiefen Westerems an den Südwestteil der Insel große Sorge. Genau im Westen der Insel kam die 10 m Tiefenlinie in 100 Jahren 1500 m näher an die Insel heran. An beiden Stellen wehrte man die Gefahr durch kräftigen Ausbau einiger Buhnenköpfe ab, indem sie durch Unterwasserschwellen verstärkt wurden. Um die Jahrhundertwende wurden die Buhnen B, C, D und E auf Norderney (Bild 2) und 1937—47 die Buhnen V, VI, VII und VIII (nicht zu verwechseln mit den Buhnen I—IV!) auf Borkum (Bild 4c) derart ausgebaut. — Der örtliche Erfolg war unverkennbar: in Norderney verflachten sich die größten Tiefen um einige Meter und legten sich von der Insel weg. Seit dem Bau der Schwellen veränderte sich der Inselsockel unterhalb der 2,5 m Tiefenlinie nicht mehr wesentlich, und in Borkum hörte das Herannahen der tiefen Ems sofort auf.

Die Buhnen auf den ostfriesischen Nordseeinseln haben eine Doppelaufgabe: als Strom buhnen sollen sie die Rinnen, die sich der Insel nähern, vom Inselsockel fernhalten, als Strand buhnen aber sollen sie den Strand soweit erhalten, daß die Wellen auch bei kleinen Sturmfluten auf ihn auslaufen können und die Strandschutzbauten in ihrem Bestande ungefährdet bleiben. Einschließlich ihrer Vorbauten haben sie ihre Aufgabe als Strom buhnen auch an den erwähnten beiden kritischen Punkten voll erfüllt. Als Strand buhnen dagegen haben sie die Strandabnahme wohl verzögert, aber, wie bereits eingangs (Abschnitt 2) erwähnt, nicht verhindert. Die Inselsockel oberhalb der 2,5 m Tiefenlinie werden an gefährdeten Punkten auch bei dem Vorhandensein der Schutzwerke klassischer Bauweise langsam abgebaut.

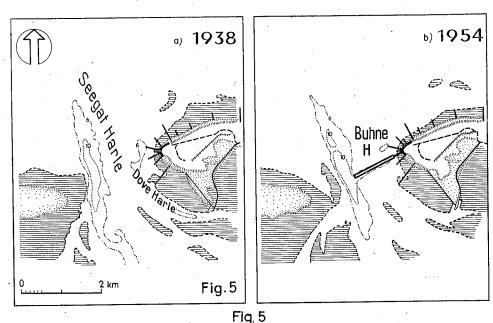


Bild 5 Die Wirkung der Buhne H im Westen der Insel Wangerooge auf das Seegat Harle

Einen wesentlichen Schritt über die klassische Bauweise hinaus bilden folgende zwei Baumaßnahmen insofern, als sie den geschlossenen Verteidigungskörper der Inseln verlassen und den Seeraum unmittelbar vor den Buhnen an geeigneten Punkten in einem für den Inselschutz günstigen Sinne zu beeinflussen suchen:

- a) der Bau der vier "Unterwasserbuhnen" I—IV auf Borkum und
- b) der Bau der verlängerten Buhne H auf Wangerooge in das Seegat Harle hinein (Bild 4 und 5).

Zu a): Eine größere Plate näherte sich in den 30er Jahren dem Nordweststrand von Borkum und drängte dabei eine tiefe Rinne, das Gatje, an das Schutzwerk und die Insel — diese gefährdend — heran. Es wurden zunächst Buhnenverlängerungen mit dem Ziel geplant und begonnen, das Gatje von der Insel abzudrängen. Die Weiterentwicklung ging aber klar dahin, das Gatje durch stromhindernde, grundschwellenartige "Unterwasserbuhnen "zu durchbauen, dadurch die Durchströmung der Rinne zu erschweren und damit das Heranlegen der Plate an den Strand zu erleichtern. So wurden 1933—1935 die vier Unterwasserbuhnen I—IV mit Längen von 250 bis 450 m und einer Kronenhöhe von ca. 0,5 m unter MTnw über die Streichlinie des alten Systems hinaus vorgestreckt. Wie Bild 4 zeigt, ist die gewollte Entwicklung eingetreten, wobei unentschieden bleiben mag, ob, da die freie, natürliche Entwicklung in die gleiche Richtung drängte, der Bau der Unterwasserbuhnen die alleinige Ursache dafür gewesen ist.

Zu b): Auf Wangerooge wurde eine strandnahe Nebenrinne im Seegat Harle, die "Dove Harle", in den 30er Jahren immer tiefer und der Insel gefährlicher. Ihre ungünstige weitere Entwicklung wurde auch für den Fall, daß die im Osten der Insel Wangerooge geplante Durchdämmung der "Blauen Balje" durchgeführt werden sollte, befürchtet. Als Gegen- und Vorbeugungsmaßnahme wurde deshalb 1938—1940 die Buhne H des alten Buhnensystems um 1170 m geradlinig verlängert und dabei die "Dove Harle" durchbaut. Zunächst mit einer Kronenhöhe von + 2,80 m MTnw geplant, verblieb es aber bei einem Ausbau bis zur Höhe der MTnw-Linie. Trotzdem war der Erfolg eindeutig. Die Weiterentwicklung der "Doven Harle" wurde unterbunden und die Hauptrinne des Seegats verschwenkte in eine für die Inselerhaltung günstige Nordwestrichtung (Bild 5).

