PIANC•AIPCN
Schifffahrt, Häfen, Wasserstraßen

17.
Internationaler Schifffahrtskongress

Lissabon / Portugal (1949)
Deutsche Beiträge

Erster Teil: Binnenschiffahrt

1

Die Bedeutung der Verkehrsbeschleunigung im Hinblick auf die besonderen Aufgaben der Binnenschiffahrt und auf die Höhe der Frachten.

Von Dr. Hermann Kretschmer, Oberregierungsrat in Offenbach a. M.

I. Grenzen, Mittel der Beschleunigung; Selbstfahrer.

Die Beschleunigung der Transportabwicklung in der Binnenschiffahrt hat nicht das schnelle Tempo annehmen können, wie es bei der Eisenbahn oder dem Lastkraftwagen zu beobachten ist, weil die Erhöhung der Geschwindigkeit der Schiffe in den technischen Bedingungen und Anforderungen sowohl der Fahrstraße als auch der Betriebsmittel selbst ihre Grenzen hat und weil der zeitliche Ablauf einer Ladungsreise nicht nur von der Fahrzeit des Schiffes, sondern auch von dem Lade- und Löschvorgang beeinflußt wird, der besonderen Entwicklungen unterliegt und dessen zeitlicher Anteil mit der Größe der Ladegefäße wächst. Ferner liegt entsprechend der volkswirtschaftlichen Aufgabe der Binnenschiffahrt das Schwergewicht ihrer Bedeutung weniger in der Schnelligkeit der Transportabwicklung als vielmehr in der Billigkeit der Transportkosten, die wieder von der Rationalisierung des Betriebes abhängig ist.

Die Binnenschiffahrt hat gleichwohl Fortschritte in der Beschleunigung des Verkehrs erzielt,

indem sie die technischen Errungenschaften im Schiffbau der betrieblichen Beschleunigung dienstbar gemacht und z. B. die Zugkraft mit höheren Leistungen ausgestattet hat,

indem die Umschlagsanlagen in ihrer Leistungsfähigkeit verbessert und der Ein- und Ausladevorgang beschleunigt wurden.

indem die Schleuseneinrichtungen modernisiert und die Betriebszeiten den Verkehrserfordernissen angepaßt wurden,

indem die schiffahrtspolizeilichen Vorschriften den Interessen einer Beschleunigung des Binnenschiffsverkehrs angeglichen wurden (Nachtfahrt, Überholungen),

indem schließlich durch Erweiterung und Intensivierung der betrieblichen Organisation in der Disposition der Fahrzeuge ein zügigerer Ablauf der Transporte erreicht wurde.

Am augenfälligsten ist der Binnenschiffsverkehr jedoch durch die Motorisierung der Kähne beschleunigt worden. Die Zahl der Selbstfahrer ist allerdings noch gering. In der deutschen Rheinschiffahrt z. B. weist der Laderaum des Selbstfahrers erst etwa 10 v. H. des Gesamtladeraumbestandes

aus. Neben der Einsparung der Wartezeiten auf Schleppkraft liegt die Stärke der Selbstfahrer in der Beschleunigung der Fahrzeit selbst. Man rechnet im allgemeinen mit der halben Umlaufszeit*), die der Selbstfahrer gegenüber dem Schleppkahn z. B. in der Fahrt Ruhr—Mannheim benötigt.

1. Hemmnisse der Selbstfahrerentwicklung.

Wenn trotz der Beschleunigungsvorzüge der Einsatz der Selbstfahrer — abgesehen von der Tankschiffahrt — verhältnismäßig gering ist, so erklärt sich dies daraus, daß infolge des starken Druckes auf die Binnenschiffsfrachten, der namentlich in der Zeit der freien Marktwirtschaft, aber auch noch nach dem Übergang zur kalkulierten Festfracht wirksam gewesen ist, die erforderlichen Investitionskapitalien nicht verfügbar waren, daß ferner die Vermehrung der Selbstfahrer bei dem geringen Anfall von Stückgut und Teilpartien ihr stärkeres Eindringen in den Massengutverkehr zur Voraussetzung gehabt hätte, wofür betriebswirtschaftliche Erfahrungen nicht ausreichend vorgelegen haben.

2. Vorteile des Selbstfahrers auf langer Strecke. und im Eil- und Stückgutverkehr.

Dabei spielen noch folgende Überlegungen eine Rolle:

a) Die Selbstkosten des Selbstfahrers sind höher als die des Schleppkahnes. Soweit der Selbstfahrer in dem Massengutverkehr eingesetzt wird und dort die gleiche Fracht einnimmt wie der Schleppkahn, ist der Einsatz des Selbstfahrers wirtschaftlich, wenn der Fahrzeitgewinn die höheren Selbstkosten aufwiegt. Da Lade- und Löschzeiten für beide Fahrzeugarten die gleichen sind, ist die wirtschaftliche Einsatzmöglichkeit des Selbstfahrers umso größer, je länger die Fahrstrecke ist. Auf Kurzstrecken, z. B. bei einer reinen Fahrzeit des Schleppkahnes von einem Tag ist der Beschleunigungsvorteil des teureren Selbstfahrers so gering, daß sein Einsatz kaum wirtschaftlich ist. Daraus folgt, daß für einen Teil der Relationen der Schleppkahn das wirtschaftlichere Betriebsmittel ist und insoweit die Vermehrung von Selbstfahrern begrenzt ist.

b) Der Selbstfahrer war in seinen Anfängen für den Eil- und Stückgutverkehr bestimmt, dessen Eigenarten (Schnelligkeit, Bedienung mehrerer, auch kleinster Stationen) ein bewegliches und vom Schleppereinsatz unabhängiges Fahrzeug verlangten. Der Stückgutverkehr setzt sich aus höherwertigen Gütern zusammen, die eine teurere Fracht vertragen können. Ist aber der Selbstfahrer frachtlich mit dem Schleppkahn gleichgestellt und auf die Beteiligung im Massengutverkehr angewiesen, so ist er auch den Schwankungen und Besonderheiten (tour de rôle-System!) dieses Verkehrs ausgesetzt, die der Schleppkahn aus Kostengründen naturgemäß leichter auffangen kann als der teurere Selbstfahrer.

c) Bei der Fahrt auf den Kanälen ist der Selbstfahrer in der Verwertung seiner Eigenart, nämlich in der Entfaltung einer höheren Geschwindigkeit, abgesehen von dem Grad der die Geschwindigkeit einschränkenden Schiffahrtspolizeivorschriften, umso mehr gehemmt, je zahl-

*) Unter Umlaufszeit ist der Zeitraum zu verstehen, der zwischen der Annahme eines Transportauftrages und der Annahme eines neuen Transportauftrages am Ausgangsort liegt, während Reisezeit den Zeitraum zwischen der Annahme des Transportauftrages und der Beendigung des Löschens nach Abwicklung des Transportes umfaßt.

reicher die Schleusen und je geringer die Schleusenabstände sind. Vielfach muß der Selbstfahrer auf den Kanälen mit den Schleppzügen dieselbe Fahrgeschwindigkeit einhalten, soweit nämlich ein Überholverbot besteht. In diesen Fällen findet der teurere Selbstfahrerbetrieb keinen Ausgleich.

II. Oberste Aufgaben der Binnenschiffahrt: Billigkeit des Transports — Bevorratung von Handel und Industrie.

Im allgemeinen kann man sagen, daß — trotz aller Beschleunigungstendenzen — die eigentliche Aufgabe der Binnenschiffahrt, ein billiges Verkehrsmittel zu sein, wenig oder gar nichts an Aktualität eingebüßt hat. Die Billigkeit ist ein so fundamentaler Grundsatz, daß es nicht richtig wäre, den Binnenschiffsverkehr um der Beschleunigung selbst willen, aber auf Kosten der Billigkeit umstellen zu wollen. Damit wäre der Volkswirtschaft nur wenig gedient. Eine Vermehrung der Selbstfahrer ist volkswirtschaftlich dort gerechtfertigt, wo durch technische Verbesserungen des Betriebes und durch möglichst geringen Kapitalaufwand die Selbstkostennachteile gegenüber dem Schleppkahn ausgeglichen werden können. Es darf nicht übersehen werden, daß die Binnenschiffahrt auch die volkswirtschaftlichen Aufgaben des schwimmenden Lagers zu erfüllen hat und daß normalerweise bei der Bevorratung von Handel und Industrie die Beschleunigung des Transportes von untergeordneter Bedeutung und manchmal sogar unerwünscht ist.

Mit diesen Überlegungen sind nicht nur die besonderen Aufgaben der Binnenschiffahrt gekennzeichnet, sondern gleichzeitig auch die wirtschaftlichen Grenzen für eine Vermehrung der Selbstfahrer und damit für eine Beschleunigung des Binnenschiffsverkehrs im großen abgesteckt. Ich sage bewußt „im großen", weil die Beschleunigung im kleinen, insbesondere die Verwertung technischer Neuerungen aus Gründen der betrieblichen Rationalisierung und des gewerblichen Fortschritts nicht vernachlässigt werden darf, sondern mit Nachdruck fortentwickelt werden muß.

III. Einfluß der Beschleunigung auf die Frachten.

Inwieweit sich der Einfluß der Beschleunigung des Binnenschiffsverkehrs auf die Frachten bisher geltend gemacht hat, läßt sich mit exakten Zahlen nicht belegen; es fehlen darüber Untersuchungen, die auch schwierig wären. Die Entwicklung der Frachten ist von so vielen Faktoren (Konjunktur, Material-, Betriebsstoffpreise, Löhne, technische Neuerungen usw.) abhängig, die unterschiedlichen Veränderungen ausgesetzt sind, daß es ohne eingehende Einzeluntersuchungen nicht möglich ist, diejenigen Frachtkostenbestandteile, die auf der Beschleunigung basieren, von den anderen Bestandteilen zu trennen und festzustellen. Der Einfluß des Zeitfaktors auf die Frachten ist erst leichter überblickbar geworden, seitdem die deutsche Binnenschiffahrt das Prinzip des freien Marktpreises verlassen hat, zur kalkulierten Festfracht übergegangen ist und die Reisedauer als Bestandteil eines festen Kalkulationsschemas in ihrer kostenmäßigen Entwicklung verfolgt werden kann.

1. Beim Schleppkahn.

Die kalkulierte Fracht wird in der Weise gebildet, daß die Kosten der Ladungsreise festgestellt werden, indem z. B. bei einem Schleppkahn der Tageskostensatz eines Durchschnittskahnes mit der Zahl der Reise- bzw. Umlaufstage verrechnet wird. Die Reise- bzw. Umlaufszeit ist mithin als bestimmender Faktor der Fracht klar herausgestellt, und jede zeitliche Verkürzung infolge Beschleunigung wirkt sich unmittelbar frachtmindernd, jede

zeitliche Verlängerung infolge Verlangsamung frachterhöhend aus. Im Kohlenverkehr Ruhrort — Mannheim z. B. bedeutet nach dem heutigen Stande des Tageskostensatzes und der Umlaufstage (28) die Einsparung eines Umlauftages 9 bis 10 Dpf pro t, um die sich die Kahnanteilfracht von 3,— DM kostenmäßig verringern würde; dabei ist es natürlich gleichgültig, ob Umlaufstage bei der reinen Fahrzeit oder z. B. beim Lade- und Löschvorgang gewonnen oder verloren werden.

2. Beim Schlepper.

Die Kosten des Schleppers werden nach PS-Fahrstunden berechnet. Je mehr PS-Fahrstunden an einem Betriebstag geleistet werden — worauf die Beschleunigung wesentlichen Einfluß hat —, umso besser ist der Schlepper ausgenutzt und umso mehr sinken die Kosten der PS-Fahrstunde. Das Rheingutachten hat für das 3. Quartal 1946 eine Ausnutzung der Schlepper von 47 v. H. errechnet und kommt für die PS-Fahrstunde zu einem Kostensatz von 7,37 Dpf. Das Rheingutachten hat weiter berechnet, daß die Kosten der PS-Fahrstunde von 7,37 auf 6,61 sinken würden, wenn die Ausnutzung auf 58 v. H., d. h. auf den Stand von 1941 steigen würde.

3. Beim Selbstfahrer.

Beim Selbstfahrer, der eine Kombination von Kahn und Schlepper darstellt, sind die Selbstkosten naturgemäß höher als beim Schleppkahn. Das Rheingutachten hat als Planausgaben (reine Betriebsausgaben) je Kalendertageseichtonne

beim Schleppkahn	4,91 Dpf
beim Selbstfahrer	12,88 Dpf

errechnet. In die Kosten des Selbstfahrers sind die Fortbewegungskosten mit eingeschlossen. Im Kohlenfrachtsatz Ruhrort — Mannheim liegt der Anteil der Schleppkosten (2,85 DM) ein wenig unter dem Anteil des Kahnes (3,— DM). Der den Kahnanteil übersteigende Teil der Summe von Kahn- und Schleppkosten beträgt 49 v. H., der analoge Teil der Planausgaben des Selbstfahrers je Kalendertageseichtonne aber 62 v. H. Es ergibt sich daraus, daß die Selbstkosten des Selbstfahrers höher sind als die Summe der Kosten des Schleppkahnes und des Schleppers. Es kann ferner daraus geschlossen werden, daß sich vermöge der Differenzialkosten des Selbstfahrers bei diesem eine Beschleunigung noch stärker auswirken muß als beim Schleppzug.

Beim Stückgutverkehr, der seiner Eigenart wegen eine höhere Frachtbelastung verträgt, werden die höheren Kosten des Selbstfahrers herausgewirtschaftet werden könen. Ähnlich wird dies bei den ausgesprochenen Eiltransporten — auch im Massengutverkehr — der Fall sein, wo es im übrigen heute teilweise noch üblich ist, einen Frachtzuschlag zur Massengutfracht zu fordern. Im gewöhnlichen Massengutverkehr wird es darauf ankommen, den Selbstfahrerbetrieb so zu verbessern und zu rationalisieren, daß die höheren Selbstkosten erwirtschaftet werden. Dies kann sowohl auf technische als auch auf organisatorische Weise geschehen. Wenn es z. B. der Technik gelingt, einen wirtschaftlich günstigeren Selbstfahrertyp mit Schleppeigenschaft zu entwickeln, ist viel gewonnen, weil dann nicht nur dem Erfordernis der Billighaltung der Binnenschiffahrtsfracht, sondern auch dem Gedanken der weiteren Beschleunigung des Verkehrs in der Binnenschiffahrt Rechnung getragen wird. Der Gedanke des schleppenden Selbstfahrers ist an sich nicht neu. Seine Durchbildung und sein vermehrter Einsatz werden sich deshalb lohnend entwickeln können, weil der Kapitalbedarf des kombinierten Selbstfahrers geringer als beim Kahn plus Schlepper sein wird und weil nicht

unerhebliche Ersparnisse im Personaleinsatz erzielt werden können. Darüber hinaus werden sich auch auf betriebsorganisatorischem Gebiet Fortschritte erreichen lassen.

Zusammenfassung.

Zusammenfassend darf folgendes festgestellt werden:

1. Die auf technischem und organisatorischem Wege erzielte und noch erzielbare Beschleunigung des Binnenschiffahrtsverkehrs ist betriebswirtschaftlich von der Kostenentwicklung abhängig.
2. Das Schwergewicht der volkswirtschaftlichen Bedeutung der Binnenschiffahrt liegt in der Billigkeit der Beförderung.
3. Eine mit wirtschaftlich lohnendem Aufwand erreichte Beschleunigung wirkt sich günstig auf die Frachten aus.
4. Die Stärke des Selbstfahrers liegt in der Erfüllung der besonderen Anforderungen des Eil- und Stückgutverkehrs sowie im Verkehr auf der langen Strecke überhaupt. Seine Vermehrung ist wirtschaftlich geboten, soweit er im gewöhnlichen Massengutverkehr die Selbstkosten des Schleppzuges erreicht oder unterschreitet.

2

Schwimmende Stauanlage bei Minden zur Erleichterung des umgeleiteten Kanalverkehrs.

Von Dr.-Ing. Bernhard Möhlmann, Regierungs- und Baurat in Minden.

I. Das Verkehrskreuz Minden.

Das Wasserstraßennetz Norddeutschlands besteht aus den von Süden nach Norden verlaufenden Strömen, die als natürliche Gewässer neben dem Verkehr auch — und sogar überwiegend — den allgemeinen wasserwirtschaftlichen Belangen dienen, und den vornehmlich in der West-Ost-Richtung verlaufenden Kanälen, die fast ausschließlich dem Verkehr dienen und als künstliche Wasserstraßen die natürlichen untereinander verbinden. Erst dieses Gesamtsystem der Wasserstraßen vermag die verkehrswirtschaftlichen Aufgaben ihres Raumes zu erfüllen.

Unter den künstlichen Wasserstraßen nimmt der Mittellandkanal einen hervorragenden Platz ein als der große Mittler zwischen dem Westen und dem Osten, der den Rhein über Ems und Weser mit der Elbe verbindet, wo der Anschluß an das ostdeutsche Wasserstraßennetz erreicht wird. Seine Überführung über die Weser bei Minden in 12 m Höhe ist eines der bedeutendsten Bauwerke seiner Art und dieses Kanals. Sie ist aber auch wie jedes Verkehrskreuz gegen Störungen besonders empfindlich.

Bei der Sprengung der beiden je 50 m langen Stromöffnungen der Kanalbrücke in den letzten Kriegstagen des Jahres 1945 wurde mit rauher Hand die obere der sich hier kreuzenden Schlagadern des Verkehrs zerrissen und gleichzeitig die untere Ader durch die herabstürzenden Eisenbetontrümmer abgequetscht. Wenn auch die Kriegsfurie ihren Streich mit Bedacht gegen dieses Herz des Wasserstraßenverkehrs gerichtet hatte, so war es doch ein Glück im Unglück, daß dabei die beiden Herzkammern (links der sogenannte Nordabstieg zur Weser mit der Schachtschleuse und rechts der Südabschnitt mit Ober- und Unterschleuse, Abb. 1) unversehrt blieben und damit die Möglichkeit zu einer Umleitung des Kanalverkehrs boten. Sobald die Weser auch nur behelfsmäßig wieder hergestellt war, konnten die Kanalkähne auf der einen Seite von der höher liegenden Kanalhaltung zur Weser absteigen, diese selbst auf einer kurzen Strecke benutzen und sich dann auf der anderen Seite wieder zur Kanalhaltung hochschleusen lassen (Abb. 2).

Aber auch dann blieb Minden noch der neuralgische Punkt im ganzen nordwestdeutschen Wasserstraßennetz. Jede Verbesserung, aber auch jede Verschlechterung an dieser Stelle wirkte sich bis in das Ruhrgebiet und bis an die Ostzone aus. Es mußten die äußersten Anstrengungen gemacht und auch ungewöhnliche Mittel angewandt werden, um die Lage zu meistern.

II. Umgehungskanal als Notverbindung für die Weser.

Zunächst mußte eine Notverbindung für die Schiffahrt zwischen den beiden abgetrennten Weserstrecken durch einen die Sperrstelle umgehenden Kanal geschaffen werden. Damit wurde zugleich der ursprüngliche Abflußquerschnitt größenmäßig annähernd wieder hergestellt sowie der Stau und die Strömung an der Sperrstelle soweit gemildert, daß man an die Trümmerräumung herangehen konnte.

Dieser noch im Herbst 1945 fertiggestellte Kanal hatte eine Länge von 700 m und einen einschiffigen Trapez-Querschnitt mit 1 : 3 geneigten Böschungen und einer Sohlenbreite von 20 m. Die Beschränkung des Querschnittes war erforderlich, um den Umfang der Erdarbeiten und die Ausführungsdauer möglichst klein zu halten, damit die ungefährliche Abführung des Hochwassers im kommenden Winter gesichert war.

Der geringe wasserführende Querschnitt des Kanals hatte jedoch den zwar von vornherein erkannten, später im Betriebe aber stärker als erwartet sich auswirkenden Nachteil, daß er der Bergschiffahrt einen erheblichen Schleppwiderstand bot, besonders unter der Brücke, wo das Profil zwischen den Pfeilern durch senkrechte Begrenzung mittels Spundwänden noch mehr hatte eingeschränkt werden müssen.

Nach Öffnung dieses Umflutkanals hatte sich der Stau in der Weser zwar von rund 1,50 m auf rund 0,40 m verringert, jedoch war die Wassergeschwindigkeit im Kanal mit 1,5 m/s bei mittleren Wasserständen noch wesentlich größer als in der Weser; sie stieg an der Brücke auf über 2,0, in Einzelfällen bis zu 2,5 m/s an. Selbst die stärksten Weserschlepper waren nicht mehr in der Lage, auch nur einen einzelnen Kahn zu Berg durch die Enge zu ziehen. Der Trossenzug bei einem mittleren Weserkahn schnellte hier auf 8—9 t hinauf und war damit etwa doppelt so groß wie in der Weser. Zur Überwindung dieser nur rund 50 m langen Strecke mußten an Land 2 Förderwinden von 220 PS aufgestellt werden.

Solche Engen bereiten auch schon im ruhenden Wasser der Schiffahrt große Schwierigkeiten. Beim Umflutkanal in Minden betrug das Verhältnis an der Brückenenge 1 : 2,5, was in Anbetracht der ohnehin schon vorhandenen Strömung (hervorgerufen durch den Trümmerstau) viel zu gering war.

Eine weitere sehr unangenehme Folge dieser Einschnürung war das Absinken des Hecks der Kähne bei der Bergfahrt um etwa 0,5 m (Abb. 3). Die Kähne nahmen dabei eine Längsneigung von 1 : 100 bis 1 : 70 ein. Obwohl das Maß der Absenkung durch Verringerung der Schleppgeschwindigkeit von 0,5 m/s in der freien Kanalstrecke auf 0,25 m/s in der Enge etwas verkleinert wurde, mußte doch die Tauchtiefe entsprechend herabgesetzt werden, um eine Grundberührung des Schiffsbodens mit der Betonsohle in der Brückenenge zu vermeiden.

III. Umleitung des Kanalverkehrs über die Weser.

Für die Schiffahrt, die etwa 7 Monate lang mit diesen Schwierigkeiten zu kämpfen hatte, bedeutete es schon eine Erleichterung, als Ende 1946 nach intensiver Taucher- und Sprengarbeit die Trümmer im Weserbett so weit beseitigt waren, daß der Verkehr wieder nach der Weser zurückverlegt werden konnte, wenn auch zunächst nur eine Fahrrinne von 20 m Breite zur Verfügung stand.

Auch später gestatteten die Gerüste für den Wiederaufbau der Brücke noch keine Erweiterung dieser engen Durchfahrt. Durch diese Gerüste und einen Fangedamm für die Trümmerbeseitigung in der linken Stromöffnung

war auch die Sicht längere Zeit hindurch erheblich behindert. Hinzu kamen Erschwernisse durch starke Strömung bei höheren Wasserständen und gelegentlich auch durch Seitenwind.

Das Befahren dieses Engpasses stellte daher hohe Anforderungen an alle Beteiligten, besonders an die Kanalschiffer, die das schwierige Fahren in strömendem Wasser nicht gewöhnt waren. Diese bekamen deshalb einen Weserlotsen an Bord und mußten sich von einem Schlepper über die Weserstrecke bringen lassen. Dadurch wurde auch das Einfädeln des viel stärkeren Kanalverkehrs in den Weserverkehr erleichtert. Die Überlagerung dieser beiden Verkehrs-Systeme zeigt Abb. 4; der Weserverkehr ist dunkler dargestellt als der Kanalverkehr.

Schleppzwang war allein schon zur Erzielung der erforderlichen Leistung bei dem Einbahnverkehr nicht zu entbehren. Ein Kanalkahn mußte bis zu 8 Schlepper nacheinander in Anspruch nehmen, um aus einem Schleppzug auf der einen Seite durch die Schleuse in den Abstieghafen zum Leichtern, dann über die Weser und durch die beiden Schleusen wieder zu einem Schleppzug auf der anderen Seite zu gelangen. Ebenfalls war eine zentrale Verkehrslenkung erforderlich. Sie wurde eingerichtet in einem Kommandoturm über der Brücke, wo der Posten die ganze Umleitungsstelle gut übersehen konnte. Nennenswerte Havarien sind in der ganzen 3jährigen Betriebszeit nicht vorgekommen.

IV. Unzureichende Fahrwassertiefen der Weser, Leichterungen.

Die größte Sorge aber bereitete die Schaffung einer ausreichenden Fahrwassertiefe auf dieser noch nicht kanalisierten Weserstrecke. Die auf dem Kanal mit voller Ladung fahrenden Kähne mußten sich in Minden den wechselnden Wasserständen des Stromes anpassen, der nur etwa bei Mittelwasser vollschiffig und dem Kanal gleichwertig ist (Abb. 2). Bei den oft lange anhaltenden niedrigen Wasserständen mußten die Kanalschiffe im Abstieghafen durch Umschlagen eines Teiles ihrer Ladung in leere Schiffe soweit leichtern, daß sie ohne Grundberührung über die Weser gelangen konnten. Je 10 cm Fehltiefe in der Weser erforderten eine Leichterung von 40—50 t bei jedem Kahn.

Die Unterschreitung der Vollschiffigkeit am Pegel Minden ist auf Abb. 5 dargestellt. Die schraffierte Fläche gibt Größe und Zeitdauer der Unterschreitung an. Im Jahre 1946 waren die Verhältnisse noch erträglich. Auf der Weser konnte die Schiffahrt auch im Sommer und Herbst noch mit 3/4 Ladung fahren.

Im Umflutkanal war jedoch die Tauchtiefe um 0,50 m geringer. Um hier die für die Wirtschaft noch tragbare Mindesttauchtiefe von 1 m bis zum Eintritt höherer Wasserstände Anfang November dauernd sicherzustellen, reichte der Inhalt der Edertalsperre nicht aus. Deshalb wurde der Zuschuß mit Unterbrechung in Form einzelner Wellen gegeben (durchschnittlich 2 in der Woche) derart, daß die in Minden auf den Wasserwuchs wartenden Kanalschiffe einen ganzen Tag lang den etwa 30 cm hohen Wellenscheitel auszunutzen und mit entsprechend geringerer Leichterung (Ersparnis rund 150 t) über die mangelhafte Strecke gebracht werden konnten.

Die durchgehende Weserschiffahrt hatte jedoch von diesem Wellenreiten keinen Nutzen, da sie ihre Reise nicht in einem Tage beenden und sich deshalb nicht auf die größere Tauchtiefe einrichten konnte. Aber auch bei der Kanalschiffahrt wurde durch das Warten auf die Wellen viel Zeit verloren und demgemäß der Kahnraum unverhältnismäßig lange gebunden.

Ferner war die Abgabe der einzelnen Wellen vom Standpunkt der Talsperrenbewirtschaftung aus gesehen sehr unwirtschaftlich. Bei einer Laufzeit von 3½ Tagen kamen die Wellen infolge der verschiedenen Einflüsse auf der rund 250 km langen Laufstrecke nicht immer zur rechten Zeit und in der gewünschten Form in Minden an (Abb. 6). Sie waren erheblich abgeflacht und auseinandergezogen, was wohl im wesentlichen darauf zurückzuführen ist, daß die Wellen zunächst teilweise das Grundwasser des Flußtales auffüllten und hinterher wieder von ihm gespeist wurden. Infolge dieser Verformung der Wellen mußte am Edersee mehr Wasser abgegeben werden, als in Minden wirksam wurde. Für jede Welle wurden etwa 5 Millionen m³ benötigt. Die Ersparnis durch den Wellenbetrieb war also nicht so groß, wie man zunächst annehmen möchte.