Haben sich diese Maßnahmen auch bewährt, so können ähnliche Werke doch nicht allgemein angewendet werden. Sie sind nur in besonders gelagerten Fällen am Platze und müssen von Fall zu Fall den örtlichen Gegebenheiten entsprechend geplant werden.

In diesem Zusammenhang muß ein Vorschlag erwähnt werden, der die schlechten Norderneyer Strandverhältnisse durch ein dem Punkt b) ähnliches Bauwerk verbessern will.

Nach dem Plan soll eine Verlängerung der Buhne E des alten Systems um 1000 m eine völlige Verlagerung der sehr tiefen Seegatrinne im Westen der Insel Norderney erreichen (vgl. Bild 2). Wegen der verwickelten Kräfteverhältnisse im Norderneyer Seegat kann das ganze hier vorliegende Problem nicht mit wenigen Worten dargestellt werden. Andeutungsweise (vgl. Bild 2) sei gesagt, daß die Sände im westlichen Teil des Seegats breitflächig, besonders aber nördlich des geplanten Bauwerks, nach Osten gegen die Insel Norderney drücken, das Riffgat vor sich herschiebend. Diese Entwicklung soll dadurch in andere Bahnen gelenkt werden, daß das Riffgat nach Westen hin verschoben

wird. Mit dem geplanten Bauwerk kann dies zweifellos an einem Punkt geschehen, doch fragt es sich, ob der punktförmige Eingriff für das Erreichen des angestrebten Zieles ausreicht. Das große Risiko für das Gelingen des Planes, die besonders hohen Kosten eines solchen Bauwerks, das eine Kronenhöhe von + 1,20 m MTnw erhalten soll, und die Möglichkeit, zwischen mehreren Plänen für die Anderung der Verhältnisse auf Norderney wählen zu könmen, haben bisher den Plan nicht verwirklichen lassen.

5.

Die im vorhergehenden Abschnitt behandelten Bestrebungen stellten Versuche dar, über die klassische Bauweise hinauszukommen. Wollte diese den Schwemminseln ein erhöhtes Widerstandsvermögen gegen die angreifenden Naturkräfte geben, so werden durch die neuen Baumaßnahmen die Naturkräfte schon beeinflußt, bevor sie den Inselkörper erreichen. Sie lehnen sich dabei aber immer noch an das alte Schutzwerk an.

Nun gibt es aber schließlich auch Planungen, die den Inselschutz völlig getrennt von dem zu schützenden Objekt betreiben wollen. Die Naturkräfte sollen an anderer Stelle so beeinflußt werden, daß das Ziel des Inselschutzes einfacher und wirtschaftlicher erreicht wird. Dieses Bestreben beruht auf der Erkenntnis, daß die Inseln nicht regellos auf- und abgebaut werden, sondern daß ein fein abgewogenes, gesetzmäßiges Kräftespiel besteht, in dem die Gezeitenströmungen eine Hauptrolle spielen:

Die Wassermenge, die bei jeder Tide die Watten füllt, die Art des Ein- und Ausströmens durch die Seegaten, die Durchwanderung des Sandes quer durch die Ausmündungen der Seegaten, die Lage und die Ausdehnung der Inseln und ähnliche Größen stehen untereinander in einem gesetzlichen Verhältnis, das allerdings wegen der komplexen Verhältnisse sehr kompliziert gelagert ist. Die Konfiguration der ostfriesischen Inselkette steht in Übereinstimmung mit den an die Küste heran- und von der Küste ablaufenden Gezeiten, wobei die zwischen dem Festland und den Inseln gelegenen Watten einen wichtigen Faktor darstellen. Die in west-östlicher Richtung anlaufende Flut strömt in der Nähe der ostfriesischen Küste, die Richtung ändernd, in die Watten ein, kommt dort zum Stehen und fließt bei Ebbe im entgegengesetzten Sinne wieder ab. Indem dies — zeitlich ein wenig gegeneinander versetzt — in allen Seegaten geschieht, entstehen Strömungen, die die einzelnen Inseln in der vorhandenen, einander ähnlichen Form aus dem an der Küste bewegten Seesand entstehen lassen. Dabei sind die Watten selbst auch starken Veränderungen durch die wirkenden Naturkräfte unterworfen. Die Kenntnis dieser Zusammenhänge führte zu dem Gedanken, durch die Beeinflussung des Gezeitenablaufs auf den Watten auch die Anlagerung des Sandes an die Insel und damit den Inselschutz in die Hand zu bekommen.

Zwei Planungen dieser Art sind in Bild 6 angedeutet.

a) Durch Dammeinbauten in das Wattenmeer, wie sie z. B. in Bild 6 durch stark ausgezogene Linien dargestellt sind und wobei jede Linie 1—5 eine Lösung für sich darstellt, sollen die Aufnahmeräume für das Tidewasser so verändert werden, daß die Stoßrichtung der aus den Watten abfließenden Ebbe dem westlichen Inselkopf von Norderney die nötige Entlastung bringt.