Aus diesen Gründen wurde im Jahre 1947 die Wellenform aufgegeben und ein gleichmäßiger Zuschuß vorgesehen, bei dem sich die Zusammenballung des Verkehrs auf einzelne Tage vermeiden und der Kahnumlauf günstiger gestalten ließ. Auf diese Weise war in Minden eine dauernde Verbesserung der Wasserstände, wenn auch von geringerer Höhe als bei dem Wellenbetrieb, möglich. In einem mittleren Trockenjahr, wie es die langfristige Wettervorhersage angekündigt hatte, konnte nach Berechnungen der Talsperreninhalt ausreichen, um in Minden 1,20 m, wahrscheinlich sogar 1,30 m Tauchtiefe zu halten bis zu dem erfahrungsgemäß Anfang November eintretenden Steigen des Wassers durch Niederschläge. Die von niemandem vorhergesehene ungewöhnliche Dürre in den Sommer- und Herbstmonaten warf jedoch alle Berechnungen über den Haufen. Der Talsperreninhalt nahm schon im Juli in erschreckendem Maße ab und drohte bei weiter anhaltender Trockenheit bereits im September zu Ende zu gehen.

V. Der Mittellandkanal als Tagesspeicher.

Um den Wasserzuschuß aus der Talsperre besser auszunutzen und dadurch ihren Wasservorrat zu strecken, wurde der Mittellandkanal mit seiner rund 140 km langen schleusenlosen Haltung zwischen der Kanalbrücke Minden und der Schleusengruppe Münster als Tagesspeicher benutzt. Mit Hilfe des zur Speisung des Kanals bestimmten Hauptpumpwerkes in Minden wurde mit billigem Strom in der Nacht bei ruhender Schiffahrt Wasser aus der Weser in den Kanal gepumpt. Es konnte dann am folgenden Tage — teils sogar unter Rückgewinnung von Tagesstrom — der Weser in Minden als Zuschußwasser wieder zugeführt werden. Maximal wurden bis zu 20 m³/s bzw. fast 290 000 m³ in 9 Std. abgegeben. Damit konnte die Tauchtiefe in Minden um rund 20 cm für wenige Stunden oder rund 10 cm für eine entsprechend längere Zeit verbessert werden (Abb. 7). Nach Beendigung des Pumpens vergingen mehrere Stunden, bis sich der unbeeinflußte Wasserspiegel der Weser wieder einstellte. Erst dann konnte mit der Abgabe von Zuschußwasser begonnen werden.

Leider war auch dieses Hilfsmittel auf die Dauer allein nicht ausreichend. So mußte die Tauchtiefe doch immer weiter herabgesetzt werden. Ende August war nicht einmal halbe Ladung mehr möglich. Für jeden großen Kanalkahn wurden schließlich 2 bis 3 kleine Leichterkähne benötigt. Das Leichtergeschäft im Abstieghafen konnte trotz angestrengtester Arbeit nicht mehr bewältigt werden. Eine völlige Verstopfung des Abstieghafens stand bevor. Darum war schnelle Hilfe dringend geboten.

Eine Vertiefung der Wesersohle auf der Umleitungsstrecke kam nicht in Frage, weil dadurch der seit langem vorhandene Gleich-

gewichtszustand der Sohle gestört worden wäre und eine vertiefte Strecke als Sandfang gewirkt und dauernde Baggerungen erfordert hätte. Baggerung und Schiffahrt konnten außerdem wegen gegenseitiger Behinderung nicht gleichzeitig betrieben werden.

Sämtliche Schwierigkeiten wären mit einem Schlage beseitigt gewesen, wenn das Wehr der Staustufe Petershagen mit seinem bis nach Minden reichenden und hier Vollschiffigkeit von 2 m gewährleistenden Stau bereits in Betrieb gewesen wäre. Leider waren die Bauarbeiten im Kriege vor Vollendung ihres letzten Drittels zum Stillstand gekommen. Im Herbst 1947 ließ sich auch eine behelfsmäßige Fertigstellung nicht mehr rechtzeitig bewerkstelligen, abgesehen von den damit verbundenen Schwierigkeiten für die Hochwasserabführung.

VI. Schwimmende Stauanlage.

In dieser äußerst ernsten Lage wurde ein Ausweg gefunden in der Errichtung einer schwimmenden Stauanlage in der Weser bei Minden unmittelbar unterhalb der Fehlstrecke. Vor diesem ungewöhnlichen und bislang noch nicht erprobten Mittel durfte man nicht zurückschrecken, wenn nicht die Kanalschiffahrt völlig zum Erliegen kommen sollte, wie es bei der durchgehenden Weserschiffahrt bereits der Fall war.

1. Aufgabe und Beschaffenheit.

Die Sperrstelle wurde so nahe, wie es der Schiffahrtbetrieb (Spitzkehre) erlaubte, an die Einmündung des Nordabstiegs herangeschoben, um mit der örtlich erreichbaren Stauhöhe eine möglichst große hydraulische Stauwirkung noch am oberen Ende der Fehlstrecke bei der Abzweigung des Südabstiegs zu erzielen.

Die Anlage mußte so beschaffen sein, daß der Stau nicht nur schnell errichtet, sondern vor allen Dingen bei plötzlichem Ansteigen der Weser auch schnell wieder beseitigt werden konnte. Damit schieden feste Einbauten aus. Nur schwimmende Sperrmittel konnten in Frage kommen. Hierfür stand glücklicherweise eine genügende Anzahl leicht beschädigter Weserkähne (mit leichten Kriegsschäden) zur Verfügung. Nur bei deren Längslage schien die Gewähr gegeben, die Schiffe auch bei der durch den Stau bedingten starken Strömung in der Gewalt zu behalten. Zur Erzielung einer ausreichenden Stauhöhe waren 5 Schiffe erforderlich. Dabei mußte die mittlere Wassergeschwindigkeit etwa 3,5 m/s erreichen.

Entscheidend für den Erfolg war nun die Frage, ob die Sohle diese außerordenlich hohe Geschwindigkeit aushalten, oder ob sich das Wasser durch Unterspülung der Schiffe einen neuen Weg suchen würde. Hier kam dem Vorhaben der Umstand zustatten, daß an der Sperrstelle fast in Sohlenhöhe Tonschiefer ansteht, der dem Neokom angehört und unter Wasser recht widerstandsfähig ist. Er wurde in dem 3½monatigen Betriebe nicht merklich angegriffen.

2. Wirkung.

Die Wirkung des Schiffsstaues zeigt Abb. 8 an einem Spiegelnivellement vom 10. 9. 1947 kurz nach Errichtung der Anlage. Der Stau betrug an den Schiffen zuerst etwa 55, später bis zu 70 cm und am oberen Ende der Fehlstrecke, bei der Abzweigung des Südabstiegs, immerhin noch rund 30 cm.

3. Anordnung.

Die Anordnung der schwimmenden Stauanlage geht aus den Abb. 9 und 10 und den Lichtbildern 11, 12 und 13 hervor. Die Landanschlüsse wurden durch buhnenartige Steinschüttungen hergestellt. Wichtig war eine ausreichende Verankerung der Schiffe, die im Laufe der Zeit mit der Steigerung der Stauhöhe immer mehr verstärkt werden mußte.

Das Anstauen erfolgte schrittweise. Zunächst wurden nur 3 Kähne eingebracht, wobei ein freier Abflußquerschnitt von rund 23 m Breite in der Mitte verblieb. Nach Einbau der beiden letzten Kähne verringerte er sich auf 5 m. Die leer eingefahrenen Kähne wurden an Ort und Stelle durch Pumpendampfer mittels Wasserballast abgesenkt. Während die ersten 3 Kähne mit soviel Übergewicht auf die Sohle abgesetzt wurden, daß sie nur bei höheren Wasserständen aufschwammen, wurden die letzten beiden schwimmend gehalten und entsprechend dem Wachsen oder Fallen des Weserzuflusses mehr oder weniger belastet.

Ein besonderer Vorteil der schwimmenden Anlage war, daß sie sich den wechselnden Wasserständen — abgesehen von großen Schwankungen — selbsttätig anpaßte, da sich die beiden mittleren Kähne mit steigendem Wasser hoben, mit fallendem senkten und so einen größeren oder kleineren Querschnitt freigaben. Es brauchte also nur wenig gepumpt zu werden. Ein weiteres Regulierungsmittel war dadurch gegeben, daß die noch freigehaltene 5 m breite Öffnung durch Schräglegen eines Kahnes nach Bedarf verringert werden konnte.

4. Öffnung für den Weserverkehr.

Solange die Wasserstände so niedrig waren, daß praktisch keine durchgehende Schiffahrt auf der Weser möglich war, konnte vom Standpunkt der Weserschiffahrt kaum etwas gegen den Stau eingewendet werden. Die Lage änderte sich aber mit der Ende November einsetzenden Besserung der Tauchtiefe. Nun konnte der Schiffahrt im Verkehr mit Bremen der Umweg über den Dortmund-Ems-Kanal und den Küsten-Kanal auf die Dauer nicht zugemutet werden. Um sowohl den Kanal- als auch den Weser-Interessenten möglichst gerecht zu werden, wurde beschlossen, den Stau für die Weserschiffahrt je nach Bedarf auf kurze Zeit — etwa 1/2 bis 1 Tag — zu öffnen. Hierzu wurden die Kähne 2 und 3 (von links gerechnet) herausgezogen und dann wieder eingefahren. Jedes dieser Manöver dauerte 1/2 bis 1 Stunde.

5. Nutzen.

Der Nutzen, den die Kanalschiffahrt von dem schwimmenden Stau gehabt hat, geht am klarsten daraus hervor, daß die bedrohlichen Stauungen vor den Leichteranlagen des Abstieghafens in wenigen Tagen verschwunden waren, ferner daraus, daß die Tauchtiefe in dieser Weserstrecke bei Minden für längere Zeit größer war als bei allen anderen Strömen Deutschlands. Während die höchste Abladetiefe sogar auf dem Niederrhein Anfang November auf 1,10 m sank, konnte in Minden dauernd mit 1,30 m und mehr gefahren werden.

Der Versuch einer zahlenmäßigen Erfassung ergibt bei einer Verringerung der Leichtermengen um 66 307 t eine Kostenersparnis für Leichterungen, Frachten und Wertminderung des Leichtergutes von 304 000 RM. Die Aufwendungen für den Stau betrugen rund 50 000 RM, so daß sich eine volkswirtschaftliche Ersparnis von rund 250 000 RM ergibt.

Nicht einwandfrei zum Ausdruck kommt darin jedoch der Nutzen infolge Verringerung des sonst benötigten Leichterraumes, der bei dem großen Mangel an Kahnraum volkswirtschaftlich sehr hoch veranschlagt werden muß, weil es dadurch möglich wurde, viele lebenswichtige Güter zu transportieren, die sonst überhaupt nicht in Umlauf hätten kommen können.

VII. Praktische Erfahrungen.

Die praktischen Erfahrungen mit dieser neuartigen Anlage haben gezeigt, daß der Verankerung besonders Aufmerksamkeit zu schenken war. Für das Festlegen der leeren Kähne genügten Schiffsanker, die jedoch wegen des felsigen Stromgrundes im Vorland eingebaut werden mußten und zwar einseitig, damit die Trossen nicht die mittlere Öffnung bei Freigabe für die Durchfahrt der Weserschiffahrt versperrten. Jeder Kahn erhielt seine besondere Verankerung. Solange die Kähne an der Sohle, besonders am Heck aufsaßen, hatten die Anker im wesentlichen nur die Seitenkräfte aufzunehmen. Nach dem Einsetzen von Regen mit entsprechendem Steigen sowohl des Fluß- wie auch des Grundwassers gaben in dem tiefliegenden rechten Vorland die Anker trotz eingebauter Querschwellen nach. Deshalb wurden längere Kanthölzer vor den Ankern eingegraben und durch vorgerammte Pfähle gesichert sowie starke Trossen um Bäume gelegt.

Bei dem Kahn am rechten Ufer traten erhebliche Seitenkräfte zusätzlich dadurch auf, daß der Landanschluß nicht am oberen Ende, sondern etwa in der Mitte des äußeren Kahnes lag (Bild 9 und 13), wo er durch Verlängerung einer dort vorhandenen Buhne zunächst in einfachster Weise hergestellt werden konnte. Je höher der Stau wurde, um so mehr wuchs die Tendenz des gestauten Oberwassers, den Kahn am Bugende vom Land abzudrücken bzw. ihn um den Buhnenkopf im Uhrzeigersinne zu drehen, denn in Höhe der Buhne lag der Wasserspiegel landseitig des Kahnes auf Oberwasser, stromseitig um fast 30 cm tiefer auf der Mitte zwischen Ober- und Unterwasser. Der Landanschluß wurde nachträglich auch hier am oberen Ende hergestellt, wie dies bei den Schiffen am linken Ufer von vornherein geschehen war (Bild 12).

Bei plötzlichem Anschwellen der Weser konnte die starke Querschnittsverbauung zu einer unzulässigen Beanspruchung der Anlage mit Abtreiben und Sinken von Schiffen in der Fahrrinne führen. Deshalb waren Vorkehrungen für eine schnelle Auflösung notwendig durch Bereitstellung von Schleppern, eines Pumpendampfers und einer tragbaren Benzinpumpe an Bord zur Regelung des Wasserballastes.

Der Wasserballast ließ sich zwar bequem ein- und auspumpen, hatte aber den Nachteil der großen Beweglichkeit, besonders bei Kähnen ohne Schotten, wo die wandernde Last zu Schräglagen führte. Deshalb wurde später eine Grundlast von etwa 1/5 der Gesamtlast als fester Ballast in Form von Kies eingebracht.

Abgesehen von diesen Erscheinungen hat sich der schwimmende Stau bestens bewährt. Ob dieses in Minden aus einer Zwangslage heraus geborene Verfahren auch an anderer Stelle — gegebenenfalls in Form der Staffelung — Verwendung finden kann, hängt ganz von den örtlichen Verhältnissen ab.

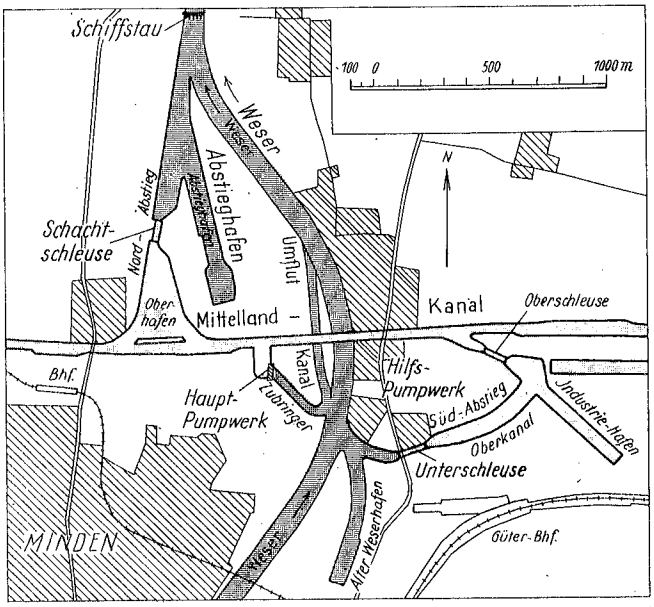


Abb. 1. Das Wasserstraßenkreuz bei Minden; Übersichtsplan.

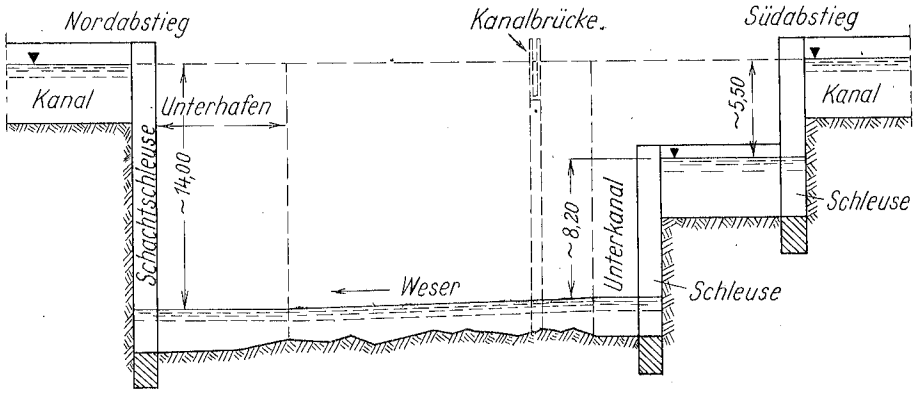


Abb. 2. Notverbindung über die Weser zwischen West- und Ostteil des Kanals.

Abb. 3 + 4

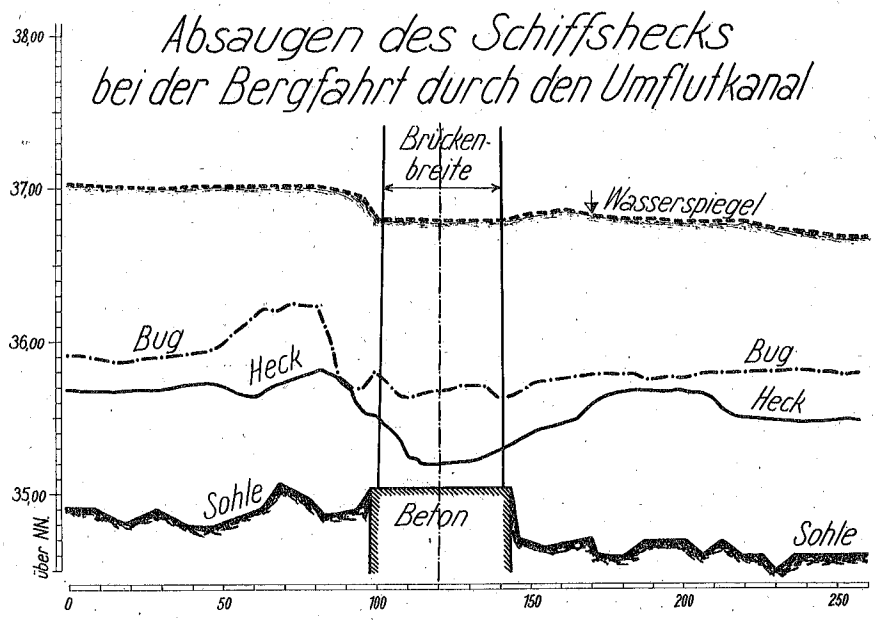


Abb. 3. Absaugen des Schiffsbodens im Umflutkanal.

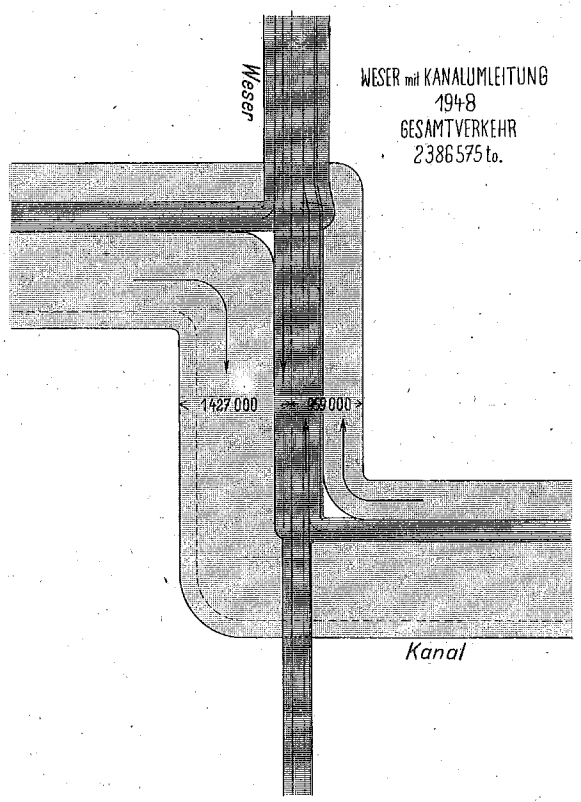


Abb. 4. Überlagerung des Weserverkehrs durch den Kanalverkehr.

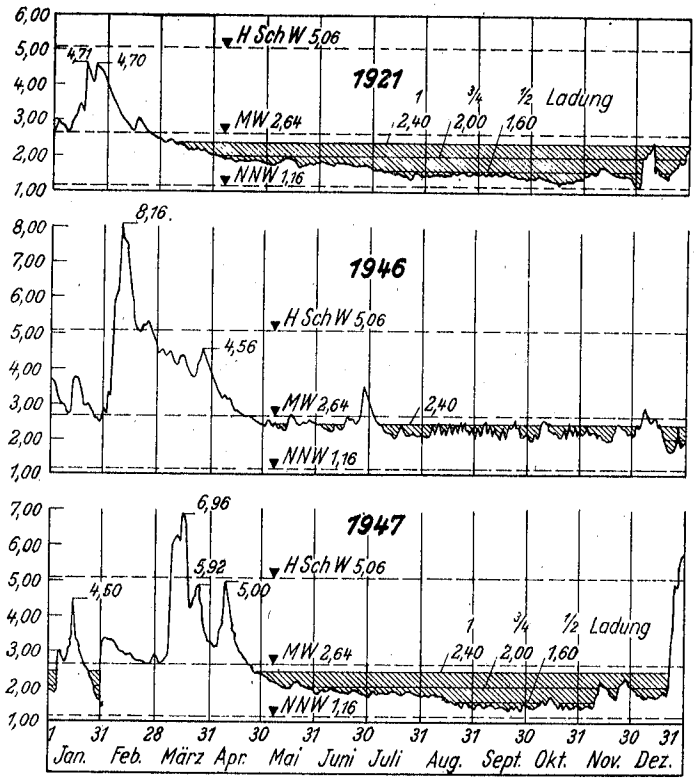


Abb. 5. Unterschreitung der Vollschiffigkeit der Weser in Minden.

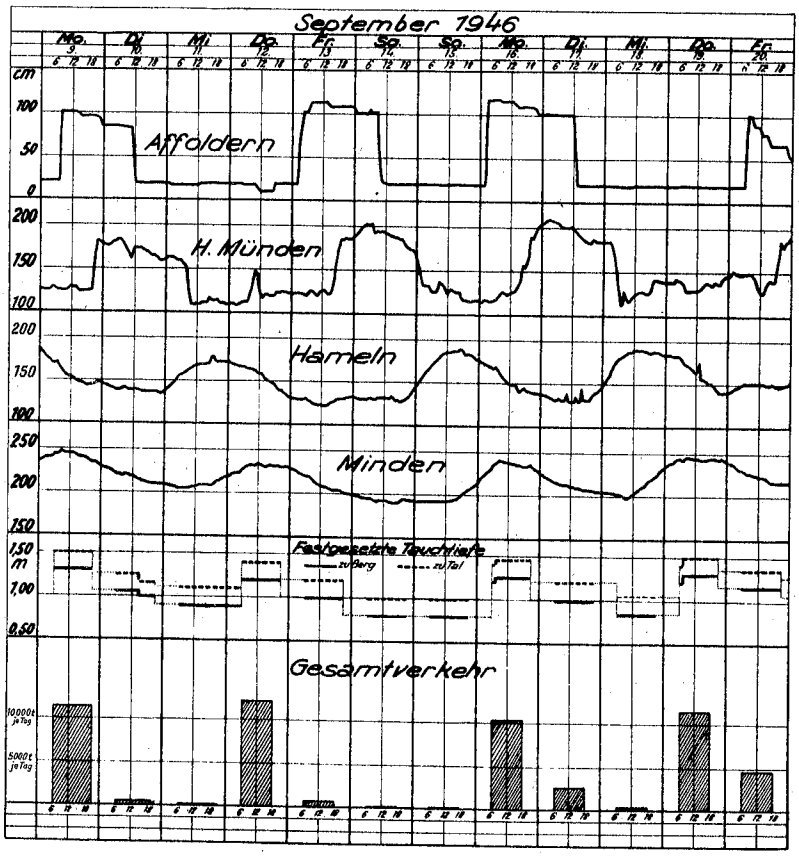


Abb. 6. Verformung der Zuschußwellen auf dem Wege vom Edersee bis Minden.

Abb. 7 + 8

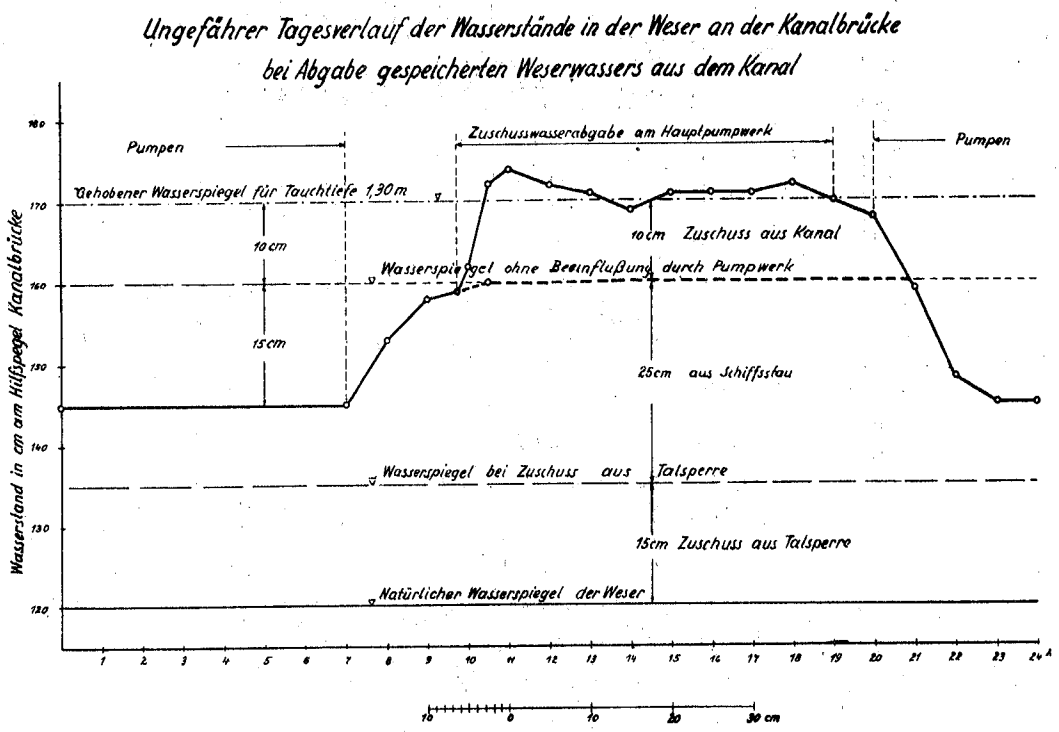


Abb. 7
Speicherung von Weserwasser im Mittellandkanal und Wiederabgabe als Zuschuß.