Der schon etwas ältere Gedanke, der dieser Planung zugrunde liegt, beruht auf der unsymmetrischen Lage der Watträume, in die das Tidewasser fließt

und aus denen es wieder ausströmt, zu den Seegaten. Auf Bild 6 ist der zum Norderneyer Seegat gehörige Wattraum z. B. durch zwei —.—.—. Linien abgegrenzt. Die durch diese Linien bezeichneten Höhenrücken, an denen sich das Wasser aus zwei benachbarten Seegaten auf dem Watt trifft, also die Wasserscheiden zwischen zwei Watträumen, sind bei allen Inseln stark gegen das östliche Ende der Insel verschoben. So ist in der Regel der östliche Wattenanteil eines Seegats größer als der westliche. Folgt indessen eine kleine Insel auf eine große, so können sich diese Verhältnisse auch umkehren. Je nachdem nun der westliche oder östliche Anteil überwiegt, hat der für die Sandverfrachtung

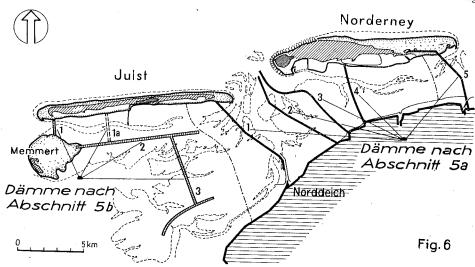


Bild 6 Geplante Dammeinbauten in das Watt zur Beeinflussung der Gestaltung der Insel Norderney

hier maßgebende Ebbstrom des Seegats eine mehr östliche oder westliche Richtung, d. h. er drängt im ersteren Falle an den ohnehin durch Wind und Brandung besonders angegriffenen Westrand der Insel heran oder setzt im letzteren Falle von ihm ab.

b) Dammeinbauten südlich der Insel Juist sollen zunächst eine Wasservertriftung über das Juister Watt verhindern und dadurch den Wasserund Sandhaushalt des Norderneyer Seegats normalisieren. Weiter soll auch das Durchströmen des Norderneyer Seegats mehr nach der Westseite verlagert werden. Beide Ziele aber sollen im Endeffekt dem Wiederaufbau des Weststrandes von Norderney dienen.

Die Wirkung soll erreicht werden durch die in Bild 6 gestrichelt gezeichneten vier Dämme, und zwar ist dabei folgender Grundgedanke bestimmend gewesen.

Das Norderneyer Seegat zeichnet sich durch ein Überwiegen der Ebbe über die Flut aus. Es strömt mehr Wasser aus dem Gat nach See als umgekehrt, und das kann bei besonderen Wetterlagen soweit gehen, daß nur noch ausströmendes Wasser (bei Ebbe und Flut!) vorhanden ist. Das ist möglich, weil über das Watt südlich von Juist Wasser von Westen her nachdrängt. Die in Bild 6 dort eingezeichnete —.—. Linie stellt also keine immer festliegende Wasserscheide dar, und es ist auch bekannt, daß der die Wasserscheide kennzeichnende Höhenrücken mit der Zeit östlich gewandert ist und noch wandert.

Mit dem nicht ausgeglichenen Ein- und Ausströmen des Wassers im Seegat hängt es nun zusammen, daß der an der Küste bewegte Sand das Seegat nicht im Bogen umwandert, sondern auf einer ausgedehnten vom östlichen Ende der Insel Juist aus in nordöstlicher Richtung sich erstreckenden Sandbarre sich ablagert. Diese Sandbarre ist das maßgebende Hindernis, das die Strömungen an den Kopf der Insel Norderney drängt und weiter eine erwünschte Rinnenbildung im Westteil des Norderneyer Seegats verhindert.

Die Wasservertriftung über das Juister Watt soll durch die Dämme 2, 3 und 4 unterbunden werden und die Dämme 1 und 2 sollen einer Rinnenbildung im westlichen Teil des Seegats dienen.

Die Schwierigkeit der Planung liegt darin, daß die Auswirkung derartiger Einbauten nicht mit Sicherheit vorausgesagt werden kann. Denkbar sind zwei Wege, um sich im voraus Klarheit über den Erfolg entworfener Korrekturwerke zu verschaffen, und zwar einmal durch Modellversuche, wie sie z. B. im Falle a) durchgeführt wurden und zum anderen durch Gezeitenberechnungen, wie sie im Falle b) mit Erfog angewendet werden konnten.

Bei Modellversuchen kann ein größeres Seegebiet mit verwickelten Strömungsverhältnissen und beweglicher Sohle nicht mit hinreichender Naturähnlichkeit hergestellt und betrieben werden. Ein Versuch wurde für den Fall a) 1935—1940 in der Preußischen Versuchsanstalt für Wasser- Erd- und Schiffbau in Berlin durchgeführt mit dem Ziel, die Möglichkeiten für den Schutz der Insel Norderney zu untersuchen. In Bild 6 sind fünf untersuchte Dammprojekte (stark ausgezogen) dargestellt. War sich auch die Versuchsanstalt klar darüber, daß aus den Modellversuchen nur erkannt werden könnte, ob überhaupt Ansätze zur Ausbildung neuer Rinnen nach dem Einbau von Dämmen vorhanden seien, so waren die von ihr erarbeiteten Hinweise letzten Endes doch so unsicher, daß bisher keine praktischen Folgerungen aus den Ergebnissen gezogen worden sind.