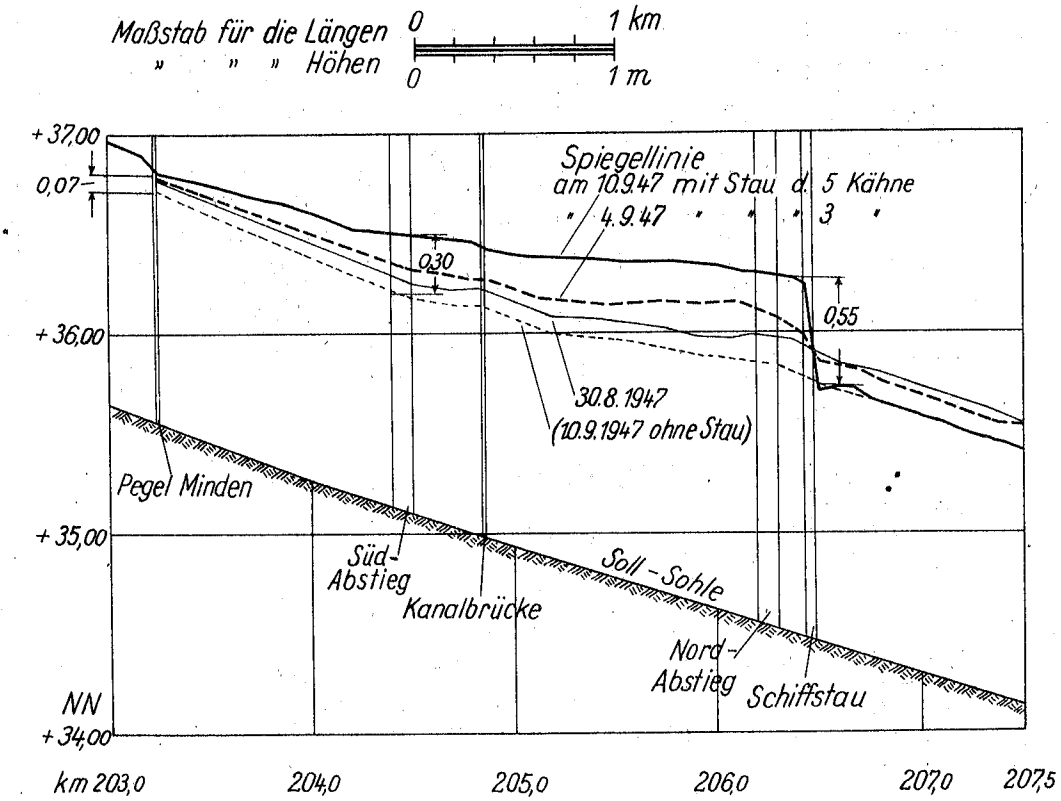


Abb. 8. Die Stauwirkung der schwimmenden Anlage.

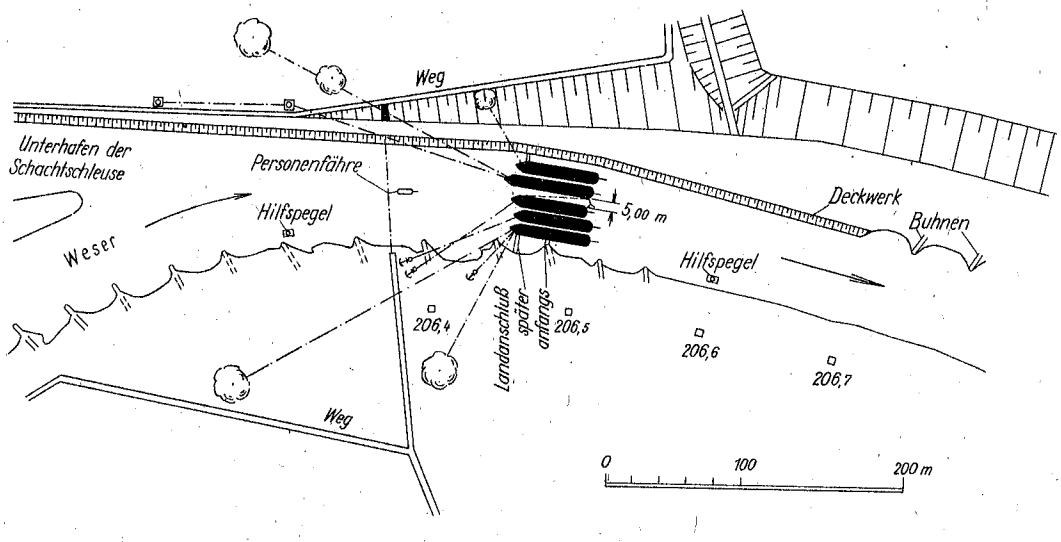


Abb. 9. Lageplan der schwimmenden Anlage.

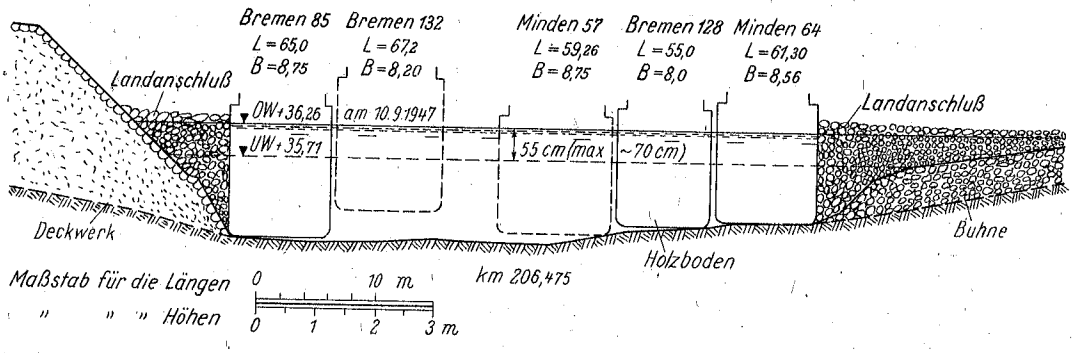


Abb. 10. Querschnitt der schwimmenden Anlage (5fach überhöht).

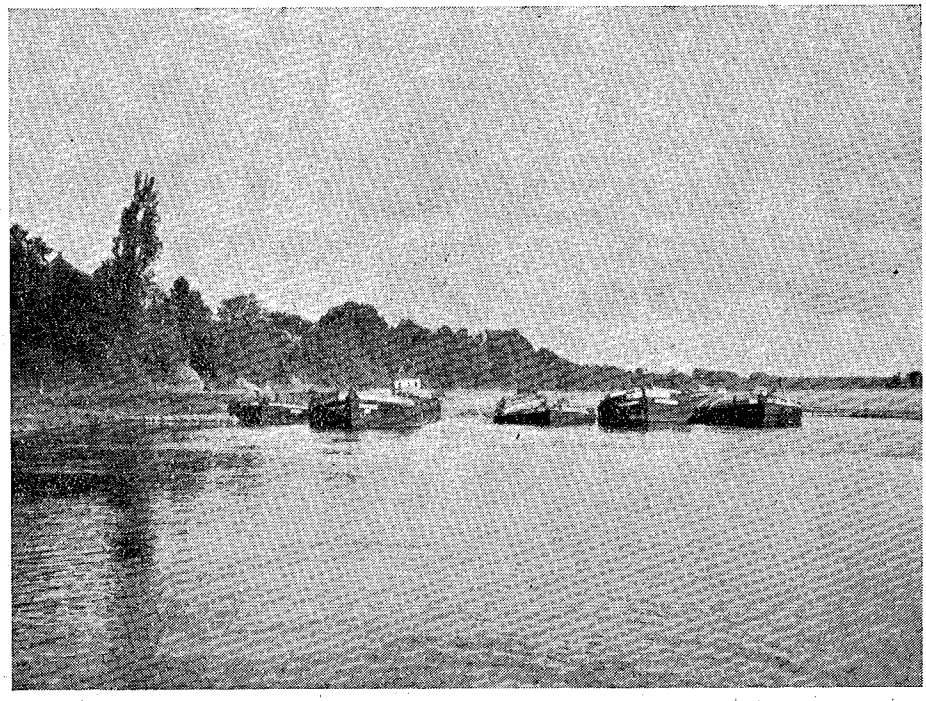


Abb. 11
Blick von Strommitte abwärts auf die verankerten Kähne.

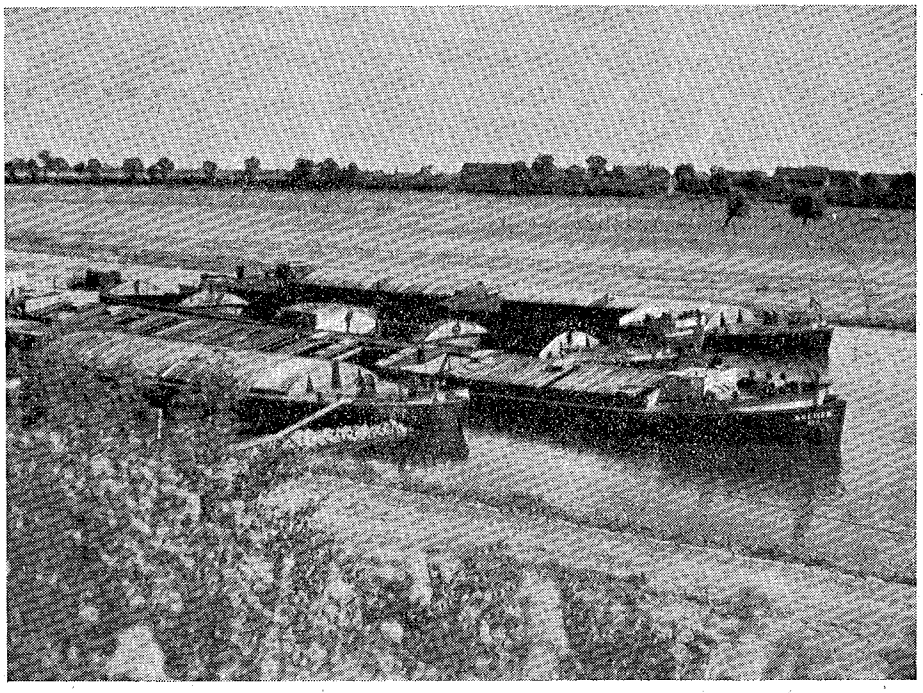


Abb. 12
Blick auf die Stauanlage vom linken Hochufer stromabwärts.
Landanschluß beim linken Kahn am Bug.

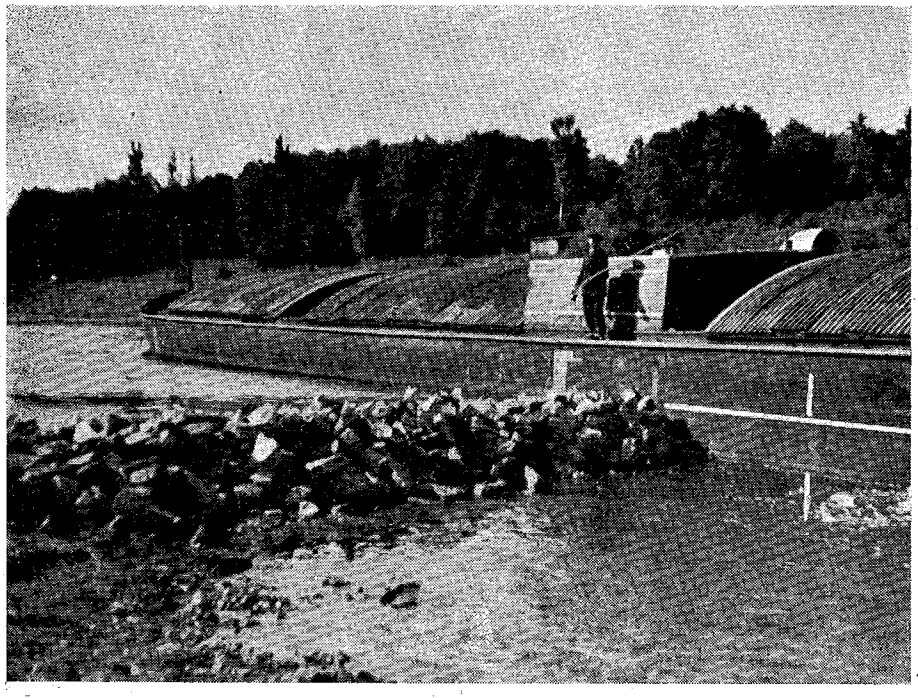


Abb. 13

Landanschluß am rechten Ufer in Kahnmitte, stromauf gesehen; Stauwirkung durch weiße Striche kenntlich gemacht.

3

Maßnahmen schiff- und maschinenbautechnischer Art zur Beschleunigung des Verkehrs auf den Binnenwasserstraßen

Von L. Schulze, Ober-Reg.- und Baurat a. D. in Varel (Oldenburg)

Aufgabe der vorliegenden Abhandlung ist die Erörterung von Maßnahmen schiffbautechnischer und maschinenbautechnischer Art, mit denen eine Beschleunigung erreicht werden kann, zu denen aber solche in den Häfen und an den Verkehrseinrichtungen nicht gehören sollen.

I. Was bedeutet Beschleunigung?

Beschleunigung bedeutet hier also Erhöhung der Reisegeschwindigkeit der Güterschiffe, die ihrerseits einmal durch ihre erreichbare Geschwindigkeit auf freier Strecke, zum andern durch die Zeitverluste infolge von Begegnungen mit anderen Schiffen und von Überholungen langsamer fahrender und damit durch die Verkehrsdichte bedingt ist. Die ebengenannten Zeitverluste sind nur auf Kanälen von Bedeutung, sie spielen auf den freien Strömen kaum eine Rolle.

Die Verkehrsdichte ist als unabänderlich zu betrachten, soweit nicht etwa durch Umlegung eines Teiles des Verkehrs auf andere Wasserstraßen eine Auflockerung und damit eine Verminderung der Zeitverluste erreicht werden können. Veränderlicher Wert bleibt die Geschwindigkeit auf freier Strecke wie beim Begegnen und Überholen.

Die Größe der möglichen Streckengeschwindigkeit des einzelnen Schiffes ist nun in erster Linie abhängig von seinem eigenen Widerstand im Wasser, der zu seiner Überwindung eine entsprechende Antriebsleistung voraussetzt, sei es geschleppt oder selbstfahrend. Daneben ist vornehmlich auf Kanälen die Steuerfähigkeit und das besonders bei Überholungen zu beachten.

Widerstand und Steuerfähigkeit sind von dem wasserführenden Querschnitt der befahrenen Wasserstraße beeinflußt, d. h. von ihrer Breite, Tiefe und Profilausbildung. Mit zunehmenden Werten für diese nimmt der Widerstand ab, die Steuerfähigkeit zu; das letztere gilt auch für den Wirkungsgrad der Antriebe, wenn von der Treidelei vom Ufer aus abgesehen wird. Der Widerstand im Wasser wächst ferner in erheblich stärkerem Maße als die Geschwindigkeit.

Dieses Verhalten des Widerstandes hat zur Folge, daß auf Kanälen mit ihren im Vergleich zu den Strömen kleinen Querschnitten im allgemeinen nur niedrige Fahrgeschwindigkeiten erreicht und durch die Schiffahrts-Polizeiverordnung aus mehrfachen Gründen auch nur zugelassen werden. Neben der Vermeidung von Havarien sind dies Beschädigungen des Kanal-

bettes durch den Schraubenstrahl der Antriebe — Seitenräder sind der Breite wegen auf Kanälen kaum möglich, Heckräder nur selten anzutreffen — sowie der Böschungen durch Wellenschlag, die verhütet werden sollen.

Derartige Beschränkungen fallen auf den breiten Strömen bis auf Fahrwasserengen und schwierige Stellen fort. Auf ihnen wird also von vornherein schneller gefahren werden als auf den Kanälen.

Für die Überlegung, was sich praktisch an Geschwindigkeitssteigerung erreichen läßt, wird die Verteilung des Wasserstraßennetzes eines Landes auf freie Ströme und auf Kanäle von ausschlaggebender Bedeutung sein. Im allgemeinen darf wohl angenommen werden, daß die Wirtschaft auf den ersteren sich bereits einen ihren Bedürfnissen entsprechenden schnellen Verkehr unter Entwicklung geeigneter Schiffstypen aufgebaut hat. Hier sind gewisse Verbesserungen, sei es in der Schiffsform, sei es im Antrieb, wohl noch möglich, aber kaum mit durchgreifendem Erfolge.

Sind Kanäle in größerem Umfange vorhanden, so kann eine geringe Erhöhung der Reisegeschwindigkeit bereits wesentliche Zeitersparnis bringen. Wird z. B. ein 320 km langer Kanal mit 5,5 km/h anstatt 4,0 km/h durchfahren, so werden nur 58 Fahrstunden anstatt 80 benötigt, also 2 Tage gespart, so daß sich eine sorgfältige Nachprüfung lohnt. Auf einem gleichen langen Strom mit 4,0 km/h Eigengeschwindigkeit bedeutet eine Beschleunigung von etwa 12 auf 14 km/h dagegen nur 5 Stunden Zeitersparnis, im Mittel von Berg- und Talfahrt gerechnet.

II. Schiffbautechnische Maßnahmen.

1a) Modellversuche für die mitteldeutschen Wasserstraßen.

In Deutschland ist der erste Schritt in dieser Hinsicht bereits 1929 durch Modellversuche gemacht, welche die Verwaltung der Märkischen Wasserstraßen in der ehemaligen Hamburgischen Schiffsbauversuchsanstalt anstellen ließ, um für die mitteldeutschen Ströme und Kanäle die günstigsten Formen eines Schleppkahnes nach dem Groß-Plauer-Maß (67×8,2 m) mit 1,75 m Tiefgang zu finden. Dieser Typ, in Fachkreisen unter dem Namen „Amanda-Form" bekannt, hat sich dann ganz allgemein auch im Westen für die kanalgängigen Güterschiffe durchgesetzt. Er zeichnet sich durch gut abgerundete Kimmkanten im scharf gehaltenen Vor- und Hinterschiff, besonders im letzteren aus. Die Seitenkimmen sind gleichfalls abgerundet, und zwar nach einem Radius von 50 mm. Bei 2 m Abladung besitzt das Schiff einen Völligkeitsgrad von 0,875 und trägt als Schleppkahn etwa 750 t Ladung. Skizzenhaft dargestellte Spantenrisse der Amanda-Form sind unter Abschnitt „Sonderversuche des Zentralvereins" wiedergegeben.

1b) Modellversuche für den Mittellandkanal.

Erschöpfende Untersuchungen für den Mittellandkanal sind dann in den Jahren 1935—38 im Auftrage des ehemaligen Reichsverkehrsministeriums vom Reichsschleppbetrieb gleichfalls in der HSVA durchgeführt. Anschließend hatten der Zentralverein für deutsche Binnenschiffahrt sowie die Reichswerke A.-G. für Erzbergbau und Eisenhütten noch eigene Versuche mit verbesserten Binnenschiffstypen vornehmen lassen.

Auf die Ergebnisse der ersteren Versuche sei kurz eingegangen; sie zeigen am besten, welche Maßnahmen schiffbau- und maschinenbautechnischer Art für eine Beschleunigung des Verkehrs notwendig waren bzw. noch durchzuführen wären.

Der Mittellandkanal besteht aus dem älteren schleusenfreien Ems-Weser-Hannover-Kanal von Bergeshövede bis Hannover mit rund 170 km Länge und dem sich anschließenden neueren Hannover-Elbe-Kanal von 150 km Länge mit zwei Schleppzugschleusen. Der Normalquerschnitt des ersteren Teiles ist vor einigen Jahren durch Anspannen des Wasserspiegels um 0,4 m auf 3,5 m Wassertiefe, rund 33 m Breite im Spiegel und 81,5 m² Querschnitt gebracht. Der zweite Teil des Kanals von Hannover bis zur Elbe hat im Abtrag 94 m², im Auftrag 104—106 m² Querschnitt, ist also ein gut Teil größer. Nach Ausbau des Südteiles des Dortmund-Ems-Kanals bis Bergeshövede auf rund 100 m² Querschnitt und 3,5 m Tiefe wurde die Strecke Bergeshövede/Hannover der engste Teil der Gesamtstrecke vom Rhein bis Berlin und zwar deshalb mit 170 km Länge maßgebend für Untersuchungen, die für eine Beschleunigung der Schiffahrt angestellt werden sollten.

Die Fahrgeschwindigkeit auf dieser Strecke war durch die früheren Strom- und Schiffahrts-Polizeianordnungen auf 4,5 km/h für Schleppzüge beschränkt, allerdings für eine Wassertiefe von nur 3,1 m. Dagegen waren für Selbstfahrer bereits 7,0 km/h zugelassen. Es galt festzustellen, welche Fahrgeschwindigkeiten nach Ausbau auf 3,5 m Tiefe möglich sein würden.

Für die Modellversuche wurde nicht nur das 1929 entwickelte „Bestschiff" eingesetzt, sondern auch eine Reihe anderer, schwerer schleppender Schiffstypen, weil diese im Kanalverkehr sehr zahlreich vorkommen und damit schließlich für die Steigerung der Fahrgeschwindigkeit ausschlaggebend waren.

2a) Widerstandsmessungen an Kähnen.

Die nachstehende Liste I gibt die Hauptwerte der Widerstandsmessungen an. Sie gelten für Einzelfahrt in Kanalmitte und erhöhen sich im Schleppzug gleichmäßig für alle Anhänge um 10—11 v. H. hinter Schleppern mit einer Schraube, dagegen nur um rund 5—6 v. H. hinter Doppelschraubern, weil bei diesen der Schraubenstrahl weniger abbremst. Durch die Anspannung des Wasserspiegels von 0,4 m und die damit verbundene Vergrößerung des Wasserquerschnittes von 68,6 m² auf 81,5 m² wurden im übrigen die Kahnwiderstände etwa auf die Hälfte ermäßigt, ein zwingender Beweis, wie notwendig möglichst große Querschnitte für Kanäle sind.

Der Eigenwiderstand der Schlepper war für die im Kanal möglichen Geschwindigkeiten so niedrig, daß er vernachlässigt werden kann.

Liste I

Widerstandsmessungen an Schleppkähnen in Einzelfahrt im Kanal mit 3,5 m Wassertiefe

Kahntype	L	B	T	V	δ	Ladung	Widerstand für v = 5	6	6,5	7	km/h 8*)
	m	m	m	m³		t	t	t	t	t	t
A	67	8,2	2	960	0,875	750	0,68	1,05	1,35	1,62	2,60
B	80	9	2	1220	0,848	1000	0,75	1,19	1,50	1,91	3,30
C	67	8,16	2	960	0,877	750	0,73	1,16	1,44	1,78	2,80
D	55	8	2	827	0,940	650	1,16	1,75	2,13	2,65	5,20
D umgebaut	55	8	2	826,7	0,938	650	—	—	1,93	2,40	—
E	55	8	2	783	0,889	610	—	—	1,56	1,90	—
E umgebaut	55	8	2	778	0,885	605	—	—	1,10	1,35	—
F	55,75	8,93	2	775	0,779	620	0,59	0,90	1,12	1,40	2,20

*) Die Werte für v = 8 km/h sind nur angenähert und anderen Versuchen entnommen.

Die Kähne A und B sind nach dem Muster des Bestkahnes — Amanda — aus 1929 geformt, Kahn A hat die alten Kanalmaße, Kahn B ist der seit 1940 zugelassene 1000-t-Kahn für den Verkehr über den Mittellandkanal. Kahn C stellt einen Kanalkahn älteren Typs dar, D einen Elbkahn alter Bauweise mit sehr plumpen Formen und Holzboden, E gleichfalls einen älteren Elbkahn verbesserter Form und F endlich einen Weser-Kahn. Wie weiter unten ausgeführt wird, läßt sich durch Abrundungen der Kimmkanten im Vor- und Hinterschiff bei den Elbkähnen mit ganz geringen Verlusten eine wesentliche Verminderung des Widerstandes erreichen, der mit eingetragen ist. Die Weser-Kähne besitzen zwar gut geformte Vor- und Hinterschiffe, aber an den Seiten noch eckige Kimmen, die für die Fahrt im Strom auf der Weser für notwendig gehalten werden. Des knappen Raumes wegen ist davon abgesehen, spezifische Widerstände, bezogen auf 1 Ladungstonne, anzugeben, die für die wirtschaftliche Beurteilung wertvoll wären.

Zum Vergleich sind noch in der Liste II für die Kähne A und B aus den Versuchen des Zentralvereins übernommene Modellmeßwerte auf einem breiten Strom mit etwa 4,0 m Wassertiefe aufgeführt, aus denen die starke Abhängigkeit der Widerstände vom Wasserquerschnitt klar zu ersehen ist. Werte von anderen Kahntypen liegen nicht vor.

Liste II

Widerstandsmessungen an Schleppkähnen auf einem Strom mit 4,0 m Wassertiefe in Einzelfahrt

Kahntype	L	B	T	δ	Widerstände für v = 8	10	12	14 km/h
	m	m	m		t	t	t	t
A	67	8,2	2	0,88	0,79	1,25	1,88	2,93
B	80	9,0	2	0,87	0,95	1,47	2,14	3,12

Aus den vorstehenden Angaben lassen sich nun für die verschiedenen Zusammenstellungen die für die einzelnen Geschwindigkeitsstufen benötigten Trossenzüge errechnen, wobei zweckmäßig von der Füllung der Schleppzugschleusen im Kanalgebiet ausgegangen wird. Mit 225 m Nutzlänge bei 12 m Weite fassen die Schleusen des Mittellandkanals 3 Kähne von je 67 m Länge, wobei für etwas Spielraum zwischen den einzelnen Schiffen und für den Schlepper 24 m verbleiben. Von den großen 1000-t-Kähnen gehen nur 2 in die Schleuse. Die Ladung beträgt in beiden Fällen um 2000 t.

2b) Widerstandsmessungen an Schleppzügen.

Die Zugleistung, die ein Zweischraubenschlepper in den verschiedenen Geschwindigkeitsstufen aufzubringen hätte, zeigt die Liste III.

Liste III

Widerstände von Schleppzügen im Kanal hinter Doppelschraubenschleppern

Nr.	Kähne	Widerstände in t für v = 5	6	6,5	7	8 km/h	v in km/h mit 250	300 WPS
1	3 × A	2,14	3,31	4,25	5,10	8,2	6,52	6,8
2	2 × B	1,58	2,50	3,15	4,01	6,9	7,0	7,25
3	C+D+F	2,50	4,00	4,93	6,12	10,7	6,16	6,45
4	3 × C	2,30	3,65	4,54	5,61	8,8	6,34	6,60
5	3 × D	3,65	5,51	6,61	8,35	16,4	5,25	5,80
6	3 × E	—	—	4,91	5,99	—	6,18	6,45
7	3 × E umgebaut	—	—	3,47	4,25	—	6,90	7,15

3a) Grenzgeschwindigkeiten.

Vor den weiteren Überlegungen sei an dieser Stelle kurz auf die Grenzgeschwindigkeit für Schleppzüge eingegangen. Nach einem Aufsatz von Kempf und Helm in der 159. Mitteilung der Hamburgischen Schiffbau-Versuchsanstalt wird die technische Grenze für die Steigerung der Geschwindigkeit hydraulisch bestimmt durch den von der Stauwelle vergrößerten Kahnwiderstand. Die Stauwellengeschwindigkeit beträgt nach der genannten Quelle für den 3,5 m tiefen Kanal 13,85 km/h, für Ströme mit gleichfalls 3,5 m Wassertiefe dagegen 21 km/h.

Der Widerstand wird durch die Stauwelle bereits um 30 v. H. und mehr gesteigert, wenn die Fahrgeschwindigkeit 60 v. H. der Stauwellengeschwindigkeit erreicht. Bei 80 v. H. wächst der Widerstand auf das Doppelte an. Deswegen geht man mit der Geschwindigkeit für Schleppzüge auf Flüssen im allgemeinen höchstens auf 60 v. H. der Stauwellengeschwindigkeit, d. h. bei 3,5 m Wassertiefe auf 12,5 km/h. Im Kanal liegt die Grenze bei etwa 55 v. H., also 7,6 km/h, was durch das starke Ansteigen der Widerstandswerte von 7 auf 8 km/h nach Liste I durchaus bestätigt wird.

3b) Trossenzüge des neuen Normalschleppers.