Große Fortschritte hat andererseits in letzter Zeit die Kenntnis der numerischen Ermittlung der Gezeiten in flachen Gewässern gemacht. Für ein Teilprojekt des Falles b) ist eine derartige Berechnung durchgeführt worden. Das Teilprojekt umfaßt nur die beiden Dämme 2 und 1 a (1 a ist ein Hilfsdamm, der errichtet werden soll, bevor 1 gebaut ist, um die Umbildung der Watts langsam vor sich gehen zu lassen, und der später wieder entfernt werden soll). Für dieses Teilobjekt konnten die zukünftigen Gezeitenwerte an den Dämmen ermittelt werden, und es konnten weiterhin Einblicke in die zu erwartende stärkere Durchströmung des westlichen Teiles des Norderneyer Seegats gewonnen werden. Die Ergebnisse lassen einen Erfolg der Planung erhoffen.

Der Hauptmangel dieser Methode liegt aber in der Bedingung, daß eine Berechnung nur für einen bestimmten Zustand des Untergrundes durchgeführt werden kann. Die durch geplante Einbauten hervorgerufenen morphologischen Veränderungen müssen vorher abgeschätzt werden, und erst für einen angenommenen Zwischen- oder Endzustand lassen sich die zukünftigen Gezeitenverhältnisse errechnen. Die in den Rechenmethoden liegenden Möglichkeiten werden im übrigen im Teil B dieser Arbeit behandelt.

6.

Die Methoden der klassischen Bauweise sind heute noch für große Erweiterungs- und Neubauplanungen allein maßgebend und sie werden an geeigneter Stelle auch in Zukunft unentbehrlich sein. Darüber hinaus wird man auch, wenn die örtlichen Umstände es erfordern und zulassen, an bestimmten Punkten der

Inselküste vorgestreckte Werke nach Abschnitt 4 entwerfen. Noch nicht ausgeführt sind bisher an der ostfriesischen Küste Bauten nach der zuletzt dargestellten neuen Baumethode. Es muß schon ein großes Maß von Vertrauen in die Richtigkeit dieser neuen Gedanken vorhanden sein, wenn sie zur Durchführung gelangen sollen. Die Gedanken leuchten zwar ein, doch sind Weg und Ziel noch zu ungewohnt. Ein Argument spricht aber sehr für sie, nämlich der Umstand, daß Bauten der neuen Methode in Bau und Unterhaltung weit billiger als die der alten Methode sein würden. Es ist durchaus denkbar, daß auf dem neuen Weg ein tragbarer dauernder Inselschutz gefunden werden kann.

B. Grundsätzliches über den Einfluß der Strömungen und Wasserstände in der Deutschen Bucht auf die Küstengestaltung

Naturgemäß bieten Küstengewässer mannigfache Probleme, die das Interesse der Ozeanographie und des Wasserbaus zu erregen vermögen. Im folgenden soll einiges über den Einfluß der Wasserbewegungen in der Deutschen Bucht auf die Küstengestalt gesprochen werden. Bevor die Ursachen der Bewegungen betrachtet werden, sei zunächst einiges über die Verknüpfung zwischen Bewegungsvorgängen und Bodengestalt gesagt.

Das besondere Anliegen der dynamischen Ozeanographie ist es, die Bewegungsvorgänge im Meere zu erforschen. Diese Aufgabe läßt sich folgendermaßen formulieren, wenn, um etwas bestimmtes vor Augen zu haben, ein eindimensionales Gebiet, etwa eine lange schmale Bucht oder eine Flußmündung, betrachtet wird: Sind die Wasserstände am seeseitigen Ende und der Zufluß am landseitigen Ende (Oberwasser) ebenso wie die Tiefenverteilung des Gebietes bekannt, dann besteht die Aufgabe darin, Wasserstände und Stromgeschwindigkeiten für einen beliebigen Punkt des Gebietes zu ermitteln. Das geschieht in der Weise, daß mit Hilfe der hydrodynamischen Gleichungen Beziehungen zwischen den genannten Größen abgeleitet und numerisch ausgewertet werden. Die aufzuwendende Rechenarbeit ist recht beträchtlich; in jüngster Zeit ist für derartige Aufgaben mit gutem Erfolg der elektronische Rechenautomat BESK in Stockholm verwendet worden.

Daß die Tiefenverteilung von großem Einfluß auf die Bewegungsvorgänge in dem betrachteten Gebiet ist, leuchtet ohne weiteres ein und wird sofort veranschaulicht, wenn etwa die Wirkung einer umfangreichen Sandbarre betrachtet wird. Der Vorteil der oben genannten Rechenverfahren liegt darin, daß quantitative Angaben über die Stromgeschwindigkeiten und Wasserstände erhalten werden, des weiteren aber auch darin, daß nicht nur in der Natur vorhandene Zustände reproduziert, sondern auch Planungen und grundsätzliche Fragestellungen behandelt werden können. Besteht das Bett des betrachteten Meeresgebietes aus widerstandsfähigem Material, etwa anstehendem Gestein, dann bleibt die Morphologie ungeändert, sofern nicht durch die Strömungen von außen Material in das Gebiet hineintransportiert wird.

In der Deutschen Bucht ist der Meeresboden überwiegend aus Sanden verschiedener Korngrößen aufgebaut. Überschreitet die Geschwindigkeit des strömenden Wassers einen Grenzwert, der von der Geschwindigkeit abhängt, dann nimmt die Strömung das Material vom Boden auf und der Transport beginnt. In entsprechender Weise wird das Material wieder abgelagert, wenn die Geschwindigkeit unter einen kritischen Grenzwert absinkt. Zur Zeit sind noch keine erprobten Ansätze vorhanden, die quantitative Beziehungen zwischen

Stromgeschwindigkeit und Sandtransport liefern. Rein qualitativ läßt sich sagen, daß der Verhältniswert Sandtransport zu Stromgeschwindigkeit nicht konstant ist, sondern mit der Geschwindigkeit ansteigt. Hieraus können aber bereits wichtige Schlüsse über die zu erwartenden Anderungen der Morphologie gezogen werden.

Da es in der Deutschen Bucht durchaus die Regel ist, daß die Stromgeschwindigkeiten die Grenzgeschwindigkeit überschreiten, so findet überall Materialtransport statt und Gebiete, die der Abtragung unterliegen, wechseln mit Gebieten, in denen Anlandung stattfindet.

Aus dem Vorstehenden ist zu entnehmen, daß der Materialtransport entscheidend durch die Stromgeschwindigkeit beeinflußt wird. Es folgen nun einige Bemerkungen über den Charakter der Strömungen.

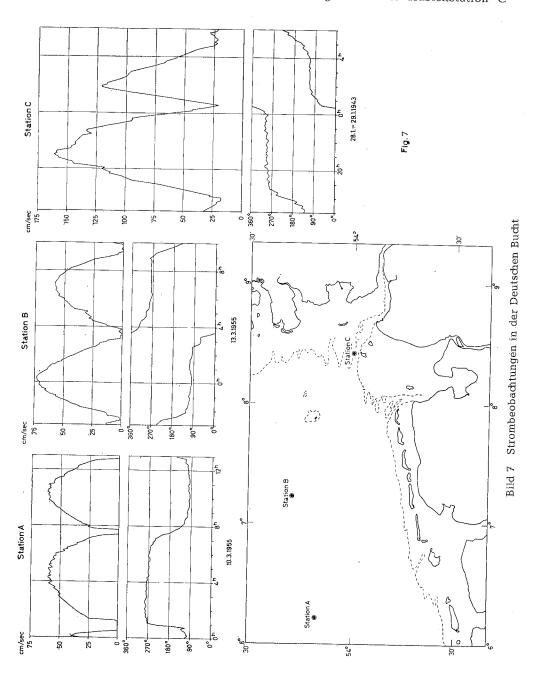
Strömungen und Wasserstandsänderungen in der Deutschen Bucht werden durch folgende Ursachen bedingt: 1. Gezeiten, 2. Wind, 3. Dichteunterschiede (Süßwasserzufuhr).

Die Wasserbewegungen in der Deutschen Bucht sind vornehmlich gezeitenbedingt. Das Steigen und Fallen des Meeresspiegels ist verknüpft mit landund seewärts gerichteten horizontalen Bewegungen (Flut- und Ebbstrom). Beobachtungen der Ströme in der Deutschen Bucht zeigen, daß die Dauer des Flutstroms im allgemeinen kürzer ist als die Dauer des Ebbstroms, die maximale Geschwindigkeit des Flutstroms dagegen größer als die maximale Ebbstromgeschwindigkeit. Diese Asymmetrie des Gezeitenstroms ist um so ausgeprägter, je größer das Verhältnis Tidenhub dividiert durch Wassertiefe wird. Auf den Watten kann der Tidenhub gleich der Wassertiefe sein. Dementsprechend zeigen die Strombeobachtungen eine von See nach Land zunehmende Asymmetrie der Gezeitenströme; in den Wasserständen ist ebenfalls eine Asymmetrie festzustellen, die aber im allgemeinen nicht so ausgeprägt hervortritt.

Auch Wind und Oberwasser nehmen Einfluß auf den zeitlichen Verlauf der Gezeitenströme. Während der Wind, je nach Richtung und Stärke, die Asymmetrie der Ströme sowohl verstärken als auch abschwächen kann, wirkt das Oberwasser in den Flußmündungen naturgemäß ebbstromverstärkend und flutstromschwächend. Es liegen Beobachtungen vor, bei denen die Flutstromgeschwindigkeit größer, die maximale Ebbstromgeschwindigkeit kleiner als die Grenzgeschwindigkeit sind, bei der Bodenmaterial in Bewegung kommt. In solchen Fällen kann das Bodenmaterial nur in Richtung des Flutstroms transportiert werden, d. h. aber, das betrachtete Gebiet unterliegt einer dauernden Verlandung. Somit gewinnt der zeitliche Verlauf der Gezeitenströme eine besondere Bedeutung für den Materialtransport. Vollkommen symmetrischer Gezeitenstrom — etwa als rein harmonische Schwingung — liefert für Flut- und Ebbstrom gleichen, aber entgegengesetzt gerichteten Materialtransport. Das heißt, in einer vollen Gezeitenperiode wird ebensoviel Material land- wie seewärts transportiert, so daß effektiv kein Sandtransport stattfindet und die Morphologie im Mittel erhalten bleibt.