Angestrebt war eine Gleichsetzung der Schleppzugsgeschwindigkeit mit derjenigen der Selbstfahrer, also auf 7,0 km/h. Andererseits erschien eine Antriebsleistung von 250 WPS mit Rücksicht auf den Sohlenangriff wie auf Abmessungen und Kosten als Grenzwert für einen neuzuschaffenden Schlepperpark. Die damit gemessenen Trossenzüge gibt die Liste IV an, wobei, wie oben bereits angegeben, Doppelschrauber mit Kort-Düsen zugrunde gelegt sind. Auf die Bedeutung der Kort-Düsen wird weiter unten eingegangen. Die miteingetragenen Werte für 300 WPS gelten für voll ausgefahrene Maschinen. Für die Grenzgeschwindigkeit von 7,6 km/h würde der Schleppzug Nr. 3 als Antriebsleistung 500 PS verlangen. Die älteren Schlepper mit 150—175 PS erreichten nur Trossenzüge von 2,5—2,75 t für v = 4,5 km/h und können damit den gleichen Schleppzug nur mit etwas über 5 km/h in dem auf 3,5 m Wassertiefe angespannten Kanal fahren.

Liste IV

Trossenzüge eines Doppelschraubenschleppers

WPS	Z in t für v = 5	6	6,5	7 km/h
250	4,60	4,35	4,21	4,08
300	5,45	5,05	4,80	4,68

Trägt man nun die Widerstandsdaten der Liste III in Kurven auf und legt die Trossenzugkurven nach Liste IV darüber, so lassen sich daraus die jeweils erreichbaren Geschwindigkeiten ablesen. Die Ergebnisse von Fahrversuchen mit einigen Schleppzügen im Modell stimmten mit den so ermittelten Werte überein. Änderungen in der Reihenfolge der Kähne ergaben nur geringe Abweichungen in den Geschwindigkeiten.

Die Kähne hatten dabei in Übereinstimmung mit dem auf dem Mittellandkanal Üblichen einen Abstand von 60 m. Für die Trossenlänge zwischen Schlepper und dem ersten Kahn waren nach besonderen Modellversuchen 90—100 m die besten Werte.

3c) Erreichbare Geschwindigkeiten.

Die mit 250 und 300 WPS erreichbaren Geschwindigkeiten sind in den beiden letzten Spalten der Liste III eingetragen. Es zeigte sich, daß das

angestrebte Ziel nur mit 2 der neuen 1000-t-Kähne und 3 umgebauten schlanken Elbkähnen zu erreichen ist. Der als Normalzug angesprochene Schleppzug Nr. 3 aus einem älteren Kanalkahn, einem plumpen Elbkahn und einem leicht schleppenden Weser-Kahn fährt nur 6,2 km/h, ein Zug aus 3 älteren Kanalkähnen nur etwas über 6,3, ein Schleppzug aus 3 neuen Kanalkähnen der Type A endlich nur 6,5 km/h. Volle Ausnutzung der eingebauten Maschine würde auch für die 3 A-Kähne rund 7,0 km/h erbringen, für den Normalzug 6,5 km/h, ist aber zur Schonung der Maschine nur vorübergehend zulässig.

Der praktische Betrieb auf dem Kanal hat inzwischen den Beweis erbracht, daß im allegmeinen mit rund 2000 t Ladung im Anhang 6,5 km/h gefahren werden können. Eine Ausnahme bilden nur Schleppzüge mit den nicht allzu häufigen alten Elbkähnen. Schließlich waren die 6,5 km/h gegenüber den früheren 4,5 km/h auch im Interesse der großen Selbstfahrer eine ausreichende Beschleunigung, zumal in den größeren Kanalquerschnitten des Hannover-Elbe-Kanals mit den gleichen Antriebsleistungen im Mittel 0,5 km/h mehr an Geschwindigkeit erreicht wird.

4. Sonderversuche des Zentralvereins und der Reichswerke.

Der Zentralverein wie die Reichswerke haben sodann in ihren anschließenden Modellversuchen noch kleine Verbesserungen der Amandaform erreicht. Während die Reichswerke die günstigste, d. h. tragfähigste Form eines 1000-t-Kahnes lediglich für die Kanalfahrt suchten und mit 0,90 Völligkeit fanden, wollte der Zentralverein die auch wirtschaftlich beste Form für Kanal und Strom erreichen und dehnte seine Versuche außerdem noch auf andere Kahntypen aus, von denen der 750-t-Kahn für die vorliegende Abhandlung am meisten Bedeutung hat.

Kanal und Strom stellen infolge ihrer verschiedenen Fahrgeschwindigkeit auch verschiedene Anforderungen. Zur Erläuterung seien hierunter skizzenhafte Spantenrisse des 1000-t-Kahnes einmal für reine Kanalfahrt (Modell a) und zum anderen für Strom und Kanal (Modell b), beide in der Amandaform, wiedergegeben. Die letztere stellt die für die Ausführung bestimmte Form dar.

Verdrängung und Völligkeit sind mit 1222 m³ auf Spanten bzw. 0,87 bei beiden Modellen gleich. Bei dem ersten liegt der Verdrängungsschwerpunkt 1,75 v. H. vor Mitte Schiff, die Spanten im Vorschiff stehen steil nach dem Muster der reinen Amanda-Form, nach der auch das Heck ausgebildet ist. Für Flußfahrt waren aber etwas schärfere Linien im Vorschiff erwünscht, was gleichbedeutend mit einer Verlagerung des Verdrängungsschwerpunktes nach hinten war. Dabei wäre aber die Vorschiffsdeckfläche zu klein geworden. So mußte das Vorschiff doch wieder völliger vorkonstruiert werden, wobei statt der senkrechten Vorschiffsspanten V-förmige gewählt wurden und die Hinterschiffsspanten noch etwas verfeinert werden konnten. Der Verdrängungsschwerpunkt rückte sogar auf 1,85 v. H. vor Mitte Schiff. Die Widerstände dieses neuen Regelschiffes weichen nur unwesentlich von denen des Kahnes B in Liste I ab. Modell a wäre um 10 v. H. besser gewesen. Den Ausschlag gab aber die Überlegenheit von Modell b in der Stromfahrt.

Zur Vorschiffsform ist noch zu bemerken, daß die Spanten um so stärker V-förmig werden müssen, je höher die verlangte Schleppgeschwindigkeit liegt, wenn die Völligkeit groß gehalten werden soll. Bei scharf gebauten Schiffen unter $\delta = 0{,}8$ ist wieder der steile Amanda-Vorschiffsspant günstiger. Beide Formen müssen u. U. S-förmig gestaltet werden, wenn die Decksfläche

dies verlangt. Bei der Typisierung des 67-m-Kahnes lag dem Zentralverein gleichfalls daran, eine Schiffsform zu finden, die für Strom und Kanal gleich günstig wäre und einen späteren Umbau des Kahnes zum Selbstfahrer leicht ermöglichen sollte. Der wirtschaftliche Bestwert war gleichfalls zu berücksichtigen. Das führte zu einem Modell mit 87,8 v. H. Völligkeit, 931 m³ Verdrängung auf Spanten und Lage des Verdrängungsschwerpunktes 1,3 v. H. vor Mitte Schiff. Die Vorschiffsspanten wurden leicht V-förmig gehalten.

Im Kanal liegen die Widerstände im Schleppzug etwa in Höhe der Liste I für Kahn A angegebenen Werte. Die Form hätte sich wieder mit steilen Vorschiffsspanten um 10 v. H. verbessern lassen, wozu diese im Überwasserschiff S-förmig nach außen abgebogen werden müßten.

Für Flußfahrt auf geringen Wassertiefen (Elbe) liegt die wirtschaftliche Völligkeit höher, zwischen 0,90 und 0,92 v. H. Die Entwicklung eines Spezialtyps für diese Zwecke war aber nicht abgeschlossen. Versuche ergaben ferner, daß der Übergang vom Vor- bzw. Hinterschiff zum Mittelschiff mit Rücksicht auf gute Laderäume und billigere Baukosten an Schleppkähnen für normale Schleppgeschwindigkeiten ziemlich hart ausgebildet werden kann, bei Selbstfahrern ist aber ein weicher Übergang grundsätzlich erwünscht.

5. Verbesserung alter Kahntypen.

Die Ergebnisse aller Versuche unterstreichen die Notwendigkeit, für alle Kahnbauten nur die Bestform zu nehmen. Vorschläge zur Verbesserung der zu schweren älteren Elbkähne durch Umbau, die der RSB in seinen Modellversuchen gemacht hatte, konnten damals nicht verwirklicht werden und haben z. Z. noch weniger Aussicht. Mit sehr geringen Verlusten an Verdrängung (vgl. Liste I) würde sich der Widerstand der Kähne D und E wesentlich herabsetzen lassen, für E sogar um rund 30 v. H. Die Vorschläge sahen vor, die Spantfüße im Vor- und Hinterschiff gut abzurunden. Theodor Hitzler-Hamburg machte den noch weitergehenden Vorschlag, auch den Holzboden durch einen eisernen zu ersetzen und bei der Gelegenheit die Seitenkimmen abzurunden. Holzböden, die sich bei alten Schiffen oft durchgebogen haben und stark bewachsen sind, können den Widerstand ungeheuer vermehren und beeinträchtigen obendrein die Steuerfähigkeit.

6. Selbstfahrer im Kanal.

Für Selbstfahrer ergaben Modellversuche, daß sie mit ihrem Antriebsleistungen unschwer die im Kanal möglichen Fahrgeschwindigkeiten halten können. Im Wirkungsgrad waren die Düsen- und Tunnelschrauben der freien Schraube erheblich überlegen. Ein Selbstfahrer der Größe 67×8,16×2 m mit nur 910,6 m³ Verdrängung, also sehr guten Linien, benötigte für 7 km/h als Düsenschiff nur 113 WPS, als Tunnelschiff dagegen 150 WPS! Der Typ eines motorisierten Kahnes 67×8,16×2 m in der Bauart des Kahnes C mit abgeschirmter Schraube verbrauchte sogar 300 WPS. Der Schraubendurchmesser betrug in allen Versuchen 1,0 m.

7. Wühlwirkung der Schraube.

Umfangreiche Versuche befaßten sich sodann mit der Wühlwirkung der Schraube, wobei davon ausgegangen wurde, daß die Einwirkungen der damals vorhandenen Schlepper von 150—175 PS-Leistung in dem nicht ausgebauten, nur 3,1 m tiefen Kanal als zulässig anzusehen wären. Zunächst stellte sich bei den Modellen der neuen Schlepper heraus, daß die Düsen dadurch, daß sie den Schraubenstrahl zusammengefaßt und infolge der Heck-

form etwas nach unten gerichtet austreten lassen, den Sohlenangriff erheblich verstärken. Erst durch Anbringung von Leitflächen zur Ablenkung des Schraubenstrahles nach oben konnte eine Wühlwertigkeit von sogar nur 81 v. H. erzielt werden, wenn diejenige der alten Schlepper im alten Kanal = 100 v. H. gesetzt wird. Hinsichtlich des Wühlens wäre es danach doch wohl möglich gewesen, mit der Dauerleistung auf 300 WPS zu gehen. Die Konstruktion der Kort-Düsen darf als bekannt vorausgesetzt werden. Sie haben im vorliegenden Fall beim Doppelschrauber 1800 mm ⌀ für 1750 mm Schraubendurchmesser erhalten. Als Leitflächen zum Wühlschutz sind unten eine um 5° angestellte Sohlenplatte am Düsenaustritt mit einer Länge von 400 mm, dicht unter Mitte Schraube und kurz hinter derselben eine gleich breite und gleich geneigte Tragflügelfläche in den Düsen und oben in Verlängerung der Düsenscheitel noch eine Abstromplatte von 600 mm Länge angebracht. Der Wirkungsgrad der Schraube geht dadurch nur um wenige v. H. zurück.

Die Wühlversuche wurden mit ziemlich günstigen Ergebnissen zunächst in Fahrt ausgeführt, wozu der Beton in der Versuchsrinne auf eine ausreichende Länge durch feinen Elbsand ersetzt wurde. Von größerer Wichtigkeit waren aber die anschließenden Wühlversuche im Stand und zwar für die Schlepper mit Rücksicht auf das Anfahren im Schleppzug und für die Selbstfahrer mit Rücksicht auf den Probelauf und das Anwärmen der Motore, wenn, wie üblich, direkt umsteuerbare Motore eingebaut sind. Während bei den Selbstfahrern die Sohlenangriffe in Fahrt bei allen Schraubenarten, Düsen-, Tunnel- und freien Schrauben, unbedenklich waren, erreichten sie im Stande bis zum Sechsfachen des zulässigen Wertes. Durch Anbringen von Leitflächen gelang es aber in besonderen Versuchen, die notwendigen Verbesserungen zu erreichen.

Die alten Schiffahrts-Polizeibestimmungen hatten die Tauchtiefe der Schrauben auf 1,75 m beschränkt. Nachdem die Schiffahrt aber in den eben erwähnten besonderen Versuchen den Nachweis erbracht hatte, daß größere Schrauben dank geringerer Belastung der Schraubenkreisfläche mit einfachen Mitteln wühlsicher gemacht werden können, sind in der neuen Verordnung von 1940 2,0 m Schraubentiefgang bei voll abgeladenem Schiff zugelassen. Das ermöglichte für die Selbstfahrer die Vergrößerung des Schraubendurchmessers von 1,00 m auf 1,25 m und damit auch eine erhebliche Verbesserung des Wirkungsgrades, so daß an Leistung gespart werden kann. Strom-Selbstfahrer haben, wie hinzugefügt sei, vielfach größere Schrauben, bis zu 1,45 m ⌀ und mehr.

8. Zulässige Fahrgeschwindigkeiten.

In Auswirkung der Modellversuche unter Beachtung der Erfahrungen aus dem wirklichen Betrieb hat nun die Binnenschiffahrts-Polizeiverordnung die Fahrgeschwindigkeit auf mindestens 5 km/h, höchstens 7 km/h für beladene Fahrzeuge festgesetzt. Leere Fahrzeuge und Selbstfahrer bis zu 41,5 m Länge und 5,1 m Breite mit nicht mehr als 1,5 m Tiefgang, in Ausnahmefällen bis zu 53×6,25 m, dürfen 9 km/h laufen. Beschädigungen der Ufer durch Wellenschlag sind im Bereich der zugelassenen Fahrgeschwindigkeiten nicht zu befürchten. Eine Erhöhung der Fahrgeschwindigkeit für beladene Selbstfahrer konnte aber eben mit Rücksicht auf die Uferbefestigungen nicht ausgesprochen werden.

9. Überholungen im Kanal.

Die Modellversuche für den Mittellandkanal beschränkten sich nun nicht darauf, zu ermitteln, was sich durch schiffbautechnisch richtige Gestaltung

der Güterschiffe für die Steigerung der Geschwindigkeit auf der freien Strecke erreichen läßt. In weiteren sehr umfangreichen Versuchsreihen wurde die für die Güterselbstfahrer sehr wichtige Frage geprüft, wie weit Überholungen auf dem 3,5 m tief gewordenen Kanal nautisch möglich sein würden. Im alten Kanal mit 3,1 m Tiefe durften nur leere Schleppzüge und leere Selbstfahrer überholen. Ein Ausnahme bildeten so nur die Schlepper und dann kleinere Selbstfahrer bis zu 41×5 m in der Stückgutfahrt, diese nur bis 1,5 m Tiefgang, falls sie durch eine besondere Prüfung ihre Eignung bewiesen hatten.

Begegnungen waren auf dem Kanal stets ohne Schwierigkeiten verlaufen, allenfalls müssen beide Teile ihre Geschwindigkeit etwas herabsetzen. Von einer Nachprüfung in Modellversuchen wurde deshalb abgesehen. Die Reisegeschwindigkeit wird auch nicht erheblich durch sie beeinflußt.

Überholungen sind eine Frage der Steuerfähigkeit. Beim Passieren der Schiffe treten Seitenkräfte und Drehmomente auf, deren Größe von der Bauart und Größe des Überholten wie des Überholers und von der Geschwindigkeit abhängen. Nur wenn das Steuer ausreichende Stützkräfte vornehmlich gegen die Drehmomente geben kann, gelingt die Überholung.

Bei Überholungsbeginn suchen beide Kräfte die Schiffskörper voneinander zu entfernen. Hat der Überholer mit seiner Mitte das Heck des Überholten erreicht, drängen zwar die Seitenkräfte noch auseinander, die Drehmomente sind aber bereits zueinander gerichtet. Diese Gefahrenzone ist im allgemeinen noch beherrschbar, dagegen nicht die zweite Gefahrenzone, wenn Mitte Schiff des Überholers den Bug des Überholten erreicht hat, weil dann nicht nur die Drehmomente besonders für plump gebaute Kähne zu groß werden, sondern obendrein die Seitenkräfte den Überholten an den Überholenden heranschieben. Auf die Versuche näher einzugehen, verbietet leider der knappe zur Verfügung stehende Raum. Ihre Anordnung war nicht ganz einfach zu treffen, weil in dem Modellkanal neben dem fahrenden Schleppzug auch noch der fahrende Selbstfahrer mit ihren Antrieben und Meßgeräten unterzubringen waren.

Beim Überholen werden zahlreiche Rudermanöver vorgenommen. Jede Versuchsreihe wurde deshalb außer mit 0° auch mit 35° BB. und 35° StB. Ruderwinkel ausgeführt. Der Winkel von 35° wurde gewählt, weil bei den Kähnen mit Hackebeilruder kaum ein größerer Winkel möglich ist.

Die Ruderlage 0 ergab die beim Überholen auftretenden maximalen Größen der Drehmomente und Seitenkräfte, die beiden anderen Ruderlagen die größtmöglichen Stützkräfte.

Ergänzt sind die Modellversuche durch mehrere Versuche in der Wirklichkeit, deren Ergebnisse mit denen der Modellversuche durchaus übereinstimmten.

Eine glatt verlaufende Überholung dauert etwa 25 Minuten einschließlich der Verzögerung bzw. Beschleunigung vor und nach der eigentlichen Überholung und nimmt etwa 1,5 km Streckenlänge in Anspruch.

Als Endergebnis bestimmte die Binnenschiffahrts-Polizeiverordnung von 1940, daß Fahrzeuge überholen dürfen, wenn sie mindestens 7 km/h fahren können und folgende Tauchtiefen nicht überschreiten:

1,50 m	bei einer	Breite	bis	5,10 m
1,00 m	„	„	„	„	6,50 m
0,85 m	„	„	„	„	7,30 m
0,70 m	„	„	„	„	8,20 m

Die überholenden Fahrzeuge dürfen bei der Vorbeifahrt nur mit einer Geschwindigkeit von höchstens 5 km/h fahren, die überholten Fahrzeuge nicht schneller als etwa 3 km/h. Bei höheren Geschwindigkeiten des ja auf der Seite des Kanals fahrenden Überholers würden so starke Brandungswellen entstehen, daß der Steinbewurf der Uferbefestigung weggespült würde. Die Kanalschlepper sind wieder von den sehr einengenden Vorschriften hinsichtlich des Tiefganges befreit, weil sie nur geringe Länge besitzen und scharf gebaut sind.

Die Wünsche der großen Selbstfahrer auf Freigabe der Überholung auch mit Ladung konnten nur insoweit erfüllt werden, als weniger als 6 km/h fahrende Fahrzeuge sich überholen lassen und dies erleichtern müssen, u. U. durch Anlegen in der nächsten Liegestelle. Eine kurze Annäherungsberechnung zeigt übrigens, daß ein Selbstfahrer auch in dem, durch die Schleusenleistungen bedingten, dichtestem Verkehr bei 7,0 km/h Fahrgeschwindigkeit auf der freien Strecke von Bergeshövede bis zur Elbe durch Überholungen nur einige wenige Stunden gewinnen würde, selbst wenn die überholten Schleppzüge nur mit 6 km/h fahren.

10. Steuerfähigkeit.

Eingangs war ausgeführt, daß eine Steigerung der Geschwindigkeit auch von der Steuerfähigkeit abhängig sei. In den Überholungsversuchen wurden bereits erste Feststellungen in dieser Hinsicht gemacht, die zu einigen weiteren Sonderversuchen führten. Zu abschließenden Versuchen ist es aber nicht gekommen, auch die Versuche des Zentralvereins führten zu keiner endgültigen Klärung. Grundsätzlich ist zwischen Steuerfähigkeit und Kursstetigkeit zu unterscheiden. Es hat sich z. B. gezeigt, daß mit den Hackebeilrudern, wie sie bei den Elbkähnen üblich sind, zwar eine große Steuerfähigkeit bis zu hohen Geschwindigkeiten erzielt wird, mit denen in Flußkrümmungen, bei Ausweichmanövern und bei Fahrt im Kanal alle Drehbeanspruchungen sicher beherrscht werden. Die Kursstetigkeit wird aber dadurch beeinträchtigt, daß ständig mit großen Winkeln und Drehkräften gearbeitet wird, die den Kahnkurs bei gesteigerten Geschwindigkeiten übermäßig beunruhigen und zudem den Mann am Ruder übermäßig anstrengen. Das letztere führt sogar gelegentlich bei zu schwer steuernden Kähnen zum Abwerfen von Schleppzug. Das Hackebeilruder besitzt eine große Balancefläche und ist nur oben im auskragenden Heck eingehängt.

Die mangelnde Kursstetigkeit ist vor allem an kurzen plumpen Kähnen zu beobachten. Lange Kähne, so die neuen 80 m langen Kanalkähne, liegen erfahrungsgemäß besonders ruhig.

Von neueren Bauarten sichert das dreifache Hitzler-Ruder mit einer Fläche mittschiffs und zwei seitlich in besonderer Anordnung zueinander im Kanal die Kursstetigkeit bis 8 km/h und verliert die Steuerfähigkeit über 9 km/h durch den Nachstrom. Auf Strömen wird das Ruder von der Praxis recht gut beurteilt, weil kleine Winkel ausreichende Drehkräfte ergeben.

Schließlich lassen auch Havarien, die im Fahrbetrieb hin und wieder dadurch verursacht werden, daß ein Kahn aus dem Ruder läuft, Verbesserungen an den Ruderanlagen erwünscht erscheinen.

Modellversuche an Schleppern ergaben, daß bei Einschraubern seitliche Doppelruder an einer Kort-Düse gegenüber Doppelrudern im Abstand des Schraubendurchmessers hinter einer freien Schraube die zweifache Wirkung haben. Der Schraubenwirkungsgrad in der Düse war aber mit nur einem

Balanceruder in Düsenmitte am höchsten und die Wühlwirkung dabei am kleinsten, was den Ausschlag für die Ausführung gab.

11. Kortdüsen.

Als Abschluß des rein schiffbautechnischen Teiles sei noch einiges über die Kort-Düse gebracht. Sie stellt eine fest mit dem Schiffskörper verbundene Ummantelung der Schraube mit tragflügelförmigem Querschnitt dar, die hauptsächlich die Kontraktion des Schraubenstrahles verhütet und gleichzeitig durch starke Erweiterung des Düseneintritts reichliche Wasserzuführung zur Schraube bewirkt. An dem Vortrieb ist die Ummantelung beteiligt und entlastet dadurch das Drucklager. Da der Düsenaustritt nur etwas größer als der Schraubendurchmesser und scharfkantig ist, ist die Rückwärtsfahrt und vor allem die Steuerfähigkeit dabei weniger gut. Doppelschrauben bringen aber den Ausgleich.

Der Spalt zwischen den Schraubenflügeln und der Düse ist möglichst klein zu halten, die Flügel ähneln vielfach in ihrer Form der Kaplanschraube.

Die Überlegenheit der Kort-Düse gegenüber der Tunnel- oder freien Schraube bei Selbstfahrern war oben bereits durch Zahlen belegt. Nach den Werten der Modellversuche benötigt ein Doppelschrauber vor Schleppzügen mit rund 2000 t Ladung für 6,5 km/h mit Kort-Düsen nur 250 WPS, ein Einschraubenschlepper mit freier Schraube dagegen 320—350 WPS. Der Schraubendurchmesser betrug dabei $2\times1{,}75$ m mit 4,8 m² Kreisfläche gegenüber $1\times2{,}1$ m mit nur 3,45 m². Die freien Schrauben waren obendrein nicht wühlsicher. Bei höheren Geschwindigkeiten nimmt aber die Überlegenheit der Kort-Düsen ab.

12. Schiffbautechnische Fragen zu Schlepperneubauten.

Der Entschluß, mit Schleppkähnen schneller zu fahren, wird aus wirtschaftlichen Gründen in den meisten Fällen dazu zwingen, neue stärkere Schlepper zu bauen und nicht etwa die schwachen älteren Schlepper mit weniger Anhang fahren zu lassen.

Bei den Selbstfahrern ist die Entwicklung bereits so weit vorgeschritten, daß z. B. auf dem Rhein für den Schnellverkehr Güterboote mit 800 WPS als Zweischrauber mit Düsen eingesetzt sind. Sie haben bei 76 m Länge, 9,43 m Breite und 2,0 m Abladung eine Völligkeit von nur 0,695! Neuere Selbstfahrer haben ganz allgemein mindestens 400 PS starke Motore erhalten.

Für den Strom stärkere Schlepper zu bauen, wird im allgemeinen keine besonderen Schwierigkeiten machen, weil die Abmessungen des Schiffskörpers kaum eingeschränkt zu werden brauchen. Es wird vielmehr darauf ankommen, dem Antrieb einen möglichst hohen hydraulischen Wirkungsgrad zu geben und die Maschinenanlage wirtschaftlicher und sicher im Betrieb zu gestalten.

Auf dem Kanal dagegen schränken die nutzbare Länge der Schleuse (vgl. 2 a) und in der Regel auch noch Schiffahrts-Polizeiverordnungen die äußeren Maße des Schiffskörpers auf Werte ein, die für die älteren schwächeren Schleppertypen genügten, für die Neuplanungen aber schwer zu lösende Aufgaben stellten. So dürfen auf dem Mittellandkanal außerhalb der dafür bestimmten, sehr weit auseinanderliegenden, Stellen nur Fahrzeuge bis höchstens 21,5 m Länge in der Konstruktionswasserlinie wenden. Für Diesel-Schlepper ist diese Aufgabe leicht zu lösen, wenn die Barkassen-

form mit vornliegendem Motor und achtern geschlossen angeordneten Wohnräumen für die Besatzung gewählt wird. Es ist nun gelungen, Doppelschrauber mit Gas- wie mit Dampfantrieb in dieser Form sogar mit nur 20,55 m Länge in der CWL und 21,8 m Länge über Deck zu bauen. Der Schiffskörper wiegt mit Düsen, Wellenleitungen und Schrauben nur rund 57 t beim Gasschlepper, bzw. rund 60 t beim Dampfschlepper mit einer Verdrängung von 103 m³ bzw. 110 m³ (Bunker etwas größer). Die Breite auf Spanten beträgt 5,40 m bzw. 5,50 m, der Konstruktionstiefgang 1,70 m bei beiden, der Völligkeitsgrad damit 0,51 bzw. 0,54 bezogen auf die Länge über Deck. Für die niedrigen Geschwindigkeiten auf dem Kanal von höchstens 9 km/h ist der dicke Kopf ohne Nachteil, dafür ist das Hinterschiff scharf gehalten und ermöglicht dem Wasser besten Zustrom zu den Düsen und damit die oben aufgeführten ungewöhnlich hohen Zugleistungen. Daß die Doppelschrauber auf dem Fleck wenden können, ist ein im Kanalbetrieb hoch anzuschlagender Vorteil.

III. Maschinenbautechnische Maßnahmen.

1. Überblick über die neuzeitliche Entwicklung der Antriebsarten.

Auf rein maschinentechnischem Gebiet hängen die Aufgaben vor allem von der Wahl des Brennstoffes ab. An sich wäre der Dieselmotor durch seine Betriebssicherheit, den weiten Regelbereich, das niedrige Gewicht und den geringen Raumbedarf das Gegebene für die Binnenschiffahrt, wenn er nicht, für Deutschland wenigstens, auf ausländisches Gasöl angewiesen wäre, dessen Preisentwicklung zudem unsicher ist und den Dieselmotor im Betrieb zu teuer machen kann. Aus diesem Grunde waren bereits vor dem zweiten Weltkrieg Deutzer Otto-Motore mit Generatorgas wieder in einigen Ausführungen auf Schleppern für den Rhein und die westdeutschen Kanäle eingebaut. Sie verfeuerten Perlkoks, Anthrazit oder Braunkohlenbriketts, zeichneten sich durch niedrigen Brennstoffverbrauch aus und erwiesen sich als durchaus betriebssicher. Als Brennstoff kam dann mit dem Ausbau der großen Schwelereien im mitteldeutschen Raum der Braunkohlenschwelkoks hinzu, dessen Vorzug die sehr gute Reaktionsfähigkeit und dessen Nachteil der hohe Schwefelgehalt ist.

Als dann im Kriege die Einfuhr von Dieselölen abgeschnitten war, wurden in großem Umfange Dieselmotore auf Gas umgebaut. Auf den Güterschiffen ging dabei leider sehr viel Laderaum verloren, bei einem 67×8 m Selbstfahrer 4—5 m. Ohne Maschinisten waren die umgebauten Anlagen aber schlecht zu fahren, von anderen Schwierigkeiten abgesehen war auch die Brennstoffversorgung besonders nach dem Kriege nicht immer gesichert, so daß jetzt die Motore fast durchweg wieder auf Dieselbetrieb mit Gasöl zurückgebaut sind. Auf Schleppern fehlte zumeist der Platz für die Unterbringung der Generatoren und der Bunker.

Für Neubauten kam damals der Gasantrieb bei höheren Leistungen in erster Linie in Frage, weil Dampfantrieb noch ein gut Teil mehr Einbaugewicht, also mehr Material und zusätzlich die Heizer verlangte. Erst die Einführung des Wasserrohrkessels mit höheren Drücken sowie höherer Überhitzung und Speisewasservorwärmung ließ den Dampf wieder aufkommen. Sein Einbaugewicht konnte fast auf das der Generatorgasanlagen heruntergebracht werden.

Der Lohnanteil ist bei Diesel und Gas gleich, weil für beide ein Maschinist in der Maschinenanlage genügt, beim Dampf kommt ein Heizer dazu. In der Unterhaltung ist der Diesel am billigsten, der Gasschlepper

am teuersten, wodurch die Unterschiede in den Brennstoffkosten bis zu einem gewissen Grade ausgeglichen werden. Für Bau- und Unterhaltungskosten lassen sich z. Z. keine Vergleichswerte angeben.

2. Der Dieselmotor.

Der größeren Lebensdauer wegen werden beim Dieselmotor vielfach langsam laufende Typen gewählt mit 250—350 Umdrehungen in der Minute. Indessen können auch die Mitteltypen mit n = 450—500 bei guter, nicht zu leichter Ausführung ohne Bedenken verwendet werden. Sie sind ein gut Teil leichter als die Langsam-Läufer, so daß an Stelle der direkten Umsteuerung Wendegetriebe, zweckmäßig solche mit Druckölsteuerung, eingebaut werden können, die nicht nur die Bedienung von Deck aus wesentlich vereinfachen, sondern auch Motor und Schraubenwelle sehr schonen. Von großem Vorteil sind sie auch für das Kanalbett, weil beim Anlassen und Anwärmen der Motore die Schraube stillsteht. Die Lebensdauer guter Wendegetriebe wird ebenso groß sein wie die der Motoren.

Erwähnt sei noch, daß in den letzten Jahren auch der Zweitakter in für die Binnenschiffahrt brauchbaren Typen herausgebracht ist und des öfteren seines einfacheren Aufbaues wegen bevorzugt wird.

3. Die Gasmaschine.

Auf Generatorengas umgestellt, leistet die gleiche Motortype im Otto-Verfahren etwa 25 v. H. weniger als im Dieselbetrieb mit Gasöl, was für gleiche Leistungen also einen größeren und schwereren Motor verlangt. Im allgemeinen arbeiten die Motore mit Gas als Viertakter und nach dem Otto-Verfahren, benötigen also wie der Benzinmotor Zündkerzen. Die Anwendung des Dieselverfahrens war erst in der Entwicklung, ebenso wie der Zweitakter nach dem Otto-Verfahren. Ein gewisser Nachteil des Gasbetriebes ist der geringe Regelbereich der Motore, die nur auf etwa n = 160 heruntergehen können. Deshalb sind für Schlepper, die auf dem Kanal oder im Revier des öfteren längere Zeit ganz langsam fahren müssen, vor allem vor Leerkähnen, Motortypen mit n = 450—500 zu nehmen.

Die direkte Umsteuerung ist nicht möglich, so daß Wendegetriebe nötig sind. Beim Umbau waren deshalb hinter direkt umsteuerbaren Dieselmotoren noch Wendegetriebe einzubauen.

Zu der Entwicklung des Gasschleppers hat der Reichsschleppbetrieb sehr viel beigetragen und insgesamt 72 Stück beschafft. Die Erfahrungen damit waren durchaus befriedigend. Gewisse Schwierigkeiten macht jetzt die Ersatzteilbeschaffung.

Über den inneren Aufbau sei nur so viel mitgeteilt, daß der Generator ungefähr im Schwerpunkt des Schiffskörpers zwischen den Schraubenwellen angeordnet ist. Die Untersetzung der Wendegetriebe (3 : 1 von n = 450 des Motors auf n = 150 für die Schraube) wurde dazu nicht wie sonst üblich nach unten, sondern nach der Seite gelegt, so daß von Mitte zu Mitte Welle ein Abstand von 2350 mm gegenüber nur 1600 mm zwischen den beiden Motorwellen entstand. Die Bunker liegen außen beiderseits neben dem Generator, die Gasreiniger und -wäscher oben auf den Bunkern im Aufbau. Mit Leerwerden der Bunker tritt somit kein Vertrimmen des Schiffes ein, wie dies bei vornstehendem Generator und in Schiffsmitte liegenden Motoren unvermeidlich gewesen wäre. Der Schraubenstrahl wird so nicht auf die Kanalsohle gerichtet, sondern von ihr entfernt. Der Schlepphaken sitzt kurz hinter Mitte Schiff, das achterliche Vertrimmen des Schleppers unter Einwirkung des Trossenzuges ist damit auf einen Geringstwert beschränkt. Das Ruder-

haus liegt über den Wendegetrieben mit völlig freier Sicht nach vorn, auch dicht vor den Schlepper.

4. Die Dampfmaschine.

Die zunehmende Verknappung an Brennstoffen für den Generatorbetrieb im Kriege zwang schließlich dazu, auf den Dampf zurückzugreifen. Leider ergab der alte Zylinderkessel durch sein zu großes Gewicht an Stahl und Wasserinhalt auch mit dem höheren Druck von 19—20 atü für den Kanal zu große Schiffskörper, So mußte ein 2×200 PSi-Dampfschlepper für die untere Ems mit einem Zylinderkessel 184 m³ Verdrängung erhalten, während etwas später ein Schlepper gleicher Stärke für den ausgebauten Dortmund-Ems-Kanal mit Wasserrohrkessel nur 136 m³ groß zu werden brauchte. Allerdings war der erstere etwas schwerer gehalten. Die Maschinenanlagen sind in beiden Fällen die gleichen, Doppelverbundmaschinen von Christiansen & Meyer, Hamburg-Harburg.

Ein erster Versuch mit Wasserrohrkesseln wurde auf einigen für den Einsatz auf dem Südteil des Dortmund-Ems-Kanals bestimmten Schleppern mit Lamont-Kesseln gemacht, die aber nicht befriedigten. Gegen Wasserrohrkessel ohne Zwangsumlauf bestanden Bedenken. Da bot die Schmidtsche Heizdampfgesellschaft ihre Zweidruckkessel für hohe Drücke an, dessen Erstteil mit 100 atü nur den Heizdampf in einem inneren Kreislauf für den zweiten, nicht feuerberührten, Teil mit 50 atü Betriebsdruck liefert. Der Betriebsdampf sollte hoch überhitzt werden. Gleichfalls von der SHG. konstruierte Vierfachverbundmaschinen mit neuartiger Steuerung und Zwischenüberhitzung sollten einen Kohlenverbrauch von nur 0,48 kg/PSe trotz der kleinen Leistung der Maschinen von nur 2×150 PSe ergeben. Eine Versuchsausführung auf dem Prüfstand bestätigte dies bei voller Betriebssicherheit, so daß eine größere Anzahl dieses Schleppertyps in Auftrag gegeben wurde.

Der Erstteil des Kessels ist mit destilliertem Wasser gefüllt, das in dem inneren Kreislauf keinerlei Verluste erleidet und keinerlei Niederschläge oder Kesselstein bilden kann. Der Zweitteil arbeitet mit gewöhnlichem enthärtetem Speisewasser.

Der im Hauptüberhitzer auf 430° erhitzte Dampf durchströmte zunächst die Zwischenüberhitzer, um erst nach Nachüberhitzung auf 480° in einem zweiten im Kessel liegenden Überhitzer dem Hochdruckzylinder zugeführt zu werden. Die in Deutschland erhältlichen Heißdampfzylinderöle hielten diesen hohen Temperaturen aber nicht stand, so daß die Nachüberhitzung ausgebaut werden mußte. Der Dampf gelangt nunmehr mit 350° vom Zwischenerhitzer direkt in den Hochdruckzylinder. Die Zwischenüberhitzung liegt zwischen dem Mitteldruckzylinder 1 und Mitteldruckzylinder 2. Von dem thermischen Wirkungsgrad ging dadurch leider so viel verloren, daß der Kohlenverbrauch um etwa 15 v. H. anstieg.

In dem Betrieb auf dem Kanal waren diese naturgemäß ziemlich komplizierten Anlagen nicht leicht einzuführen, zumal der leitende Ingenieur nur gelegentlich an Bord erscheinen kann, im übrigen aber der Dampfermaschinist mit seinem Heizer allein fertig werden muß.

Leichter zu bedienen und weniger anspruchsvoll hinsichtlich des Materials und des Heißdampfzylinderöles war ein Wasserrohrkessel System der Wagner-Hochdruckdampfturbinen A.G. für 19 atü Betriebsdruck mit Überhitzung auf 330°, der im weiteren Verlauf der Entwicklung für Kanaleisbrecher mit 350 PSi Leistung gewählt wurde. Der Kessel wird hier

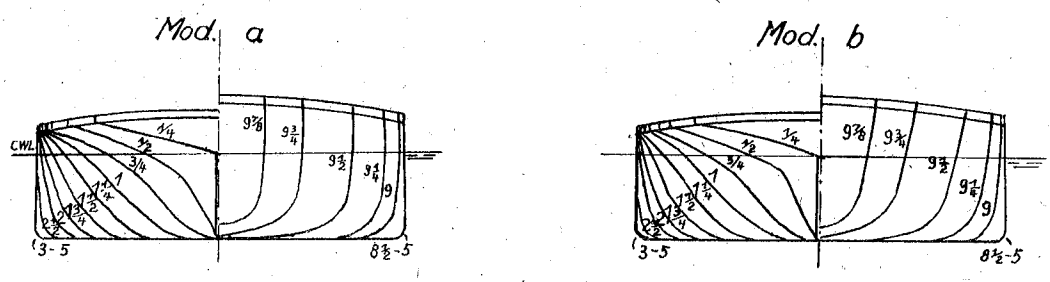
nicht von einer an die Maschine gehängten Pumpe gespeist, sondern von einer durch einen Hannemann-Regler gesteuerten Knorr-Pumpe, so daß ständig der richtige Wasserstand gehalten wird.

Die Maschinen sind wieder Doppelverbundmaschinen von Christiansen & Meyer. Sie zeichnen sich durch geringen Dampfverbrauch aus, so daß in Verbindung mit der Überhitzung und einer guten Speisewasservorwärmung an Kohle nur etwa 0,7 kg/PSe/h verfeuert werden müssen.

Auf die Entölung des Abdampfes und des Kondensats wurde wie auch auf den Hochdruckschleppern großer Wert gelegt, hierfür sind zum Teil neuartige Anlagen geschaffen. Um Kesselsteinbildung zu verhüten, wird für die Speisung enthärtetes Wasser verwendet, das mittels einer Wofatit-Anlage, einer Schöpfung der IG.-Farben, an Bord aus dem Kanalwasser selbst hergestellt wird. Die Verwendung enthärteten Speisewassers empfiehlt sich übrigens ganz allgemein auch auf älteren Dampfschleppern mit Zylinderkesseln, weil damit die Kesselreinigungen fast überflüssig gemacht werden können.

Der Wahodag-Kessel hat sich so gut bewährt, daß seine Verwendung für eine Reihe weiterer Schlepper mit nur 200-PSi-Leistung für Schleusenstrecken der westdeutschen Kanäle in Auftrag gegeben war, deren Bau aber nicht mehr durchgeführt werden konnte.

Die vorstehenden knappen Ausführungen, die vielfach die Einzelfragen nur streifen konnten, dürften gezeigt haben, daß in Deutschland für die Beschleunigung des Verkehrs auf den Binnenwasserstraßen technisch hochwertige Leistungen ausgeführt sind.



Abmessungen :

Länge ü.a. 80,0 m, Länge zw. PP. 78,0 m
Breite a Spt. 9,0 m, Breite a Spt. 9,0 m
Seitenhöhe 2,5 m, Konstr. Tiefg. 2,0 m
Spt. Entf. 8,0 m, Verdr. a. Spt. 1222 m^3
δ 0,87

4

Maßnahmen zur Beschleunigung des Verkehrs im gewerblichen Betrieb der Schiffahrt. Organisation des Arbeitseinsatzes von Personal und Gerät.

Von Richard Türk, Duisburg

Der Mensch als Mittelpunkt der Organisation.

Den Stellen, denen Aufbau der Organisation und Betrieb der Binnenschiffahrt bekannt sind, wird es keine Überraschung bedeuten, wenn in der Darstellung der gestellten Aufgabe schon eingangs festgestellt wird, daß der Mensch auf die Intensität des Verkehrs, d. h. auf die Durchführung der Transportleistung, eine nur geringe Einwirkung nehmen kann. Unter dem Einfluß der Abhängigkeit aller für die Transportleistung erforderlichen Manipulationen von der Maschine bzw. maschinellen Einrichtungen wird das Zeitmaß der Tätigkeit der in die Durchführung einer Transportleistung eingeschalteten Personen von der Arbeitsleistung der Maschinen vorgeschrieben, die die einzelnen Arbeitsvorgänge von der Beladung des Fahrzeuges ab Seedampfer bis zur Löschstelle am Oberlauf des Stromes ausführen oder beeinflussen. Das mag überraschen oder gar als eine Entseelung der Arbeit empfunden werden; bestehen bleibt, daß die Beschleunigung des Verkehrs im modernen Leben keine Verringerung durch Einflußnahme des Menschen auf den Gang der Maschine dulden kann. Vereinbarungen über die Arbeitsbedingungen auf einem mehrere Staaten umfassenden Wasserstraßennetz, für die internationale Anerkennung angestrebt wird, gewährleisten dem einzelnen den gebotenen sozialen Schutz, bestimmen aber andererseits in der Zeiteinheit den wirtschaftlichen Wirkungsgrad der Binnenschiffahrt. Ihn mit den durch die Maschine gegebenen Möglichkeiten zu erhöhen, ist Aufgabe der Organisation des Arbeitseinsatzes des Menschen und der Betriebsmittel. Dem schaffenden Menschen das Gefühl zu geben, daß er der Maschine befiehlt und sie beherrscht, ist im Rahmen der Organisation eine wichtige Aufgabe, die hier nicht besprochen werden soll, aber von der Erkenntnis getragen sein muß, daß in einer Zeit der Abkehr von der Vergangenheit der Mensch als Mittelpunkt in die neuen Wirtschaftsprobleme hineingestellt werden muß.

Reeder und Partikuliere.

Die Organisation des Einsatzes der Betriebsmittel in der Binnenschiffahrt muß das Vorhandensein von Frachtraum und Schleppkraft der Partikuliere und Reeder berücksichtigen. Wenn die Bindungen der jetzt noch teilweise bestehenden Kriegswirtschaft beseitigt sind, friedensmäßige Verhältnisse in der Binnenschiffahrt wieder bestehen, das Europa des wirt-

schaftlichen Marshallplanes sich abzuheben beginnt und die enge Zusammenarbeit der westeuropäischen Staaten auf dem Sektor der Binnenschiffahrt durchgeführt ist, dürfte das Problem Partikuliere/Reeder erneut in voller wirtschaftlicher Schärfe auftreten. Dem Verfasser sind aus seiner langjährigen beruflichen Arbeit diese Probleme bekannt, ebenso die zu verschiedenen Zeiten versuchten verschiedenen Lösungen aus Partikulierkreisen, die ausgesprochen partikulieren Reisen des einzelnen Schiffseigners mehr und mehr zurücktreten zu lassen und durch genossenschaftliche Organisationen — Schifferzusammenschlüsse — reedereiähnliche Unternehmen zu gründen. Damit kommen diese individuellen Einmann- und Kleinbetriebe allein schon aus technischen Gründen in kapitalistische Entwicklungen hinein. Es läßt sich nicht aus der Welt schaffen, daß durch das Aufkommen von Mittel- und Großbetrieben in der Binnenschiffahrt mit ihrer Verfügung über das Massengut — den Hauptanteil im Güteraufkommen — Einmann- und Kleinbetriebe in die Lage versetzt werden, den die Wirtschaft beherrschenden Faktor Zeit für sich auszunützen und damit zu einer weitgehenden rationellen Ausnützung ihrer Fahrzeuge zu kommen. Der Verfasser ist deshalb der Auffassung, daß die Impulse zur Beschleunigung des Verkehrs in der Binnenschiffahrt überwiegend von den Reedereien ausgehen müssen. Ihre Organisation wird deshalb in der Betrachtung der gestellten Aufgabe stehen. Das Zusammenwirken der Partikulierschiffahrt mit der Reedereischiffahrt wird sich in Formen vollziehen müssen, die das Recht des Einzelnen oder der in der Gemeinschaft zusammengeschlossenen Einzelnen auf Arbeit im fairen Spiel der wirtschaftlichen Kräfte berücksichtigen.

Das Nachrichtenwesen als wichtigstes Hilfmittel für die Beherrschung des Faktors Zeit.

Die moderne Wirtschaft ist im wesentlichen durch die Verkehrsmittel ermöglicht worden. Sie überbrücken Raum und Zeit von den Gewinnungsstätten der Rohstoffe über die Verarbeitungsbetriebe bis zu den Abnehmern der Fertigwaren. In diesen Dienst ist die Binnenschiffahrt als zweiter Hauptverkehrsträger eingeschaltet. Die Beherrschung des Faktors Zeit im Produktionsgang von der Beladung bis zur Entladung des Schiffes durch ein besteingerichtetes und bedientes Nachrichtennetz ist ein sehr wesentliches Hilfsmittel in der Organisation. Je kürzer, je statischer die Transportstrecke ist, umso besser muß das Nachrichtennetz ausgebildet sein und arbeiten. Längere Transportstrecken wirken dynamisch. Zur Befriedigung des Nachrichtenbedürfnisses müssen Fernsprecher, Fernschreiber, Telegraph, Funkfernsprechen, schriftliche Nachrichten in Einheitlichkeit und Zwangsläufigkeit in dem Nachrichtenwesen organisch und systematisch zusammengefaßt, zentral geleitet und überwacht werden. Größere und große Unternehmen müssen an den hauptsächlichsten Be- und Entladestellen der von ihnen beaufschlagten Wirtschaftsräume, an den wesentlichen Schnittpunkten des Verkehrs und an den Stellen, wo besondere Verkehrsdispositionen erforderlich werden, Stützpunkte einrichten. Ob es sich um Niederlassungen des eigenen Betriebs, um Inanspruchnahme anderer Schiffahrtsbetriebe oder um Schiffahrtsagenten in festem Vertreterverhältnis handelt, entscheidet die Größe des Unternehmens, sein Verhältnis zu befreundeten Firmen und sein Bedürfnis für Aquisition u. a. Das Nachrichtennetz muß fest in der Hand des Betriebsleiters und seiner engeren Mitarbeiter sein. Der tägliche Ablauf in dieser Organisation ist etwa wie nachfolgend zu gestalten. Ein täglicher schriftlicher Bericht der Zentrale über ihre Maßnahmen auf dem Gebiet der Schiffsbewegungen, Ausfall von Schiffen und Mit-

teilungen allgemeiner Art geht an alle in das Nachrichtennetz eingeschalteten Stellen. Nach Erhalt dieses täglichen Berichtes erfolgt von den lokalen Stellen die Abstimmung der zu treffenden Maßnahmen mit allen übrigen in Betracht kommenden Stützpunkten. Sie münden, und zwar durch das unmittelbare telephonische Ansprechen des berichtenden Stützpunktes an den nächstgelegenen Stützpunkt, immer in der zentralen Leitung des Unternehmens; ein Weg, der alle in die Transportleistung einbezogene Stellen bis zur Zentrale unterrichtet. Der Betriebsleiter ist damit in der Lage, Fehlentscheidungen einzelner Stellen mit Hilfe der Nachrichtenmittel sofort zu berichtigen. Außerdem ist es ihm möglich, jeder Überfälligkeit oder Verzögerung eines Fahrzeuges auf den einzelnen Strecken nachzugehen. Die schriftliche Bestätigung aller Meldungen oder Beobachtungen jedes einzelnen Stützpunktes unmittelbar an die Zentrale mit Durchschlag an die vom Transport berührten Stellen gewährleistet zwangsläufig jeder Stelle die sofortige laufende Übersicht über die Bewegungen der Fahrzeuge und damit ein lückenloses Bild über die jeweiligen Stationen der fahrenden, schleppenden und liegenden Fahrzeuge. Im Zuge der Beschleunigung des Verkehrs auf den Binnenwasserstraßen gewinnt die jahrzehntealte Forderung der Binnenschiffahrt auf Verlegung eigener Kabel von den Anfangs- bis zu den Endstationen der Schiffahrt eines Stromes und ihre ausschließliche Benutzung durch die Schiffahrt erhöhtes Interesse. Dieses Bedürfnis wird auch durch das Aufkommen des Funkfernsprechens nicht eliminiert.

Dauernde technische Bereitschaft der Betriebsmittel.

Für einen beschleunigten Verkehr in der Binnenschiffahrt ist die dauernde technische Bereitschaft der Betriebsmittel erforderlich. Es muß sich in der Binnenschiffahrt, wie im Eisenbahnbetrieb durchgeführt, die Erkenntnis durchsetzen, daß die vorsorgliche und vorbeugende Instandhaltung der Betriebsmittel wirtschaftlicher ist, als die noch teilweise durchgeführte Verschleißwirtschaft, d. h. die Behebung eines Schadens nach seinem Auftreten. Für die Überholung und Instandhaltung der Betriebsmittel im Rahmen der vorbeugenden Instandhaltung sind sorgfältige Planungen unter Berücksichtigung ihrer Ausführung über einen längeren Zeitraum aufzustellen. Die Instandsetzung von tiefgehenden und flachgehenden Schiffen, von Sonderfahrzeugen usw. muß ihrem Einsatz in den verschiedenen Jahreszeiten angepaßt werden. Ein ausreichendes Lager von Reserveteilen und vorbearbeiteten wichtigen Ersatzteilen muß die dauernde Bereitschaft der Betriebsmittel gewährleisten. Inwieweit eigene Werkstätten mit ausreichender Maschinenbestückung zentral oder an den Schnittpunkten des Verkehrs in die Instandhaltung eingeschaltet werden müssen, wird je nach Größe der Unternehmen, Einsatz der Fahrzeuge auf den einzelnen Stromabschnitten und nach der Lage zu leistungsfähigen Werften und Maschinenfabriken entschieden werden müssen. Die Abkehr vom handwerklichen Betrieb zur ingenieurmäßigen Leitung eigener größerer Werkstätten ist erforderlich. Eine technische Betriebsleitung muß in eingehender und planmäßiger Arbeit etwaigen Betriebsstörungen durch Überwachung und Bereitlegung von Ersatzteilen weitgehend begegnen. Die laufende technische Überwachung der Flotte, gestützt auf regelmäßige technisch-wirtschaftliche Berichte der Fahrzeuge nach einheitlichen Formularen ermöglicht die jederzeitige Übersicht über den technisch-betrieblichen Stand der Fahrzeuge und läßt frühzeitig auftretende Schäden erkennen, die die Leistung und damit die Transportgeschwindigkeit des einzelnen Fahrzeuges beeinflussen. Die laufende Auswertung der Bordberichte ist ein wesentliches Hilfsmittel zur Erhaltung des beschleunigten Verkehrs.

Weitgehende Mechanisierung der Einrichtungen.

Die bis zur wirtschaftlichen Grenze getriebene Mechanisierung aller Verrichtungen an Bord der Schiffe, angefangen von der Be- bzw. Entladung bis zur Aufnahme der Fahrt stellt das erste Erfordernis zur Vermeidung von Wartezeiten und damit der Verringerung der Transportgeschwindigkeit dar. Das Einholen von Ankern, Ketten und Schleppsträngen von Hand sowie die manuelle Bedienung von Winden und Ladekranen sind mit der Forderung auf Beschleunigung des Verkehrs nicht mehr zu vertreten.

Beeinflussung der Be- und Entladung.

Der Kreislauf des Transportgutes vom Ursprung bis zum Be- und Entladen der Schiffe und zu ihren Abfahrten darf keine Verzögerung erfahren. Eine reibungslos arbeitende Organisation, die das Vorlegen der Leerschiffe vor die Beladungseinrichtungen und nach Beladung auf die bestimmten Liegeplätze vornimmt, und zwar für den Schleppzug des einzelnen Schleppers nach der einzuhaltenden Reihenfolge der einzelnen Fahrzeuge im Schleppzug, muß gefordert werden. Das unmittelbare Ansprechen dieser Hafenschlepper, Zubringer- und Nachrichtenfahrzeuge auf großen Reeden durch die Leitung der Schiffsdisposition mit Hilfe des Funkfernsprechens ist ein Hilfsmittel, dessen Einführung Liege- und Wartezeiten der Schlepper und Güterselbstfahrer auf ein Minimum verringern kann. Die gleichen Forderungen gelten für Manipulationen nach der Entladung von Fahrzeugen.

Einsatz der Schlepper in den Stromabschnitten nach Größe und ihre Abhängigkeit vom Gefällewiderstand.