Tatsächlich zeigen die Beobachtungen, daß die Gezeitenströme in der Deutschen Bucht nicht symmetrisch sind, wie schon erwähnt. Die Verstärkung des maximalen Flutstroms gegenüber dem maximalen Ebbstrom nimmt von See her nach Land hin zu; in den Gezeitenflüssen wie Elbe, Weser usw. tritt dagegen, bedingt durch den Oberwasserzufluß, eine Umkehrung ein. Gezeitenbeobachtungen auf Station A in Bild 7 zeigen diesen Übergang recht deutlich. In den Bildern sind die gemessenen Stromgeschwindigkeiten und Richtungen

über der Zeit aufgetragen. Die am weitesten seewärts gelegene Station gibt Stromgeschwindigkeiten, die von einer harmonischen Kurve nur wenig abweichen. Auf der zweiten, weiter landwärts gelegenen Station B überwiegt der maximale Flut- den Ebbstrom, und die Messungen auf der Küstenstation C



geben umgekehrt eine maximale Ebbstromgeschwindigkeit, die deutlich größer als die Flutstromgeschwindigkeit ist. Auf die Einzelheiten dieser Beobachtungen soll hier nicht weiter eingegangen werden.

Im Anschluß an die obigen Ausführungen über den Zusammenhang zwischen Strom und Materialtransport kann gesagt werden, daß dort, wo der maximale Flutstrom stärker ist als der maximale Ebbstrom, die Möglichkeit zu einem landwärts gerichteten Materialtransport besteht, dort, wo der maximale Ebbstrom stärker ist als der maximale Flutstrom, kann das Material seewärts transportiert werden. Die Vorgänge sind insgesamt betrachtet recht komplex und in ihren Einzelheiten heute noch nicht zu übersehen. Dagegen läßt sich in einfachen Fällen der Einfluß der Morphologie auf die Struktur der Stromgeschwindigkeit quantitativ ermitteln, und daraus können Schlußfolgerungen bezüglich des Transportes gezogen werden.

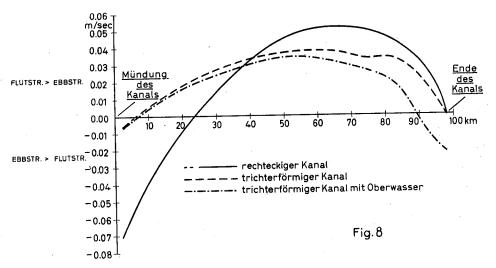
Im folgenden sollen einige der Ergebnisse besprochen werden, die bei der Untersuchung von geometrisch einfach gestalteten Gebieten ermittelt werden. Es sind dies die Gezeitenströme in folgenden Gebieten:

- 1. Rechteckiger Kanal, konstante Breite und Tiefe, seeseitig Wasserstand Sinusfunktion der Zeit, landseitig geschlossen, kein Oberwasserzufluß.
- 2. Trichterförmiger Kanal, bis auf die linear abnehmende Breite identisch mit dem Kanal unter 1.
 - 3. Kanal wie unter 2., nur Oberwasserzufluß.

In den Rechnungen wurden folgende Abmessungen zugrunde gelegt: Länge 98 km, mittlere Wassertiefe 11 m, Tidenhub am Eingang 2 m, Breite 20 km bzw. 0.4 km, Oberwasser im dritten Beispiel 276 $\rm m^3/sec.$

Diese Rechnungen sind, wie oben bereits erwähnt, recht umfangreich; Vereinfachungen sind nicht möglich, da die Ergebnisse, die hier interessieren, wesentlich mit der komplizierten Struktur der zugrunde liegenden Gleichungen verknüpft sind.

In Bild 8 sind über die Kanallänge die Differenzen zwischen dem maximalen



Differenzen der maximalen Flut - gegen die maximalen Ebbströme Bild 8 Differenzen zwischen maximalen Flut- und Ebbströmen

Flut- und dem maximalen Ebbstrom aufgetragen. Ist das Maximum des Flutstroms größer als das des Ebbstroms, sind die Differenzen positiv, im entgegengesetzten Fall negativ aufgetragen. Den obigen Überlegungen gemäß sind positive Differenzen Voraussetzung für landwärts, negative Differenzen für seewärts gerichteten Transport von Bodenmaterial.