Für die verschiedenen Abschnitte eines Stromes, Unter-, Mittel- und Oberlauf, gibt es bestimmte Maschinenleistungen, die bei wirtschaftlichen Höchsttransportgeschwindigkeiten und demzufolge wirtschaftlichem Brennstoffverbrauch die zugeordnete Gütermenge im Schleppzug befördern können. Schlepper mit unzulänglichen Maschinenleistungen behindern die Ausnützung der dem Gefällewiderstand der einzelnen Stromabschnitte angepaßten und ausreichenden Maschinenleistungen. Diese Fahrzeuge mit zu schwacher Maschinenleistung zwingen den nachfolgenden Fahrzeugen ihre unwirtschaftliche Geschwindigkeit auf. Je nach Wasserstand und Stromabschnitten wird hierdurch das Überholen verwehrt. Es würde einer betriebswirtschaftlich ausgeglichenen Binnenschiffahrt entsprechen, wenn in jedem Stromabschnitt die Schlepper eingesetzt würden, die die Höchstmenge an Gütern in der wirtschaftlichen Geschwindigkeit befördern. Diese Erkenntnis wurde vom Verfasser seit Jahren in dem von ihm technisch geleiteten Unternehmen mit hohem wirtschaftlichen Effekt angewandt. Die allgemeine Einführung würde zu einer nicht unbeachtlichen Verkehrssteigerung durch ausgeglichene Leistungen im Gesamtverkehr, besonders in Kleinwasserzeiten führen.

Zusammenstellung von Lastschiffen in Schleppzügen nach ihrem Fortbewegungswiderstand.

Über den Fortbewegungswiderstand von Lastschiffen ohne eigene Triebkraft ist nur wenig bekannt. Die Erkenntnisse hierüber werden in der Praxis empirisch gewonnen und sind Erfahrungsgut der Kapitäne und einzelner Schiffsdisponenten. Gemessene Werte des Fortbewegungswiderstandes liegen nur sehr wenig vor. Der Verfasser hat schon in den zwanziger Jahren die ihm unterstellte Flotte eines Unternehmens systematisch auf den

Fortbewegungswiderstand untersucht und für jedes Fahrzeug den gemittelten Wert, bezogen auf die Ladungstonne, festgelegt. Hierdurch war es möglich, jedes Schiff, einzeln wie auch im Schleppzug, so einzuordnen, daß es mit dem größten wirtschaftlichen Effekt befördert werden konnte. Eine international anerkannte Anweisung, daß dieser Wert eines jeden Fahrzeuges in die amtlichen Schiffspapiere aufgenommen wird, würde dem Schiffsdisponenten bei seinen Maßnahmen die Möglichkeit geben, dazu beizutragen, daß die wirtschaftliche Transportgeschwindigkeit wenigstens in weitem Rahmen erreicht werden kann.

Der Nutzen, der aus der Kenntnis des Fortbewegungswiderstandes, abzulesen im Schiffsattest, gezogen werden kann, wird sich in höheren Schlepplöhnen auswirken. Er würde den Zwang zur Abänderung der vorhandenen Fahrzeuge in leichter schleppende und fahrende Fahrzeuge auslösen und die Anwendung eines geringeren Völligkeitsgrades bei Neubauten zu einer Selbstverständlichkeit werden lassen. Beide Maßnahmen würden der Erreichung der wirtschaftlichen Endgeschwindigkeit zugute kommen.

Neue Schlepper, kleine Schleppzüge, wirtschaftliche Höchstgeschwindigkeit.

Der Wettbewerb mit den anderen Verkehrsträgern zwingt die Binnenschiffahrt zur Modernisierung und Motorisierung. Dieses Bestreben drückt sich in der Notwendigkeit aus, bei dem mit der geringsten Transportgeschwindigkeit sich bewegenden Fahrzeug zu beginnen. Daß diese Maßnahmen nur zu Kompromißlösungen führen, ist bekannt. Die entscheidende Beschleunigung des Verkehrs kann nur vom Neubau herkommen. Es sind deshalb alle Vorschläge und Konstruktionen moderner Schlepper und Fahrzeuge, die in der Forderung kleiner Schleppzüge mit wirtschaftlicher Höchstgeschwindigkeit gipfeln, als eine Gemeinschaftsaufgabe der Binnenschiffahrt in einem prüfenden Gremium zu behandeln. Dieses kleine Gremium echter Sachverständiger hätte nicht nur diese Forderung, sondern vor allem auch die Wirtschaftlichkeit der vorgeschlagenen Konstruktionen zu prüfen. Durch den wiederhergestellten internationalen Schutz des geistigen Eigentums dürfte die Mitarbeit der bisher nicht beteiligten Nationen möglich sein.

Beschränkung der Anhänge eines Schleppers unter gewissen Voraussetzungen.

Das Bestreben nach Beschleunigung des Verkehrs stößt auf ältere, aber auch in den letzten Jahren noch erstellte Großschlepper, die auf bestimmten Abschnitten der Ströme der Forderung nach Beschleunigung des Verkehrs entgegenstehen. Mit ihren Schleppzügen, die bis zu 1500 m Länge haben, bilden sie in Stromabschnitten mit begrenzten Fahrwassertiefen, engen Wasserquerschnitten, schwierigen Brückendurchfahrten, kurvenreichen Strecken für das Überholen durch schnellerfahrende Schiffe ein fast unüberwindliches Hindernis, bei Begegnungen ein starkes Gefahrenmoment für beide Teile. Diese Schleppzüge zwingen den nachfolgenden und begegnenden Fahrzeugen die Verringerung ihrer Transportgeschwindigkeit auf. Die Beschränkung auf eine Höchstzahl von Anhängen in bestimmten Stromabschnitten und mit Bindung an bestimmte Wasserstände kann nicht als eine Beschränkung der verbrieften Freiheit der Schiffahrt auf internationalen Strömen ausgelegt werden. Die allgemeinverbindliche Anerkenntnis einer Anordnung auf Beschränkung der Anhänge dient der Forderung der Beschleunigung des Verkehrs auf den in Frage kommenden schwierigen Stromstrecken und der allgemeinen Sicherheit der Schiffahrt.

Mittelbare Erhöhung der Verkehrsleistung in den Wintermonaten.

Eine Beschleunigung des Verkehrs, wenn auch nur in mittelbarer Auswirkung, erbringt die Fahrt bei Dunkelheit. Es ist hier nicht an die ausgesprochene Nachtfahrt gedacht, sondern an die Ausnützung der innerhalb der Arbeitsbedingungen vereinbarten Fahrzeit in den Herbst- und Wintermonaten. In mindestens 3 Monaten des Jahres wird die zur Verfügung stehende Fahrzeit mit höchstens 60 bis 70 v. H. genützt. Die jährliche Beförderungsleistung der deutschen Binnenschiffahrt in rückliegenden Jahren betrug etwa 150 Millionen Tonnen Güter. Unter der Annahme, daß auf den verbliebenen Wasserstraßen wieder 100 Millionen Tonnen erreicht werden, beträgt der Ausfall durch die Nichtausnutzung der Fahrzeit in diesen Monaten etwa 10 Millionen Tonnen. Inwieweit durch künstliche Lichtquellen auf dem Strom — nicht durch mitgeführte Lichtquellen auf dem Schiff — dieser Verlust für die Wirtschaft hereingeholt werden kann, bedarf der Untersuchung. Es ist in diesem Zusammenhang nicht unwesentlich, daß diese Ausfalleistung der Binnenschiffahrt in die Zeit der stärksten Beanspruchung der Eisenbahn fällt.

Organisation des menschlichen Einsatzes.

Schon eingangs wurde festgestellt, daß der Mensch einen nur beschränkten Einfluß auf die Beschleunigung des Verkehrs ausüben kann. Die Organisation seines Einsatzes ist von der Organisation des Einsatzes der Betriebsmittel abhängig. Das bedeutet jedoch nicht, daß er Objekt der Maßnahmen ist, die der Beschleunigung des Verkehrs dienen. Im Schiffahrtsbetrieb überwiegen wie bei allen Verkehrsbetrieben die festen Kosten. Hierunter fallen auch die Aufwendungen für Betriebsbereitschaft und Liegezeiten. Betriebsbereitschaft und Liegezeiten sind aber Elemente des Zeitfaktors. Die Bedeutung des Zeitelementes in der Binnenschiffahrt ist in den Stellen der Verwaltung und des Disponierens weitgehend erkannt. Im praktischen Schiffahrtsbetrieb müssen aber noch mehr als bisher die Maßnahmen zur Zeiteinsparung erforscht und in die Praxis umgesetzt werden. Hierfür bedarf es verantwortungsbewußter und für ihre Aufgabe erzogener Menschen in allen Berufsgruppen, vom Heizer und Motorenwärter bis zum Maschinisten und vom Schiffsjungen bis zum Kapitän. Jeder muß erfassen, daß er mit seiner Intelligenz und physischen Kraft die Maschine erst in den Dienst des Verkehrs stellt und damit zur Beschleunigung des Verkehrs beiträgt. Wer in der Binnenschiffahrt ein Schiff und Menschen mit dem höchsten wirtschaftlichen Wirkungsgrad führen will und wer eine hochwertige Maschinenanlage betreiben und pflegen soll mit dem Ziel der dauernden Erhaltung ihrer wirtschaftlichen Höchstleistung, muß den Voraussetzungen einer hochstehenden Fachkraft genügen. Bei immer noch wachsenden Transportgeschwindigkeiten und steigenden Verkehrsdichten kann die Forderung nach Beschleunigung des Verkehrs nur mit Menschen durchgeführt werden, die zusammen mit der Vertiefung ihrer beruflichen Kenntnisse bis zur meisterlichen Reife die Würde ihres Berufsstandes erfassen und um das richtige Verstehen von Berufsethos und Berufsehre wissen.

Zusammenfassung:

Maßnahmen in der Organisation des Arbeitseinsatzes von Mensch und Gerät in der Binnenschiffahrt mit dem Ziel der Beschleunigung des Verkehrs:

1. Der Mensch als Mittelpunkt der Organisation.
2. Das Verhältnis von Partikulier und Reeder in Fragen der Organisation.

3. Das Nachrichtenwesen als wichtigstes Hilfsmittel zur Beherrschung des Faktors Zeit.
4. Dauernde technische Bereitschaft der Betriebsmittel und Geräte.
5. Weitgehende Mechanisierung der Einrichtungen auf den Schiffen; Eliminierung grober manueller Verrichtungen.
6. Beeinflussung der Be- und Entladung von Schiffen durch organisatorische Maßnahmen.
7. Einsatz der Schlepper und Fahrzeuge in einzelnen Stromabschnitten nach Größe und in Abhängigkeit zum Gefällewiderstand.
8. Zusammenstellung von Lastschiffen zu Schleppzügen nach ihrem Fortbewegungswiderstand.
9. Neue Schlepper mit kleinen Schleppzügen und wirtschaftlicher Höchstgeschwindigkeit.
10. Beschränkung der Anhänge eines Schleppers unter bestimmten Voraussetzungen.
11. Mittelbare Erhöhung der Verkehrsleistung durch Maßnahmen für die Fahrt in der Dunkelheit.
12. Organisation des Menschen für die Beschleunigung des Verkehrs in beruflicher Ausbildung und Vertiefung seiner Kenntnisse.

5

Klasseneinteilung der Wasserstraßen im Hinblick auf den Verkehr von einheitlichen Schiffsgrößen

Von Oberregierungsbaurat Erich Seiler, in Offenbach a. M.

Art der Untersuchung und Umfang des betrachteten Wasserstraßennetzes.

Es liegt nicht in der Absicht des Verfassers, in der folgenden Abhandlung ein fertiges System für eine Klasseneinteilung der Wasserstraßen zu entwickeln, das sich auf eine eingehende Analyse aller dafür in Betracht zu ziehenden Probleme stützt. Es soll vielmehr lediglich ein Vorschlag entwickelt werden, der als Anregung zu einer Diskussion dieses Themas dienen kann.

Die folgenden Ausführungen beschränken sich ferner auf Binnenwasserstraßen.

Wenn versucht werden soll, eine Klasseneinteilung von Wasserstraßen zu entwickeln, dann müssen sich die Betrachtungen auf ein Wasserstraßennetz erstrecken, das

a) einen genügend großen Umfang hat, damit das entwickelte System der Klasseneinteilung Anspruch auf allgemeine Gültigkeit erheben kann,
b) nach einheitlichen Grundsätzen entwickelt und ausgebaut ist, da es sonst nicht möglich ist, eine Klasseneinteilung unter einheitlichen Gesichtspunkten aufzustellen, und
c) den modernsten Ansprüchen der Schiffahrt genügt, wenn eine Klasseneinteilung einen in die Zukunft weisenden praktischen Wert haben soll.

Das im mitteleuropäischen Raume gelegene, vom Rheinstrom, der Oder und der Donau umschlossene Wasserstraßennetz entspricht diesen drei Bedingungen. Es bildet das größte, nach einheitlichen Richtlinien angelegte bzw. im Ausbau begriffene zusammenhängende Wasserstraßennetz Europas. Beim Ausbau dieses Netzes war ferner die technische Entwicklung auf dem Gebiet des Wasserstraßenbaues bis zu einer gewissen Reife gediehen, so daß dieses im Laufe der letzten Jahrzehnte entwickelte Wasserstraßennetz auch heute noch innerhalb der ihm von der Natur gesetzten Grenzen den modernsten Ansprüchen der Schiffahrt Genüge leistet. Die folgenden Ausführungen beziehen sich daher auf dieses im Herzen Europas gelegene Wasserstraßennetz.

Inwieweit es möglich ist, die für dieses Gebiet entwickelte Klasseneinteilung auch auf andere Räume anzuwenden, in denen ebenfalls nach einheitlichen, wenn auch anders gearteten Gesichtspunkten ausgebaute Wasserstraßennetze vorhanden sind, muß besonderen Untersuchungen vorbehalten bleiben.

I. Die Entwicklung der für die Klasseneinteilung maßgebenden einheitlichen Schiffsgrößen.

1. Die Ursachen für die bisherige Verschiedenartigkeit der Schiffsgefäße und die Notwendigkeit ihrer Vereinheitlichung.

Wenn in dem betrachteten Wasserstraßennetz eine Klasseneinteilung der Wasserstraßen im Hinblick auf den Verkehr von einheitlichen Schiffsgrößen vorgenommen werden soll, dann muß zunächst klargestellt werden, welche einheitlichen Schiffsgrößen für diese Klasseneinteilung als maßgebend anzusehen sind. Und hier begegnen wir bereits erheblichen Schwierigkeiten.

Unterziehen wir den auf dem mitteleuropäischen Wasserstraßennetz eingesetzten Schiffspark einer eingehenden Betrachtung, so müssen wir feststellen, daß noch heute die verschiedensten Schiffstypen in allen Größenabstufungen und den verschiedensten Bauarten diese Wasserwege befahren. Die Ursachen dafür sind mannigfaltiger Art:

Bevor die einzelnen Flußsysteme durch Kanäle miteinander verbunden waren, bildete jedes Flußsystem sein eigenes Wirtschaftsgebiet. Die Bedingungen, die die Schiffahrtsinteressenten in wirtschaftlicher und technischer Hinsicht in diesem System vorfanden, waren für sie maßgebend und nach ihnen entwickelten sie ihre Fahrzeuge. So ist die Mannigfaltigkeit der verschiedenen Fahrzeugtypen eine Folge der verschiedenen örtlichen Verhältnisse auf den einzelnen Flußstrecken, sowie der Abmessungen älterer Schleusen.

Da ferner Bau und Betrieb der Fahrzeuge auf den Wasserstraßen privaten Interessen überlassen waren, war es nur natürlich, daß sich die Bauart der Fahrzeuge auch nach den besonderen Bedingungen richtete, die sich für den Schiffseigner auf Grund bevorzugter Fahrstrecken und Transportbeziehungen als zweckmäßig erwiesen.

Als jedoch die einzelnen Flußsysteme durch Kanäle verbunden wurden und die Fahrzeuge von einem Flußsystem zum anderen gelangen konnten, da zeigten sich erst deutlich die wirtschaftlichen und technischen Nachteile der verschiedenartigen Kahntypen.

Insbesondere war es die mangelhafte Austauschfähigkeit von Fahrzeugen verschiedener Stromgebiete untereinander, da sie wegen ihrer verschiedenen Größe und Bauart nicht überall eingesetzt oder wirtschaftlich ausgenutzt werden konnten.

Ferner machten sich bei der Kanalfahrt folgende Nachteile bemerkbar:

a) Ein großer Teil der Kähne zeigte ungünstige Schleppeigenschaften. Man hatte früher darauf nicht geachtet und nicht auf Schleppfähigkeit, sondern auf Tragfähigkeit gebaut. So erwies sich jetzt manche früher bevorzugte Kahnform infolge großer Wasserwiderstände als höchst unwirtschaftlich, da der für solche Kähne nötige starke Kohlenverbrauch der Schlepper eine Vergeudung von Volksvermögen bedeutete. Denn es kann nicht zugelassen werden, daß für 3 Schiffe von 700 t mehr Schleppkraft benötigt wird als für 3 Kähne von 1000 bis 1200 t.

b) Viele Fahrzeugarten zeigten schlechte Steuereigenschaften. Dadurch entstanden Gefahren bei Begegnung von Schleppzügen. Auch wurden die Wasserstraßenanlagen leicht beschädigt und die Fahrzeuge selbst einem erheblichen Verschleiß unterworfen.

c) Die verschiedenartigen Fahrzeugtypen verhinderten eine zweckmäßige Ausnutzung der Schleusenlängen sowie der Schleppkraft und verminderten dadurch die Leistungsfähigkeit der Kanäle.

Auf Grund dieser Verhältnisse ergab sich die Notwendigkeit, sich der Entwicklung einheitlicher Schiffstypen zuzuwenden, die folgende Forderungen erfüllen müssen:

a) Ihre Größenabmessungen müssen so festgelegt werden, daß sie unter wirtschaftlich tragbaren Bedingungen im gesamten zusammenhängenden Wasserstraßennetz eingesetzt werden können.
b) Sie müssen gute Schleppeigenschaften besitzen.
c) Sie müssen gute Steuerfähigkeit aufweisen; auch soll ihr Leertiefgang möglichst gering sein.

Und schließlich ist zu bedenken, daß bei Beschränkung auf bestimmte Typen die Baukosten vermindert werden.

2. Die bisher entwickelten Einheitstypen für Binnenschiffe.

Die Wasserstraßenverwaltung mußte dieser Entwicklung vorausschauend Rechnung tragen, als sie die Abmessungen der die Flußsysteme verbindenden Kanäle, insbesondere des Mittellandkanals festzulegen hatte und sich über die voraussichtlichen Abmessungen der für die Fahrt auf diesen Kanälen maßgebenden Schiffsgefäße Klarheit verschaffen mußte. Sie ließ sich dabei von folgenden Überlegungen leiten:

Mit der Festlegung der Abmessungen des Mittellandkanals und seiner Schleusen wurde gleichzeitig endgültig gewissermaßen die Spurweite des mitteleuropäischen Wasserstraßennetzes festgelegt, ja, durch den Anschluß dieses Netzes nach Westen, Osten und Süden die Leistungsfähigkeit des europäischen Wasserstraßennetzes überhaupt.

Ferner waren bei Festlegung eines für die Kanalfahrt maßgebenden Kahntyps einerseits die in der Rheinschiffahrt maßgebenden wirtschaftlichen Gesichtspunkte mit Rücksicht auf die überragende Bedeutung dieses Verkehrsträgers zu berücksichtigen, andererseits aber auch die natürlichen Grenzen in der Ausbaufähigkeit der übrigen mitteleuropäischen Ströme zu bedenken.

Schließlich besteht die Tatsache, daß von einer gewissen Kahngröße ab die erhöhten Kanalbaukosten nicht mehr mit der immer langsamer sinkenden Ermäßigung der Schiffahrtskosten begründet werden können. Andererseits jedoch vergrößert sich bei zunehmender Ausweitung des Wasserstraßennetzes der Reiseweg eines Kahnes. Je länger der Reiseweg aber ist, um so wirtschaftlicher werden bei Vollbeschäftigung der Binnenschiffahrt größere Kahntypen.

Unter Berücksichtigung aller dieser Umstände wurde nach sorgfältigen Untersuchungen schließlich von Sympher der sogenannte 1000-t-Kahn, ein 80 m langes Schiff, für den Mittellandkanal als Standardtyp entwickelt. Für diesen Kahntyp ist die Ausbaufähigkeit der ostdeutschen Ströme äußerstenfalls ausreichend. Dieser Kahntyp ist aber auch für den Verkehr auf Rhein und Donau als wirtschaftliche Kahngröße denkbar.

Neben diesem Standardtyp haben sich folgende weitere Standardtypen entwickelt:

a) Der Dortmund-Ems-Kanal-Kahn auf Grund der etwas kleineren Abmessungen des älteren Dortmund-Ems-Kanals. Dieser Kahn entsprach in seinen Abmessungen dem Regelschiff des Elbeverkehrs, dem Groß-Plauer-Maß-Kahn.

b) Durch weiteres Entgegenkommen der Rheinschiffahrt gegenüber wurden für das süddeutsche Wasserstraßennetz Schiffe von 1200 t Tragfähigkeit und für den Rhein-Herne-Kanal solche von 1350 t als maßgebend angesehen.

c) Für den geplanten Ausbau der Mosel wurde ein Standardschiff für die Mosel vorgeschlagen, das ebenfalls in das System der übrigen Standardtypen hineinpaßt.

Die folgende Übersicht zeigt die wichtigsten Angaben für diese bisher entwickelten Standardtypen an Binnenschiffen:

Tabelle 1

Standardtypen für Binnenschiffe

Lfd. Nr.	Bezeichnung	Abmessungen: Länge über alles m	Abmessungen: Breite über alles m	Abmessungen: Tiefgang m	Tragfähigkeit beim Tiefgang gem. Spalte 5 t
1	2	3	4	5	6
1	Sympher: Maß-Kahn	80	9,00	2,00	1000
2	Sympher: Fluß-Kanal-Kahn	80	10,50	1,735	1000
3	Rhein-Main-Donau-Großschiffahrtsstraße	80	9,50	2,30	1200
4	Neckar-Kanalisierung	80	9,50	2,30	1200
5	Rhein-Herne-Kanal-Kahn	80	9,50	2,50	1350
6	Dortmund-Ems-Kanal-Kahn	67	8,20	2,50	1000
7	Groß-Plauer-Maß-Kahn	67	8,20	2,00	750
8	Mosel-Kahn	67	9,00	2,00	900

3. Bestimmung der für eine Klasseneinteilung maßgebenden Schiffsabmessungen.

Es ist nun zu untersuchen, inwieweit diese Typen, die — wie schon aus ihrem Namen ersichtlich — ebenfalls auf Grund bestimmter örtlicher Verhältnisse entwickelt wurden, für eine allgemein gültige Klasseneinteilung des gesamten Wasserstraßennetzes verwertet werden können.

Die Aufstellung zeigt, daß es sich bei den bisher entwickelten Standardtypen um eine Gruppe von 80 m langen und eine Gruppe von 67 m langen Kähnen handelt, die sich untereinander in den Breitenabmessungen und der Tragfähigkeit bei größter Abladetiefe unterscheiden.

Wie Tabelle 2 zeigt, ist es nicht allen diesen Fahrzeugtypen möglich, auf Kanälen mit voller Abladetiefe und damit voller Ausnutzung ihrer Tragfähigkeit zu verkehren.

Tabelle 2

Kanal	zulässige Tauchtiefe m
Rhein-Herne-Kanal	2,50
Wesel-Datteln-Kanal	2,50
Rhein-Main-Donau-Großschiffahrtsstraße	2,30
Neckar-Kanalisierung	2,30
Datteln-Hamm-Kanal	2,00
Dortmund-Ems-Kanal	2,00
Mittellandkanal	2,00
Küstenkanal	2,00

Nun bilden aber im mitteleuropäischen Wasserstraßennetz nicht die Kanäle, sondern nach wie vor die natürlichen Ströme das Rückgrat dieses Verkehrsnetzes. Wie aus Tabelle 3 zu ersehen, sind jedoch hier die Möglichkeiten zur vollen Ausnutzung der Tragfähigkeit der Kähne, wenn man vom Rhein absieht, noch wesentlich ungünstiger:

Tabelle 3

Flußstrecke	zulässige Tauchtiefe der Fahrzeuge durchschnittlich an Tagen i. Jahr 1,50 m	2,00 m	2,50 m	Mittel der Jahre
Weser: Von Minden bis Bremen . .	232	140		1916—1940
Elbe: Von Lauenburg bis Hamburg .	280	232	171	1939—1948
Donau	330	233	144	1939—1948

Die Angabe der Tragfähigkeit eignet sich daher nicht als Maßstab für die Abgrenzung der verschiedenen Typen untereinander und die Aufstellung einer einheitlichen Klassenbezeichnung des vorhandenen Wasserstraßennetzes.

Auch die Unterschiede in den Breitenabmessungen sind nicht von so ausschlaggebender Bedeutung, da das endgültige Maß der Schleusenbreiten auf den durchgehenden Wasserstraßen des betrachteten Wasserstraßennetzes auf 12 m festgesetzt wurde, also allen vorkommenden Schiffsbreiten gerecht wird. Soweit noch Schleusen geringerer Breite vorhanden sind, müßte dies bei der Klasseneinteilung in besonderer Form berücksichtigt werden.

Die für die Verhältnisse auf den Wasserstraßen wesentlichen Unterschiede liegen dagegen in den verschiedenen Längen der entwickelten Standardtypen. Wir gewinnen damit einen sehr einfachen Maßstab für eine Einteilung der Wasserstraßen, indem wir sie danach klassifizieren, ob sie für den Verkehr von 80 m langen oder nur von 67 m langen Kähnen geeignet sind.

Auf dem Rhein verkehren auch Kähne von mehr als 80 m Länge. Derartige Kähne sind im allgemeinen jedoch auf besondere Transportbeziehungen beschränkt und kommen für das durchgehende Wasserstraßennetz nicht in Betracht.

Auffällig dagegen ist, daß für die Standardisierung kleinerer Kahntypen zwischen 200 und 500 t Tragfähigkeit noch wenig Interesse besteht, obwohl gerade bei diesen Kähnen eine ungewöhnliche Mannigfaltigkeit herrscht und auch die Nebenwasserstraßen im gesamten Wasserstraßennetz eine nicht unbedeutende Rolle spielen. Dies kommt daher, daß die Nebenwasserstraßen räumlich weit voneinander getrennt sind und ganz verschiedenen natürlichen Bedingungen unterliegen. Der Verkehr auf diesen Wasserstraßen aber ist meist auf bestimmte Transportbeziehungen beschränkt und oft nur von örtlicher Bedeutung.

Die Erbauer der Wasserstraßen haben jedoch ein erhebliches Interesse daran, auch diese Kähne auf wenige Standardtypen beschränkt zu sehen, womit gleichzeitig auch für den Ausbau der Nebenwasserstraßen einheitliche Gesichtspunkte entwickelt werden könnten.

Als Einheitstyp für diese Kähne wird für die Klasseneinteilung der Wasserstraßen ein Kahn von etwa 40 m Länge und 5 m Breite vorgeschlagen. 4 dieser Kähne nehmen etwa den gleichen Raum ein wie ein 80 m langer Kahn. Die Abmessungen dieser Kähne sind daher den Verhältnissen auf

den durchgehenden Wasserstraßen angepaßt. Außerdem können Kähne dieser Abmessungen auf zahlreichen Nebenwasserstraßen verkehren und dieser Kahntyp bietet gleichzeitig die Möglichkeit, eine darauf abgestimmte Klasseneinteilung der Wasserstraßen auch auf das westeuropäische Wasserstraßennetz anwenden zu können.

Für eine Klasseneinteilung der Wasserstraßen werden daher folgende Schiffsabmessungen als maßgebend angesehen:

Schiffe von 80,0 m Länge
„ „ 67,0 m „
„ „ ~40,0 m „

II. Die Klasseneinteilung der Wasserstraßen.

1. Der Zweck einer Klasseneinteilung und die dafür maßgebenden Gesichtspunkte.

Wenn wir eine Karte des mitteleuropäischen Wasserstraßennetzes betrachten, so macht dieses zunächst im Hinblick auf die Vielfältigkeit der Fahrwasserverhältnisse der einzelnen Wasserstraßen einen verwirrenden Eindruck. Konzentrieren wir jedoch unseren Blick auf die durchgehenden Wasserstraßen und studieren ihren Ausbauzustand, der größtenteils vollendet und sich nur teilweise noch in der Ausführung oder Planung befindet, so erkennen wir, daß für den technischen Ausbau dieser Wasserstraßen einheitliche Grundsätze angewendet wurden. Ebenso sind die in Tabelle 1 angegebenen Standardtypen für Binnenschiffe so entwickelt, daß sie sich den Bedingungen dieses Wasserstraßennetzes anpassen. Um nun den Schiffahrtsverkehr auf den Binnenwasserstraßen möglichst wirtschaftlich zu gestalten und die Leistungsfähigkeit des Wasserstraßennetzes möglichst voll auszunutzen, muß für die Zukunft angestrebt werden, auf diesem nach einheitlichen Grundsätzen ausgebauten Netz durchgehender Wasserstraßen nur Schiffsgefäße verkehren zu lassen, die den Bedingungen dieses Verkehrsnetzes technisch und wirtschaftlich möglichst günstig angepaßt sind. Der Zweck einer Klasseneinteilung der Wasserstraßen ist es nun — wie aus dem Wortlaut des Themas dieser Abhandlung deutlich zu ersehen —, diesem Ziel richtungweisend zu dienen und damit gleichzeitig ein Ordnungsprinzip für die Wasserstraßen aufzustellen.

Wenn diese Gesichtspunkte als maßgebend für die Klasseneinteilung der Wasserstraßen angesehen werden sollen, dann muß diese folgenden Forderungen genügen:

Sie muß einfach und ansprechend und von solcher Klarheit sein, daß sie jedermann leicht verständlich und einleuchtend ist.

Sie muß ferner auf den bereits bestehenden Zustand des Wasserstraßennetzes anwendbar sein, um schon jetzt der Einführung einheitlicher Schiffsgefäße einen entsprechenden Anreiz zu geben.

Sie muß aber auch so beschaffen sein, daß sie der weiteren Entwicklung des Wasserstraßennetzes den Weg für die Zukunft nicht verbaut, sondern im Gegenteil ein Ordnungsprinzip für diese Entwicklung darstellt.

Dabei erhebt sich die Frage, ob in der Form der Klasseneinteilung der Wasserstraßen der Ausbauzustand bzw. die Leistungsfähigkeit des Wasserstraßennetzes oder der wirtschaftliche Einsatz der Schiffsgefäße dominierend zum Ausdruck gebracht werden soll. Für die Beantwortung dieser Frage ist folgendes zu bedenken:

Die Leistungsfähigkeit einer Wasserstraße hängt unmittelbar und fast ausschließlich von dem Ausbauzustand, also den technischen Voraussetzungen ab. Die technischen Voraussetzungen einer Wasserstraße bieten dem Schiffs-

eigner aber auch gleichzeitig einen Maßstab dafür, inwieweit er seinen Kahn ausnutzen, also wirtschaftlich einsetzen kann.

Es erscheint daher im Hinblick auf den beabsichtigten Zweck angebracht, für die Wahl der Form einer Klasseneinteilung die technischen Voraussetzungen des Wasserstraßennetzes in den Vordergrund zu stellen und diese so einfach und klar wie möglich auszudrücken. Dadurch wird ein Ordnungsprinzip aufgestellt, das in gleicher Weise auf den bestehenden Zustand des Wasserstraßennetzes anwendbar ist wie auch auf den weiteren Ausbau und die Vervollständigung dieses Netzes durch die Wasserstraßenverwaltung für die Zukunft richtungweisend einwirkt.

2. Ein Vorschlag für eine Klasseneinteilung der Wasserstraßen.

Unter diesen Gesichtspunkten wird für die Klasseneinteilung der Wasserstraßen im Hinblick auf den Verkehr von einheitlichen Schiffsgrößen in Anlehnung an Bezeichnungen, die wir auch bei anderen Verkehrssystemen finden, unter Beachtung der am Schluß des Abschnitts I c) als maßgebend angesehenen Schiffsabmessungen folgendes Ordnungsprinzip vorgeschlagen:

Wasserstraßen I. Ordnung sind solche Wasserstraßen, auf denen 80 m lange Kähne verkehren können,

Wasserstraßen II. Ordnung sind solche, auf denen 67 m lange Kähne verkehren können,

Wasserstraßen III. Ordnung sind solche, auf denen mindestens 40 m lange und 5 m breite Kähne verkehren können, die jedoch für Kähne bis 67 m Länge nicht mehr befahrbar sind,

Wasserstraßen IV. Ordnung sind alle kleineren Wasserstraßen,

Wasserstraßen besonderer Art (Bezeichnung „S") sind dagegen solche Wasserstraßen, auf denen Kähne von mehr als 80 m Länge verkehren können.

Zu diesen Ordnungsbezeichnungen treten folgende Zusätze und Ergänzungen:

Um sofort erkennen zu können, ob es sich bei der Wasserstraße um einen regulierten Fluß, kanalisierten Fluß oder Kanal handelt, erhält die Ordnungsbezeichnung folgenden Zusatz:

Bei regulierten Flüssen: „F"
„ kanalisierten Flüssen: „KF"
„ Kanälen: „K".

Ferner: Ein uneingeschränkter Verkehr von 80 m langen Kähnen wird dann angenommen, wenn die Schleusen der Wasserstraßen eine Breite von 12 m haben. Haben Wasserstraßen I. Ordnung dagegen nur 10 m breite Schleusen (wie z. B. der Rhein-Herne-Kanal), dann muß dies durch einen in Klammern gesetzten Zusatz hinter der Ordnungsbezeichnung besonders vermerkt werden: z. B. Rhein-Herne-Kanal: „K I (B = 10)".

Ebenso wird bei Wasserstraßen II. Ordnung eine zusätzliche Breitenbezeichnung notwendig sein, wenn Schleusen geringerer Breite als 10 m an diesen Wasserstraßen vorhanden sind.

Trotz der auf den Nebenwasserstraßen z. Z. herrschenden verschiedenen Fahrwasserverhältnisse sollten Zusätze zur Bezeichnung von Wasserstraßen III. Ordnung unterbleiben, um auch hier das Ordnungsprinzip in dem Sinne zu betonen, daß die Anpassung des Ausbauzustandes auch dieser Wasserstraßen an das für die Wasserstraßen III. Ordnung einzuführende Standardschiff anzustreben sei.

Für Wasserstraßen IV. Ordnung sind ebenfalls keine Zusätze erforderlich, da diese Wasserstraßen nur örtliche Bedeutung haben.

Es gibt nun Wasserstraßen II. Ordnung, die zur Not auch von 80 m langen Kähnen befahren werden können, jedoch nur mit besonderer Genehmigung. Diese Wasserstraßen müssen die Bezeichnung II (I) erhalten.

Unter Beachtung dieser Grundsätze ergeben sich somit zusammenfassend folgende Klassenbezeichnungen für Wasserstraßen:

Tabelle 4

Klasseneinteilung der Wasserstraßen

Bezeichnung der Leistungsfähigkeit der Wasserstraße nach dem angenommenen Ordnungsprinzip	Klassenbezeichnung der Wasserstraße bei regul. Fluß	kanalisiertem Fluß	Kanal
Wasserstraßen für Kähne, länger als 80 m	F S	KF S	K S
Wasserstraßen für Kähne bis 80 m Länge mit 12 m breiten Schleusen	F I	KF I	K I
Wasserstraßen für Kähne bis 67 m Länge mit 10 m breiten Schleusen	F II	KF II	K II
Wasserstraßen für Kähne von mindestens 40 m Länge und 5 m Breite jedoch weniger als 67 m Länge	F III	KF III	K III
Wasserstraßen für Kähne geringerer Abmessungen als 40 m Länge und 5 m Breite	F IV	KF IV	K IV
Zusätze bei Bezeichnungen:			
Kanal II. Ordnung, für 80 m lange Schiffe mit besonderer Genehmigung befahrbar			K II (I)
Kanal I. Ordnung, jedoch mit Schleusen von nur 10 m Breite			K I (B=10)

Wasserstraßen III. und IV. Ordnung sind im betrachteten mitteleuropäischen Raum als Nebenwasserstraßen anzusehen.

Wenn man diese Bezeichnungen auf das mitteleuropäische Wasserstraßennetz anwendet, dann wird sich die jetzt vorhandene verwirrende Vielgestaltigkeit der Schiffahrtsbedingungen mit einem Schlage sehr vereinfachen und übersichtlich darstellen. Diese Form der Klasseneinteilung bringt daher ein einfaches und leicht faßliches Ordnungsprinzip in die Verkehrsverhältnisse auf den Wasserstraßen. Sie sollte nicht allein auf die Karten des Wasserstraßennetzes angewendet und an den Wasserstraßen selbst durch Schilder deutlich gemacht werden, auch die Fahrzeuge sollten korrespondierende Zeichen erhalten.

Rückwirkung einer Klasseneinteilung auf die Maßnahmen der Wasserstraßen- und Verkehrsverwaltungen.

Gleichzeitig aber birgt diese Klasseneinteilung eine Tendenz zur Vereinheitlichung des Wasserstraßennetzes in sich, die nicht ohne Rückwirkungen auf die Maßnahmen der Wasserstraßen- und Verkehrsverwaltungen sein kann.

Die Schiffahrt wünscht die durchgehenden Wasserwege so ausgebaut zu sehen, daß sie ohne Einschränkung die Ordnungsbezeichnung I erhalten können. Auch die Wasserstraßenverwaltungen müssen dieses Ziel anstreben, wodurch gleichzeitig ein festumrissenes Programm angegeben ist. Wenn dann von der Verkehrsverwaltung erreicht wird, daß auf diesen Wasser-

straßen nur Kähne verkehren, die ebenfalls die Ordnungszahlen I, II oder III tragen und damit zum Ausdruck bringen, daß sie ihrer Form und ihren Abmessungen nach als Standardtypen den Bedingungen dieser Wasserstraßen angepaßt sind, dann würde das Ziel erreicht sein, das wir im Wasserstraßennetz des mitteleuropäischen Raumes seit langem erstreben: Ein nach einheitlichen Grundsätzen ausgebautes Wasserstraßennetz, befahren von nach Einheitsgrundsätzen gebauten Kahntypen, die den Bedingungen dieses Wasserstraßennetzes technisch und wirtschaftlich möglichst günstig angepaßt sind. Es liegt auf der Hand, daß dies zusammen mit den in Aufsätzen von Schulze und Türk behandelten Maßnahmen auch wesentlich zur Beschleunigung des Verkehrs beitragen würde.

6

Klasseneinteilung der Wasserstraßen, Möglichkeit übernationaler Vereinheitlichung in verschiedenen Staaten mit zusammenhängendem Wasserstraßennetz

Von Erich Seiler, Oberregierungsbaurat in Offenbach a. M.

Zweck der Untersuchungen.

Um die Bestrebungen zu unterstützen, die auf die Bildung eines einheitlichen europäischen Wirtschaftsgebietes abzielen, sollte versucht werden, auch die Wasserstraßennetze der verschiedenen Länder zu einem einheitlichen System zusammenzufassen und diesem System ein solches Ordnungsprinzip zugrunde zu legen, das die Wasserstraßenverwaltungen der verschiedenen Länder anhält, für den weiteren Ausbau ihrer Wasserstraßen einheitliche Gesichtspunkte anzuwenden und damit auch eine Beschleunigung des Verkehrs zu ermöglichen. Diesem Ziel sollen die folgenden Anregungen dienen, in denen die Möglichkeit übernationaler Vereinheitlichung einer Klasseneinteilung der Wasserstraßen im Hinblick auf den Verkehr von einheitlichen Schiffgrößen beleuchtet wird.

I. Die Staaten Europas, die für eine Vereinheitlichung der Klasseneinteilung in Betracht kommen.

Wenn wir einen Blick auf die Landkarte Europas werfen, in der die einzelnen Wasserstraßen besonders hervorgehoben sind, so sehen wir auch in anderen Staaten außerhalb des mitteleuropäischen Raumes Systeme von Wasserstraßen. Und zwar zunächst besonders im Westen: in Frankreich, Belgien und den Niederlanden. Diese auch hängen mit dem mitteleuropäischen Netz unmittelbar und eng zusammen.

Auch östlich des mitteleuropäischen Raumes haben wir natürliche Wasserstraßen von gewaltiger Länge. Doch ist ihre Verbindung zu einem System von Wasserstraßen noch wenig entwickelt. Wir werden daher aus diesen Gebieten keine Anregungen für eine Vereinheitlichung des Wasserstraßennetzes empfangen können, während umgekehrt zu wünschen wäre, daß die im westeuropäischen Raum vorherrschenden Grundsätze auch auf den Ausbau dieser Wasserstraßen angewendet würden. Der Süden Europas dagegen wird von der Wasserstraße der Donau als der einzigen bedeutenden Schiffahrtsstraße dieses Raumes vollkommen beherrscht. Ein Wasserstraßennetz ist hier nicht vorhanden. Die Donau selbst dagegen ist sehr geeignet, in den Rahmen unserer Betrachtungen mit einbezogen zu werden.

II. Die vorhandenen Verkehrsmöglichkeiten in den Wasserstraßennetzen der außerdeutschen Staaten Europas.

Wenn man nun dem Gedanken nähertreten will, auch in den außerdeutschen Ländern mit zusammenhängendem Wasserstraßennetz eine

Klasseneinteilung dieser Wasserstraßen im Hinblick auf den Verkehr von einheitlichen Schiffsgrößen durchzuführen, so darf man dabei nicht in den Fehler verfallen, einen für den mitteleuropäischen Raum gültigen Maßstab auf andere Länder übertragen zu wollen, ohne deren Verhältnisse und Möglichkeiten genau studiert zu haben. Es muß vielmehr zunächst das Wasserstraßennetz jedes Landes für sich einer eingehenden Untersuchung unterzogen werden. Auch diese Netze haben sich historisch entwickelt, und die auf ihnen vorhandenen Verkehrsmöglichkeiten sind den besonderen in diesen Ländern vorhandenen Bedingungen angepaßt. Da die natürlichen Voraussetzungen in den einzelnen Ländern von einander verschieden sind, wird sich nach dem Abschluß dieser Untersuchungen zeigen, welche Schwierigkeiten einer übernationalen Vereinheitlichung im Wege stehen.

III. Die Entwicklung von einheitlichen Schiffsgrößen in den außerdeutschen Staaten Europas.

Sind nun auf diese Weise die Wasserstraßen selbst einer eingehenden Untersuchung unterzogen, so ist weiterhin zu prüfen, ob bei den Schiffsgefäßen in den einzelnen Ländern Bestrebungen zur Vereinheitlichung vorliegen und wieweit sie bereits in die Wirklichkeit umgesetzt sind.

Auch auf diesem Gebiet wird sich zeigen, daß die Verhältnisse in Frankreich wesentlich anders liegen als in Belgien oder den Niederlanden oder auf der Donau. Man wird daher zunächst die Entwicklung von Standardtypen in den einzelnen Ländern zu untersuchen haben und kann nur dann eine für die Praxis brauchbare Klasseneinteilung eines Wasserstraßennetzes vornehmen, wenn man sich zuvor darüber Klarheit verschafft hat, welche Art von Fahrzeugen man jetzt und für die Zukunft als maßgebend für das vorhandene Wasserstraßennetz des betreffenden Landes anzusehen hat.

IV. Möglichkeiten zur Klasseneinteilung im Wasserstraßennetz der außerdeutschen Staaten auf Grund der dort vorhandenen Verhältnisse.

Stehen auf Grund der vorstehend genannten Untersuchungen die Beziehungen fest, die zwischen Schiffstypen und Ausbau des Wasserstraßennetzes in technischer, wirtschaftlicher und verkehrstechnischer Hinsicht in den einzelnen Ländern herrschen bzw. als erstrebenswert angesehen werden, dann ist zunächst zu versuchen, eine diesen Verhältnissen angepaßte Klasseneinteilung der Wasserstraßen in jedem Lande durchzuführen. Es könnte sein, daß sich dabei für die einzelnen Länder ganz andere und verschiedenartige Gesichtspunkte als maßgebend herausstellen, die, auch wenn der Zweck der Klasseneinteilung in jedem Falle der gleiche sein soll, doch von anderen Grundsätzen ausgehen und zu einem anderen System führen können.

Wenn diese Untersuchungen vorliegen, wäre zu prüfen, ob die dabei gewonnenen Maßstäbe nicht auch auf den mitteleuropäischen Raum anwendbar sind und so vielleicht eine bessere Methode zur Vereinheitlichung solcher Maßnahmen im europäischen Raum gefunden werden könnte.

V. Die Anwendbarkeit der Klasseneinteilung des deutschen Wasserstraßennetzes auf das zusammenhängende Wasserstraßennetz Westeuropas und der Donau.

Derart umfangreiche und eingehende Untersuchungen können aus Mangel an den notwendigen Unterlagen derzeit nicht durchgeführt werden. Der Gang der Untersuchungen war daher nur anzudeuten.

Was die Erfahrungen aus dem Kriege anbetrifft, so kann nur soviel gesagt werden, daß der Mangel eines einheitlichen, nach modernen Grund-

sätzen ausgebauten Wasserstraßennetzes in ganz Europa sich selbstverständlich störend bemerkbar gemacht hatte und ein Austausch der Fahrzeuge nur beschränkt möglich war.

Da das mitteleuropäische Wasserstraßennetz das modernste zusammenhängende Wasserstraßennetz in Europa darstellt, soll daher hier unbeschadet der Notwendigkeit der oben angedeuteten Untersuchungen der Versuch gemacht werden, die für dieses Wasserstraßennetz als zweckmäßig gefundene Klasseneinteilung (vgl. den vorhergehenden Aufsatz) auch auf die anderen Länder anzuwenden.

Es müssen dazu zunächst Anhaltspunkte gefunden werden, die eine solche Übertragung als möglich erscheinen lassen. Da wir für die „Wasserstraßen III. Ordnung" ein Schiffsgefäß von etwa 40 m Länge als maßgebenden Schiffstyp gewählt haben, trifft für einen großen Teil des französischen Wasserstraßennetzes daher die Bezeichnung als Wasserstraßen III. Ordnung zu. 4 Schiffe von der Größe dieses Typs beanspruchen aber auch in Länge und Breite etwa den gleichen Platz wie ein 80 m langer Kahn. Es erschien daher besonders zweckmäßig, als Kriterium für die Wasserstraßen III. Ordnung ein Schiffsgefäß von derartigen Abmessungen zu wählen, einmal im Hinblick auf die Ausnutzbarkeit der Kunstbauten im mitteleuropäischen Wasserstraßennetz und die Anpassung dieses Schiffstyps an die Verhältnisse bei den durchgehenden Wasserstraßen dieses Netzes, wie auch mit Rücksicht auf eine Vereinheitlichung der Klasseneinteilung für die europäischen Wasserstraßen.

Wir können ferner feststellen, daß sich auch für den Neubau von Schiffahrtsstraßen im französischen Raume die gleichen Ausbaugrundsätze durchzusetzen beginnen, wie sie im mitteleuropäischen Raume entwickelt worden sind. So sehen wir, daß beim Ausbau der Rhone (Seitenkanal Donzère-Mondragon) Schleusen von 203 m nutzbarer Länge und 12 m Breite angelegt werden, die also den „Wasserstraßen I. Ordnung" entsprechen würden.

Ferner ist geplant (s. Zeitschrift „Der Bau" Nr. 23/1948 S. 10), die Mosel, die Saar, den Saarkohlenkanal und den Rhein-Marne-Kanal für 1000-t-Schiffe, d. h. in diesem Falle für Fahrzeuge von 67 m Länge der Ordnungsklasse II (Mosel-Kahn) auszubauen, um die zwischen Rhein und Mosel gelegenen Wasserwege zu einem einheitlichen Kanalnetz zusammenzufassen und eine günstige Zuleitung der Großschiffahrt zu dem innerfranzösischen Kanalnetz herzustellen, das den neuzeitlichen Verkehrsverhältnissen ebenfalls nicht mehr entspricht und in absehbarer Zeit einen Umbau auf größere Schiffsabmessungen, ebenfalls der Ordnungsklasse II, erforderlich machen dürfte. Damit wäre ein wesentlicher Schritt zur Vereinheitlichung des westeuropäischen Wasserstraßennetzes getan, wobei, wie wir sehen, bei den Planungen dazu die gleichen Tendenzen wirksam sind, die für den mitteleuropäischen Raum zu dem angegebenen Vorschlag für eine Klasseneinteilung angeregt haben.

Die Verhältnisse auf den Wasserwegen Belgiens und der Niederlande sind wesentlich vom Rhein her beeinflußt, so daß ein Teil der Wasserstraßen dieser Länder zur Klasse „S" gehört.

Auf Grund dieser Anhaltspunkte erscheint es auch ohne Vorliegen näherer Untersuchungsergebnisse durchaus möglich, das für den mitteleuropäischen Raum entwickelte System einer Klasseneinteilung auch auf den westeuropäischen Raum zu übertragen.

Für die Donau ist die Bezeichnung „F I" für den ganzen Lauf ab Regensburg vollkommen zutreffend.

VI. Die Rückwirkungen einer übernationalen Vereinheitlichung der Klasseneinteilung auf die Maßnahmen der nationalen Wasserstraßenverwaltungen.

Trotz der scheinbaren Verschiedenartigkeit der nationalen Wasserstraßennetze Europas wird es somit unzweifelhaft möglich sein, zu einer übernationalen Vereinheitlichung der Klasseneinteilung zu gelangen. Im Interesse der Verschmelzung der europäischen Wirtschaft sollte diesem Gedanken durch Einberufung einer europäischen Konferenz von Fachleuten baldigst näher getreten werden, um ein einheitliches System aufzustellen. Dieses System würde dann auch gleichzeitig ein klar umrissenes Programm enthalten, das nicht ohne Rückwirkungen auf die Maßnahmen der nationalen Wasserstraßenverwaltungen sein kann. Diese wären gehalten, sich beim schrittweisen Ausbau ihrer Wasserstraßennetze an die als allgemein gültig anerkannten Richtlinien zu halten und auch der Schiffahrt wäre in ihrem Drang nach immer größeren Schiffstypen endlich im volkswirtschaftlichen Interesse ein Halt entgegengerufen.

Der Entwicklung und dem Ausbau eines einheitlichen europäischen Wasserstraßennetzes aber wäre damit das Tor geöffnet und auf dem Gebiete des Verkehrs ein wesentlicher Beitrag für den Aufbau einer gesamteuropäischen Wirtschaft geleistet.

7

Neuere deutsche Bauausführungen und Projekte von Schiffshebewerken

Von Dr.-Ing. Martin Arens, Oberregierungsbaurat in Münster i. W.

I. Allgemeines.

1. Einfachheit und Dauerhaftigkeit.

Beim Internationalen Schiffahrtskongreß von 1902 in Düsseldorf ist der folgende Beschluß gefaßt worden: „Die Kammerschleusen bleiben die einfachsten und dauerhaftesten Einrichtungen zur Überwindung des Gefälles der Kanäle . . . . Bei Wassermangel bilden lotrechte Hebewerke eine durch die Erfahrung bewährte Einrichtung."

Dieser Beschluß ist auch beim Internationalen Schiffahrtskongreß von 1905 in Mailand ziemlich unverändert übernommen worden. Bemerkenswert ist dabei, daß im Jahre 1902 ausreichende Erfahrungen von genügender Zeitdauer nur mit Druckwasser-Hebewerken vorlagen.

Inzwischen sind nun die 3 großen deutschen lotrechten Schiffshebewerke Henrichenburg, Niederfinow und Rothensee (Abb 1 bis 3) in den Kreis der praktisch erprobten und im Betrieb langjährig bewährten Hebewerke eingetreten, von denen Henrichenburg und Rothensee als Schwimmerhebewerk und Niederfinow als Gegengewichtshebewerk konstruiert worden sind, und es kann als erwiesen angesehen werden, daß nach 50 Jahren Bewährungsprobe des Schiffshebewerkes Henrichenburg auch diesem Bauwerk die Eigenschaft einer „einfachen und dauerhaften Einrichtung" gleich den Kammerschleusen zuzuerkennen ist.

Einfach muß der Betrieb dieses Schwimmerhebewerkes zweifellos genannt werden. Es sind keine verwickelten Mechanismen vorhanden und keine Maßnahmen erforderlich, um die Schiffe während des Schleusens in ruhiger Lage zu halten, was bei Kammerschleusen oft erforderlich ist. Wäre der Betrieb des Hebewerkes Henrichenburg nicht so einfach, müßte es Verwunderung erregen, daß es unter härtesten Bedingungen, bei stoßweisem Verkehr, selbst während zweier langer Kriege einwandfrei gearbeitet und nur höchst selten infolge leichterer Störungen ausgesetzt hat. Müssen doch auch Kammerschleusen von Zeit zu Zeit gleich allen mechanischen Vorrichtungen überholt werden! Die Bewährungsprobe, die das Hebewerk Henrichenburg in seinen 50 Betriebsjahren abgelegt hat, wird erst dann richtig beurteilt werden können, wenn man sich vergegenwärtigt, daß Schiffshebewerke unbedingt als „einmalige" Konstruktionen angesehen werden müssen. Im Vergleich dazu liegen bei Kammerschleusen, von denen allein in den letzten 25 Jahren zwischen Rhein und Oder 127 gegenüber nur 2 Hebewerken gebaut worden sind, viel umfangreichere Erfahrungen vor, die die Ausführung neuer Schleusen erleichtern. Die Tatsache, daß die drei großen Schiffshebewerke von Henrichenburg, Niederfinow und Rothensee trotz ihrer

„Einmaligkeit" einwandfrei arbeiten, beweist die Richtigkeit ihrer Konstruktion, die Gediegenheit der Ausführung und die Einfachheit des Betriebes.

Auch als dauerhaft hat sich das Hebewerk Henrichenburg erwiesen, da es noch keinerlei ernste Alterungserscheinungen zeigt. Das Lebensalter der Schiffshebewerke Niederfinow und Rothensee ist noch zu kurz, als daß sich abschließende Folgerungen ziehen ließen. Das Hebewerk Henrichenburg aber dürfte gut und gern noch einmal 50 Jahre erleben! Dies beweisen die angestellten Untersuchungen. Nach einer Betriebsdauer von 40 Jahren wurde es genau nachgesehen. Die Schwimmerschächte wurden auf etwa 13 m ausgepumpt, so daß die Trogstützen und ihre Anschlüsse an die Schwimmkörper zugänglich waren. Das Untersuchungsergebnis war überraschend gut. Einige wenige durch Rost geschwächte Teile wurden ausgewechselt; hierzu gehörten besonders die Bodenplatten des Troges, namentlich in den runden Übergängen vom Boden in die Wände, die durch das Schleifen von Trossen angegriffen waren. Lose und herausgesprungene Niete wurden nur in ganz geringer Menge gefunden.