Bild 8 zeigt die stärkste Anderung der Differenzen für den rechteckigen Kanal. Während von der Mündung bis etwa 23 km landwärts Tendenzen zur Ausräumung bestehen, ist in dem restlichen Teil des Gebietes mit Anlandung zu rechnen. Daraus ist zu schließen, daß im mündungsnahen Teil des Gebietes Querschnittsvergrößerungen, im übrigen Teil Querschnittsverringerungen zu erwarten sind. Ein rechteckiges Gebiet ist demnach morphologisch nicht im Gleichgewicht, sondern die Gezeitenströme trachten die Morphologie in der Weise umzugestalten, daß ein trichterförmiger Kanal entsteht. Derartige Trichterformen werden bei Flüssen, die in Gezeitenmeere münden, beobachtet.

Das zweite Beispiel gibt die Differenzen der Extremwerte der Stromgeschwindigkeiten für einen trichterförmigen Kanal. Ausräumung ist nur in den ersten Kilometern in der Nachbarschaft der Mündung zu erwarten; im überwiegenden Teil des Kanals besteht Tendenz zu landwärts gerichtetem Materialtransport, allerdings, und das ist bemerkenswert, überwiegt die maximale Flutstromgeschwindigkeit die maximale Ebbstromgeschwindigkeit nicht so stark wie im Fall des rechteckigen Kanals, woraus gefolgert wird, daß die Tendenz zur Verlandung im trichterförmigen Kanal nicht mehr so groß ist wie im rechteckigen Kanal.

Das dritte Beispiel bezieht sich wieder auf die gleiche Trichterform, nur findet jetzt ein Oberwasserzufluß statt. Die Differenzen der Extremwerte der Stromgeschwindigkeiten sind überall geringer als in den vorgenannten zwei Beispielen, die Verlandungstendenz ist als Folge der Oberwasserzugabe überall verringert worden. Das Oberwasser bewirkt auf einer Strecke von rund 10 km vom landseitigen Ende des Kanals ab gerechnet sogar eine Umkehr des Vorzeichens der Differenzen, d. h. hier ist mit einer seewärtigen Transportrichtung von Bodenmaterial zu rechnen. Eine Erhöhung des Oberwasserzuflusses dehnt dieses Ausräumungsgebiet weiter seewärts aus. Anders formuliert lautet das Ergebnis: Zu jeder Oberwassermenge eines in ein Gezeitenmeer mündenden Flusses bildet sich ein Mündungstrichter aus, dessen Dimensionen von der Oberwassermenge abhängen. Dieses Gleichgewicht ist somit nicht stabil, sondern steht in funktionaler Abhängigkeit von der Morphologie, den Gezeiten und den Oberwassermengen. Wird eine dieser Faktoren geändert, dann kann das vorhandene Gleichgewicht erheblich gestört und eine Entwicklung eingeleitet werden, die zur Ausbildung einer neuen Gleichgewichtslage führt. Diese neue Lage wird dann erreicht sein, wenn die genannten Größen wieder aufeinander abgestimmt sind.

Es gibt aber noch andere Faktoren, die dieses Gleichgewicht stören können, das sind auf der einen Seite natürliche Vorgänge wie Sturmfluten, auf der anderen Seite bauliche Maßnahmen des Ingenieurwasserbaues. Während die Sturmfluten kaum beeinflußt werden können, besteht von seiten des Wasserbauingenieurs das Bestreben, die Maßnahme so zu dosieren, daß mit einem Minimum an Aufwand das erstrebte Ziel erreicht wird, und zwar in der Weise, daß damit ein Gleichgewichtszustand verknüpft wird. Derartige Überlegungen werden dann angestellt, wenn es sich um den Bau eines Sperrdammes in einem Gezeitenfluß handelt; der Ort der Sperrstelle muß so gewählt werden, daß das

Fährwasser nach Fertigstellung möglichst ohne Baggerungen offengehalten werden kann. Ähnliche Probleme treten auf, wenn es sich um die Vertiefung einer Fahrrinne handelt, um auch großen Schiffen den Zugang zu einem Hafen zu ermöglichen. Allerdings läßt sich, wie aus dem Vorstehenden erkennbar ist, das Fahrwasser eines Gezeitenflusses nicht beliebig vertiefen. Hieraus ergeben sich wichtige Folgerungen für die Maximalgröße von Seeschiffen, für die derartige Häfen erreichbar sein sollen. Diese Fragestellungen gehören aber bereits in das Gebiet des praktischen Wasserbaus. Hier interessiert vor allem das Ergebnis, daß trichterförmige Mündungen von Gezeitenflüssen bei einer vorgegebenen Oberwassermenge dadurch gekennzeichnet sind, daß sie eine gewisse Stabilität gegenüber anderen Mündungsformen besitzen.

Neben den Mündungen der Gezeitenflüsse spielen in der Deutschen Bucht die Priele und die Wattengebiete eine wesentliche Rolle. Die Wattengebiete sind dadurch charakterisiert, daß sie bei Niedrigwasser trockenfallen oder nur sehr geringe Wassertiefen besitzen und bei Hochwasser überflutet sind. Diese im Gezeitenrhythmus vor sich gehende Be- und Entwässerung der Watten erfolgt durch die Gezeitentiefs oder Priele. Während die Watten vornehmlich horizontal ausgedehnte Flächen mit nur geringer morphologischer Struktur darstellen, besitzen die Priele den Charakter mehr oder weniger tief in das Watt eingeschnittener Kanäle, Es ist zu erwarten, daß zwischen den Abmessungen eines Wattengebietes und des dazugehörigen Priels bestimmte Zusammenhänge bestehen. Wird etwa das Nordfriesische Wattenmeer betrachtet, so fällt auf, daß — von örtlichen Anderungen geringeren Ausmaßes abgesehen — über längere Zeit die großräumige Struktur dieses Gebietes nur geringe Anderungen erfahren hat.

Anders liegen die Verhältnisse im Dithmarscher Watt, das nach den heutigen Kenntnissen einen dauernden Zuwachs erfährt. Die Ursache hierfür liegt vermutlich darin, daß dieses Gebiet das Zentrum der Konvergenz der Sandmaterialtransporte in der Deutschen Bucht ist. Diese Vermutung wird gestützt durch die Tatsache, daß die großen Achsen der Gezeitenströme dorthin zusammenlaufen.

Die Bewegungsvorgänge können für geometrisch einfache Priel-Wattsysteme numerisch ermittelt werden. In Bild 9 sind für ein rechteckiges Wattengebiet mit einem dazugehörigen Prielkanal die Stromgeschwindigkeiten ermittelt worden. Es wurden die Fälle A und B durchgerechnet. Im Fall A handelt es sich um ein relativ hohes Watt, im Fall B um eine Bucht, deren Wassertiefe konstant ist. Hier interessiert der zeitliche Verlauf der Stromgeschwindigkeit an der Übergangsstelle vom Kanal in das Watt oder in die Bucht, die in Bild 9 mit der Nummer 5 bezeichnet ist.

Für den Fall A ist die maximale Flutstromgeschwindigkeit deutlich geringer als die maximale Ebbstromgeschwindigkeit; daraus wird zu schließen sein, daß das Watt keine Aufhöhung, sondern im Gegenteil eine Abtragung erfährt. Aus dem Verlauf der Geschwindigkeitskurve für den Fall B ist demgegenüber zu entnehmen, daß die maximale Flutstromgeschwindigkeit die maximale Ebbstromgeschwindigkeit überwiegt, so daß hier mit einem Materialtransport buchteinwärts zu rechnen ist und dementsprechend eine Anlandung stattfinden wird.

Diese Beispiele, die zwei Extremfälle behandeln — hohes Watt und Bucht — deuten darauf hin, daß, gesteuert durch die Hydrodynamik der Bewegungs-

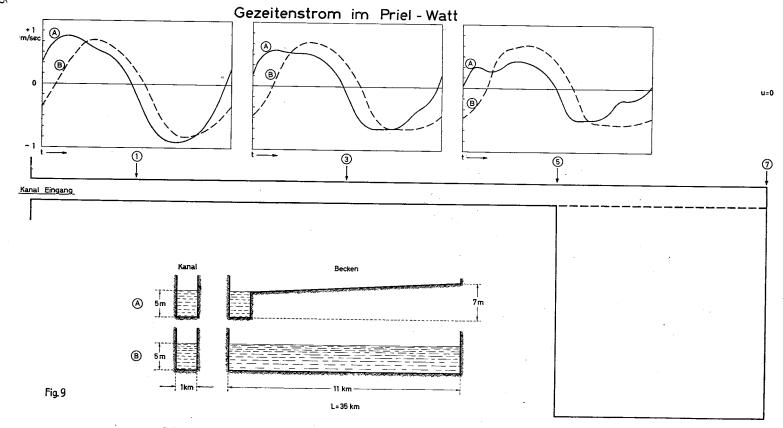


Bild 9 Stromgeschwindigkeiten in einem Priel-Wattsystem

vorgänge, die Höhenlage in den Wattengebieten um eine Gleichgewichtslage pendelt. Wird das Watt sehr hoch, dann tritt ein seewärtiger Materialtransport ein, der das Watt abbaut. Mit zunehmendem Abbau erfolgt eine Anderung der Stromgeschwindigkeitsverteilung in der Weise, daß bei hinreichend weit fortgeschrittener Ausräumung des Watts die maximale Flutstromgeschwindigkeit größer als die maximale Ebbstromgeschwindigkeit wird, und damit beginnt wieder der Anlandungsprozeß.

Das Pendeln der Höhenlage des Watts um eine Gleichgewichtslage ist bedingt durch die Verknüpfung der Stromgeschwindigkeiten mit der Geometrie des Gebietes. Wird diese Geometrie geändert, dann muß mit Störungen dieses Gleichgewichts gerechnet werden, die gegebenenfalls weitreichende Umgestaltungen hervorbringen.

Außer den genannten dynamisch-numerischen Untersuchungen wurden Modellversuche im Franzius-Institut der Technischen Hochschule Hannover durchgeführt, die ebenfalls diesen charakteristischen Zusammenhang zwischen den Stromgeschwindigkeiten und der Geometrie des Meeresgebietes deutlich erkennen lassen.

Eine quantitative Auswertung dieser Überlegungen kann für die praktische Arbeit der Landgewinnung erfolgen.