Um festzustellen, ob Ermüdungserscheinungen eingetreten waren, wurden von der Trogstütze 1 zwei Fachwerkstäbe ausgebaut, aus denen Probestücke zwecks chemischer Prüfung, Feststellung der Struktur in Querschliffen und Bestimmung der mechanischen Eigenschaften (Zerreiß-, Biege-, Kerbschlagproben) angefertigt wurden. Das Ergebnis bewies, daß trotz der langen Betriebszeit des Hebewerkes keine Versprödung durch Alterung eingetreten war. Dagegen ergab die gleichzeitig vorgenommene Prüfung des maschinellen und elektrischen Teiles des Hebewerkes manche Alters- und Abnutzungsschäden, wie nicht anders zu erwarten war. Immerhin ist bemerkenswert, daß trotz der Schwierigkeit von Schadensbeseitigungen während der Kriegszeit und trotz der Beschaffungsschwierigkeiten nach der Beendigung der Kampfhandlungen der Betrieb flott weitergelaufen ist.

Um den Beweis der „Dauerhaftigkeit" des Schiffshebewerkes Henrichenburg zu vervollständigen, sei auf den Aufsatz über die hauptsächlichen Betriebserfahrungen am Hebewerk Henrichenburg in der Zeitschrift „Die Wasserwirtschaft", Jahrgang 1949, Heft 3 hingewiesen. Danach sind erstmalig im Jahre 1916 die Bronce-Muttern der beiden Nordspindeln nach 76 549 Schleusungen und im Jahre 1929 auch die nördliche Unterhaupt-Spindelmutter ausgewechselt worden. Der ursprünglich 28 mm starke Gewindegang war bis auf 7 mm Stärke, also um 21 mm, abgenutzt. Seit 1935 werden Muttern aus stärkerem Material mit einer Brinellhärte H = 135 bei einer Festigkeit von 43 bis 48 kg/mm² verwendet. Da die Spindeln eine Brinellhärte H = rd. 200 besitzen, tritt dadurch kein stärkerer Verschleiß der Spindeln ein. Im Jahre 1938 mußten sämtliche 14 Kegelräder, die die Kraft des Spindelmotors auf die Spindeln übertragen, nach 40 Betriebsjahren wegen Verschleißes ausgewechselt werden.

Die Betriebserfahrungen am Schiffshebewerk Henrichenburg haben den überzeugenden Beweis erbracht, daß dieses Bauwerk auch das Attribut „dauerhaft" mit vollem Recht verdient.

2. Vorteile der Schiffshebewerke gegenüber Kammerschleusen.

Anknüpfend an die Frage, ob ein Schiffshebewerk „einfach" im Betrieb ist, möge der bekannte Vorteil der neuzeitlichen Schiffshebewerke Niederfinow und Rothensee, daß sie im Gegensatz zu den gewöhnlichen Kammerschleusen fast kein Betriebswasser verbrauchen, insofern besonders her-

Tabelle 1: Bisher ausgeführte Schiffshebewerke mit senkrechtem Hub (sämtlich mit Naßförderung)

Anzahl	Einfach- oder Doppel-Hebewerk	Ort	Wasserstraße	Bauart
1	Doppel		Grand-Western-Canal (England)	1838 erbaut nach Entwurf von 1796. Zwei Holztröge von 9 m Länge. Kähne von 8 t Ladefähigkeit. Gefälle rd. 14 m. Tröge dienen einander als Gegengewichte. Sie hängen an 3 Gelenkketten, die über Rollen geführt werden.
1 (2)	Doppel (Einfach)	Anderton (England)		1875 erbaut als Druckwasser-Hebewerk. 1906 als Gegengewichtshebewerk umgebaut, und zwar wird jetzt jeder Trog für sich durch Gegengewichte an Drahtseilen ausgeglichen. Gefälle 15,10 m. Kähne von 100 t.
1	Doppel	Les Fontinettes	Kanal von Neuffossée (Nordfrankreich)	1888 erbaut für Schiffe von 300 t. Gefälle rd. 13 m. Druckwasserhebewerk.
1	Doppel	La Louvière	Canal du Centre (Belgien)	1888 vollendet. Für Schiffe von 400 t. Gefälle 15,40 m. Druckwasserhebewerk.
3	Doppel	Houdeng-Aimeries, Bracquegnies Thieu	dgl.	1909 begonnen, 1917 in Betrieb genommen, für Schiffe von 300 t. Gefälle 16,93 m. Druckwasserhebewerk.
2	Doppel	Peterborough Kirkfield	Trent-Kanal (Kanada)	Gefälle 19,8 m u. 15,24 m. Druckwasserhebewerke für Schiffe von 800 t.
1	Einfach	Henrichenburg	Dortmund-Ems-Kanal (Deutschland)	1899 vollendet. Fünfschwimmerhebewerk für Schiffe von 800 t.
1	Einfach	Niederfinow	Großschiffahrtsweg Berlin—Stettin (Deutschland)	1934 vollendet. Gegengewichtshebewerk für Schiffe von 1000 (bis 1250) t.
1	Einfach	Rothensee	Mittellandkanal (Deutschland)	1938 vollendet. Zweischwimmerhebewerk, für Schiffe von 1000 (bis 1250) t.

vorgehoben werden, als zu einer Kammerschleuse in einem künstlich zu speisenden Schiffahrtskanal in der Regel auch ein Pumpwerk gehört, welches das Schleusungswasser wieder der oberen Kanalhaltung zuführt. Dieses Pumpwerk stellt mithin eine zur Kammerschleuse gehörende Maschinen-

gruppe dar, die die Bau- und Betriebskosten erhöht und Störungen im Betrieb ausgesetzt ist. Nachteilig gegenüber Schiffshebewerken wirken sich ferner beim Betrieb einer Kammerschleuse die Wellen in den anschließenden Kanalhaltungen aus. Über dieses Problem ist u. a. auf dem XVI. Internationalen Schiffahrtskongreß in Brüssel eingehend verhandelt worden*). Die in der oberen Haltung entstehende Senkungswelle ist für den Schiffsverkehr im allgemeinen nicht so von Bedeutung wie die Hebungswelle in der unteren Haltung, denn die Zuführung von Wasser in die Schleusenkammer beim Füllen derselben muß langsam beginnen und allmählich anwachsen, um die ruhige Lage der Schiffe in der Schleusenkammer nicht zu gefährden. Hierauf braucht beim Entleeren der Schleusenkammer weniger Rücksicht genommen zu werden. Daher geht die Entleerung schneller vor sich als die Füllung und bewirkt eine größere Hebungswelle. Ihre Höhe ist in bestehenden Kanälen mit 40 cm und mehr gemessen worden. Um die Wellen unschädlich zu machen, werden häufig größere Wasserquerschnitte im Anschluß an die Schleusen gewählt. Der Vorschlag eines früheren Schiffahrtskongresses, zum Unschädlichmachen der Schleusenwellen den Ufern größere Rauhigkeit zu geben, ist m. W. niemals zur Ausführung gekommen. Schließlich müssen auch die nahegelegenen Brücken, die über den Kanal führen, eine größere Durchfahrtshöhe und damit höhere und längere Rampen haben. All dies verursacht zusätzliche Kosten zu Lasten der normalen Kammerschleusen, die bei einem Kostenvergleich zwischen Hebewerk und Kammerschleuse nicht außer Acht gelassen werden dürfen.

Ob auch die Hebewerke Niederfinow und Rothensee das Attribut „dauerhaft" verdienen werden, wird die Zukunft lehren. Immerhin hat ersteres sich bereits 15 Jahre und letzteres 11 Jahre bewährt. Wie sicher sich die Erbauer des Hebewerkes Rothensee schon im Voraus des Erfolges ihrer Arbeit gewesen sind, geht daraus hervor, daß schon mehrere Jahre vor Beendigung dieses Baues auf der anderen Seite der Elbe genau nach denselben baulichen Grundsätzen mit der Herstellung des Doppelschiffshebewerkes Hohenwarthe begonnen worden ist. Es handelt sich hier um zwei Einzelhebewerke von ungefähr gleicher Größe und gleichem größten Hub wie Rothensee (Regelhub 18,60 m). Nach Fertigstellung der Schwimmerschächte und der Trogkammern hat wegen des Krieges der Bau des Doppelhebewerkes Hohenwarthe eingestellt werden müssen.

II. Entwicklung des Schiffshebewerkbaues mit den drei Bauwerken Henrichenburg, Niederfinow und Rothensee.

Die Entwicklung, die der Hebewerksbau mit den 3 Bauwerken Henrichenburg, Niederfinow und Rothensee erfahren hat, ist erstens als eine ausgesprochene Vervollkommnung in grundsätzlichen Fragen des Hebewerksbaues anzusehen, und zwar im Zusammenhang mit den größeren Abmessungen des Troges und dem größeren Hub, mit der Rücksichtnahme auf weniger tragfähige Bodenschichten, mit der Vervollkommnung der Betriebseinrichtungen, mit der Beschleunigung des Schiffsverkehrs und mit dem Streben nach Niedrighalten der Bau- und Betriebskosten und des Verschleißes der Konstruktionsteile. Zweitens handelt es sich um die Anwendung von neueren Fortschritten der Technik mit gleicher Zielsetzung; als Beispiel hierfür mögen dienen bei der Antriebsregelung das Leonard-Aggregat in Niederfinow und Rothensee und die Photozelle beim Hebewerk Niederfinow, die das selbsttätige Anhalten des Troges in der zum

*) Vgl. den Aufsatz von Wiener über Schleusungs- u. Kraftwerkswellen in Schifffahrtskanälen.

Wasserstand der Haltung richtigen Höhenlage bewirkt. Im folgenden werden wegen des beschränkten Raums nur die grundsätzlichen Fragen des Hebewerkbaues behandelt.

1. Entwicklung in der Wahl der Hebewerksysteme.

Einen Überblick über die sich steigernden Anforderungen an die Abmessungen des Troges und das zu überwindende Gefälle gibt Tabelle 2.

Tabelle 2: Trogabmessungen und Gefälle.

	Canal du Centre	Henrichenburg	Niederfinow	Rothensee
Vollendet im Jahre . .	1888 (Nr. I La Louvière) 1917 (Nr. IV Thieu)	1899	1934	1938
Trogabmessungen:				
Länge m	43	70	85	85
Breite m	5,80 (5,30)	8,6	12	12
Tragfähigkeit der Schiffe	300 bis 400 t	750 t	1000 (bis 1250) t	1000 (bis 1250) t
Höchstgefälle m	15,40 (Nr. I) 16,93 (Nr. II bis IV)	16	37,21	18,67

Diese Tabelle zeigt, daß die Troglänge auf fast das Doppelte und die Trogbreite auf über das Doppelte angewachsen ist. Daraus ergibt sich eine rund vierfache Grundrißfläche und ein rund vierfaches Gewicht der Wasserfüllung. Die Wassertiefe im Trog ist nicht wesentlich größer geworden. Dieses erhebliche Anwachsen der zu bewegenden Last hat die Bauart der neuen Hebewerke im allgemeinen mehr beeinflußt als das Höchstgefälle, das nur bei Niederfinow völlig aus dem Rahmen des bisher Dagewesenen herausfällt.

Bei dem belgischen Hebewerk von La Louvière erreicht der Wasserdruck in den Preßzylindern 34 at. Eine Vergrößerung des Gewichtes der beweglichen Nutzlast würde entweder eine entsprechende Vergrößerung des Kolbendurchmessers oder des Wasserdrucks oder beides bedingen. Alle diese Lösungen bereiten technische Schwierigkeiten. Eine Steigerung des Wasserdrucks erhöht die Schwierigkeiten der Abdichtung, während eine Vergrößerung des Kolbendurchmessers die ohnehin schon nicht einfache Unterhaltung der umfangreichen Stopfbüchsen erschwert. Die Wahl von zwei statt eines Preßzylinders wäre bedenklich, weil damit gerechnet werden muß, daß bei Leckwerden des Troges oder aus einem anderen Grunde eine verschiedene Belastung der beiden Kolben eintreten kann, die Klemmungen und Verbiegungen zur Folge haben würde. Auch wäre der Unterhaltungsaufwand an den zwei Stopfbüchsen doppelt. In Anbetracht der sonstigen Nachteile dieser Bauart (starre Verbindung zwischen Hebewerk und Baugrund, konzentrierter Kraftangriff in der Druckwasserpresse, unzugängliche Anordnung wichtigster Maschinenteile) ist daher das Druckwasserhebewerk für die gesteigerten Anforderungen an die Abmessungen des Troges nicht mehr zur Anwendung gekommen. Es muß aber gesagt werden, daß die Preßwasserhebewerke in vieler Hinsicht sehr bemerkenswert sind und die Betriebssicherheit sich mit entsprechendem

Aufwand wie bei den neuen Schwimmerhebewerken und Gegengewichtshebewerken gleichfalls noch steigern ließe. Z. B. würden statt der hydraulischen Antriebe der einzelnen Apparate neuzeitliche elektrische Antriebe gewählt werden können.

Das Schwimmerhebewerk bietet demgegenüber einen wesentlichen Fortschritt, insbesondere durch Loslösung des Hauptteiles des Hebewerks von dem Fundament. Es ist daher sogar unempfindlich gegen Bodenzerrungen infolge Bergbau zu machen. Sein Nachteil sind die Baukosten für die Schwimmerschächte, die bei schlechtem Baugrund und großer Hubhöhe zur Unwirtschaftlichkeit des Systems führen können. Bei Henrichenburg steht dichter, fast waagerecht gelagerter fester Mergel ohne Klüfte und mit geringer Wasserführung an. Bei Rothensee war zunächst Sand und Kies, dann Geschiebemergel, Septarienton, sehr feiner Sand (sog. Magdeburger Grünsand) zu durchteufen, und etwa 37 bis 44 m unter Gelände stand felsartige Grauwacke und Tonschiefer an, die von den Bohrungen nicht durchfahren worden waren. In beiden Fällen boten sich mithin günstige Bedingungen für die Anlage der Schwimmerschächte. Immerhin waren bei Rothensee die Abteufkosten durch das infolge des Grünsandes anzuwendende Gefrierverfahren schon erheblich.

So günstige Untergrundbedingungen lagen in Niederfinow nicht vor. Hier standen am Fuße eines Talhanges hauptsächlich alluviale und diluviale stark wasserführende Sande an. Das große Gefälle von (maximal) 37.21 m hätte die Abteufung hinreichend tiefer Schwimmerschächte unter diesen Verhältnissen übermäßig erschwert und verteuert. Dies führte zur Wahl eines Gegengewichtshebewerkes.

Für Rothensee sind vor Beginn des Baues vergleichende Wirtschaftlichkeitsberechnungen durchgeführt worden, wobei die Bau- und Betriebskosten für ein Gegengewicht- und ein Vierschwimmerhebewerk (s. unten) gegenüber gestellt wurden. Es ergab sich ungefähre Gleichheit der Baukosten, aber eine Überlegenheit des Vierschwimmerhebewerkes durch geringere Unterhaltungskosten infolge der wesentlichen Verringerung der maschinellen Anlage, weil die vielen Seilscheiben mit ihren zu schmierenden Lagern und die Seile fortfallen. Das für Rothensee später gewählte System mit nur zwei Schwimmern ergab sich an Baukosten um 4 v. H. billiger als das Vierschwimmerhebewerk und damit auch als das Gegengewichtshebewerk. Die Überlegenheit des Zweischwimmersystems gegenüber einer größeren Anzahl von Schwimmern wird in einem späteren Abschnitt nachgewiesen werden.

Diese hier kurz geschilderten Erkenntnisse und Entscheidungen sind das Ergebnis jahrzehntelanger sorgfältigster Vorarbeiten an den verschiedensten Stellen gewesen. Teilweise sind umfangreiche Versuche ausgeführt worden, z. B. Erprobung des Antriebes für das Hebewerk Niederfinow an Hand eines Teilmodells 1 : 5, Untersuchung der Seilsteifigkeit für Niederfinow mittels eines Seilversuchsturmes in Berlin-Dahlem, Vorarbeiten für die Gefriergründung der Schwimmerschächte Rothensee und Hohenwarthe in einer Frostversuchsstation bei Rothensee u. a.

2. Erzielung des Gewichtsausgleiches.

Bei den Schwimmerhebewerken ist ohne weiteres kein vollständiger Gewichtsausgleich vorhanden, denn das auf den Schwimmern ruhende Traggerüst für den Trog verliert beim Eintauchen ins Wasser der Schwimmerschächte an Gewicht durch Auftrieb. Das „bewegliche System" ist also beim Trog in oberer Stellung schwerer als in der unteren Stellung.

Der Trog des Hebewerks Henrichenburg wird daher während der Talfahrt mit 3 cm Wasser mehr belastet als bei der Bergfahrt. Das ergibt einen Wasserverbrauch von rund 18 m³. Bei dem belgischen Druckwasserhebewerk La Louvière wird die Talfahrt mit 32 cm Mehrwasser erzwungen, wobei trotz der kleineren Trogabmessungen 80 m³ Wasser verbraucht werden. Da der Gewichtsunterschied beim Hebewerk Henrichenburg infolge des vorhandenen oder fehlenden Auftriebes der Troggerüste 39 t beträgt, ergibt sich, daß dieser Einfluß größer ist als der der Wasserzusatzlast für die Talfahrt. Es wird also nicht durch das Über- oder Untergewicht der Wasserfüllung allein die Antriebskraft auf das bewegliche System ausgeübt, sondern durch den Elektromotor, der die 4 Spindeln in drehende Bewegung setzt (s. unten). Sollte der Fall eintreten, daß der Wasserstand im Trog vor Beginn der Fahrt nicht genau genug eingestellt ist, so läßt sich die dadurch eintretende Überlastung des Motors während der Fahrt am Ampèremeter feststellen und der gewünschte Zustand erreichen, indem noch nachträglich während der Fahrt Wasser zu- oder abgelassen wird. Dadurch werden Störungen (Überanstrengung des Spindelmotors, Heißlaufen der oberen Spindelspurlager) vermieden.

Beim Hebewerk Rothensee ist der Gewichtsausgleich in der höchsten Trogstellung beim Sollwasserstand von 2,50 m im Trog vollständig erzielt. Die beim Abwärtsfahren durch das Eintauchen der Troggerüste erzeugte Gewichtsverminderung wird nahezu ausgeglichen durch eine Auftriebsverminderung, die dadurch bewirkt wird, daß jeder Schwimmer in seiner Achse einen durchlaufenden, oben geschlossenen, unten offenen Schacht hat, der mit Preßluft gefüllt ist. Die Preßluftsäule wird beim Niederfahren des Troges zusammengepreßt, ihre Raumverminderung gleicht die Gewichtsverminderung infolge Eintauchens des Traggerüstes nahezu aus. Dieser günstige Gewichtsausgleich drückt sich in einer geringeren Motorenleistung aus. Es ist sogar möglich, ohne Überlastung der Motore mit einer Über- oder Unterlast von 80 t zu fahren, was einer Wasserschwankung im Troge von ± 7 cm entspricht.

Einer Gleichgewichtsstörung infolge Vollaufens der Schwimmer ist durch zwei in jeden der beiden Schwimmer eingebaute Zwischenböden vorgebeugt, die den Schwimmer in drei nahezu gleich große Zellen aufteilen. Preßluftfüllung der Schwimmerzellen mit einem den größten Außenwasserdruck übersteigenden Druck verhindert weiter das Eindringen von Wasser.

Vollkommener Gewichtsausgleich wird beim Gegengewichtshebewerk dadurch erzielt, daß Ausgleichsketten zwischen Trog und Gegengewichte gehängt sind, die das jeweilige Übergewicht der Seile auf der einen oder anderen Seite der Seilscheibe in jeder Höhenlage des Troges ausgleichen. Da vier solcher Ausgleichsketten das Gewicht von 256 Seilen auszugleichen haben, wiegt 1 m Ausgleichskette soviel wie 256 : 4 = 64 m Seil. Die Seile mit Zubehör und die Ausgleichsketten zusammen vermehren die bewegte Last um 240 t.

Neben dieser regelmäßigen und daher ausgleichbaren Ursache einer Gleichgewichtsstörung können Über- oder Unterlasten durch unrichtige Trogfüllung eintreten, sei es infolge Unachtsamkeit beim Anfahren an die Haltungen, sei es aus Windstauänderung während des Ein- und Ausfahrens von Kähnen, durch Wasserstandsänderungen beim Schleusen in der benachbarten Schleusentreppe oder aus anderen Gründen. Schließlich kann im Grenzfalle wohl gar mit einem völligen Auslaufen des Troges gerechnet werden, wobei eine Ungleichheit von 2690 t (Niederfinow) entsteht.

Solche Gleichgewichtsstörungen sind bei allen Hebewerken zu berücksichtigen, und es wird gezeigt werden, welche Einrichtungen die Hebewerke gegen Schäden und Gefahren in solchen Fällen schützen.

Wesentlich ist aber, daß alle Hebewerke mit „Naßförderung" im Gegensatz zu denen mit „Trockenförderung" (mit trockenem Schiffstrog) im Regelbetrieb weitestgehenden Gewichtsausgleich besitzen. Die Leistungen der Antriebsmotoren und die Abmessungen der Getriebeteile bleiben daher in mäßigen Grenzen. Ein weiterer Vorteil besteht darin, wie die folgenden Abschnitte zeigen werden, daß bei den Hebewerken mit Naßförderung ein Abweichen vom Gewichtsausgleich als Beginn einer Störung oder gar einer Katastrophe erkannt werden kann, dem sogleich durch selbsttätige Maßnahmen entgegengearbeitet wird, was die Betriebssicherheit erheblich steigert.

Es wird sich auch in den folgenden Abschnitten als zweckmäßig erweisen, im allgemeinen das Hebewerk Rothensee v o r dem von Niederfinow zu behandeln, obwohl es einige Jahre später gebaut worden ist, damit erst die beiden Schwimmerhebewerke Henrichenburg und Rothensee erörtert werden und erst dann das Gegengewichtshebewerk Niederfinow.

3. E n t w i c k l u n g d e s A n t r i e b s.

Bei den Preßwasserhebewerken des Canal du Centre sind keine Vorkehrungen zur Sicherung der Tröge während der Bewegung oder in den Endstellungen für den Fall eines Bruches oder einer Beschädigung von Konstruktionsteilen oder der Dichtungen vorhanden. Es ist allerdings große Sorgfalt auf zuverlässige Ausbildung der gefährdeten Bauteile gelegt worden.

Dieselbe Sorgfalt hat auch bei den neueren Hebewerken Platz gegriffen. Außerdem ist aber noch eine besondere Sicherung des Troges gegen unerwünschte Auf- und Abwärtsbewegung in den sogenannten „Katastrophenfällen" (Trogleerlauf und Vollaufen der Schwimmer) angebracht. Diese besteht in einer Abfangvorrichtung für den Trog, die gänzlich unabhängig von der normalen Trugunterstützung ist, aber mit dem Antrieb des Troges gekoppelt ist. Beim Henrichenburger Fünfschwimmerhebewerk wird der Antrieb durch vier lotrechte Spindeln bewirkt, die sich innerhalb von Schraubenmuttern drehen, welche an dem Trog befestigt sind. Die Spindeln sind durch Wellenleitungen miteinander verbunden und bewirken somit eine gleichmäßige, von der Drehzahl des Motors abhängige Auf- und Abbewegung und Parallelführung des Troges. Neben dieser Funktion haben die Spindeln noch die zweite Aufgabe, in den „Katastrophenfällen" als Trogabfang zu dienen, wobei sie erhebliche lotrechte Lasten aufzunehmen haben. Bei Trogleerlauf sind diese Kräfte infolge des Überschusses an Auftrieb nach oben gerichtet und bei Wassereintritt in die Schwimmer nach unten. Die Querebenen, in denen die beiden Spindelpaare liegen, befinden sich in der Mitte zwischen dem 1. und 2. und zwischen dem 4. und 5. Schwimmer. Solange das „bewegte System" (Trog mit Schwimmern und Zwischenstützen) ganz oder annähernd im labilen Gleichgewicht ist, sind die Belastungen der Trogbrücke nicht erheblich. Tritt aber der Fall ein, daß entweder der Trog leerläuft oder bis zum Rand volläuft oder einer oder mehrere Schwimmer vollaufen, so ergeben sich für die Trogbrücke sehr ungünstige Belastungsfälle. Ihre Berücksichtigung hat bei Wahl dieser Bauart für ein größeres Schiffshebewerk ein entsprechend großes Gewicht und hohe Kosten für die Brücke zur Folge, selbst wenn man für solche außergewöhnlichen Fälle

erhöhte Spannungen zuläßt. Diese Tatsache hat, wie wir sehen werden, zur Wahl des Zweischwimmerhebewerks für Rothensee geführt.

Das Gewinde der Spindeln des Hebewerkes Henrichenburg ist doppelgängig mit einer Steigung von 7° 40' oder einem Tangens von 0,135. Es ist nicht selbstsperrend. Unter Mitwirkung der Reibung in den Spindelspurlagern tritt aber in den meisten Lastfällen Selbstsperrung ein. Für alle Fälle wird durch eine Bremse, die auf die Motorwelle wirkt, dafür gesorgt, daß der Trog sich nicht von selbst in Bewegung setzen kann. Für den Spindelantrieb stehen 70 bis 80 PS zur Verfügung; es ist aber eine vorübergehende Steigerung bis zu 150 PS möglich.

Das Hebewerk Rothensee ist mit feststehenden Spindeln und drehbaren Trogmuttern ausgerüstet. Dies bedeutet einen großen Fortschritt gegenüber Henrichenburg. Damit der Spindelantrieb nämlich seine zweite Aufgabe, den Trog in den „Katastrophenfällen" in jeder beliebigen Höhenlage festzuhalten, ohne Zuhilfenahme einer Bremse erfüllen kann, muß er mit Sicherheit selbstsperrend sein. Dies trifft für Henrichenburg nicht zu, und der Henrichenburger Trog ist tatsächlich viermal im Laufe der Zeit infolge eines ungewollten Überwiegens des Auftriebes über die nach unten gerichteten Lasten von der unteren Lage aus nach oben in Bewegung geraten. Bei Wahl des Spindel-Steigungswinkels steht die Forderung nach einem günstigen Wirkungsgrad für den normalen Betrieb bei antreibendem Motor (großer Steigungswinkel!) der zweiten Forderung nach Selbstsperrung bei antreibendem Trog (kleiner Steigungswinkel!) entgegen. Dabei ist aber zu beachten, daß der Gesamtwirkungsgrad des Spindeltriebs außer von dem Spindelsteigungswinkel auch noch von dem Reibungswert des Spurlagers beeinflußt wird. Der Gesamtwirkungsgrad ist nun nicht in jedem Belastungsfall gleich groß. Ist z. B. infolge etwas zu geringer Wasserfüllung im Henrichenburger Trog ein Auftriebsüberschuß um so viel vorhanden, wie die Spindeln wiegen (40 t), so sind die Spurlager unbelastet und der Gesamtwirkungsgrad ist nur von dem Widerstand im Gewinde abhängig. In diesem Falle setzt also der Gesamtantrieb dem Druck des Troges auf das Gewinde den geringsten Sperrwiderstand entgegen. Dabei ist die auf das Gewinde wirkende Kraft nach oben gerichtet, d. h. der Trog sucht sich nach oben in Bewegung zu setzen, wenn er nicht durch Bremsen gehalten wird. Gefährlich ist dies dann, wenn der Trog sich nachts in unterer Lage (wegen des geringsten Winddruckes) befindet und die Bremsen versagen.

Ordnet man dagegen wie bei Rothensee die Spindeln fest und die Muttern beweglich an, so werden die Spurlager der Muttern dann unbelastet, wenn das Gleichgewicht im Gewinde durch zu hohe Wasserführung des Troges um das verhältnismäßig geringe Maß des Gewichtes der Muttern gestört ist. Im Falle geringsten Sperrwiderstandes sucht also hier der Trog sich nach unten zu bewegen, wo ihm nur ein kurzer Weg bleibt, so daß kein Schaden entstehen könnte. Außerdem ist die Kraft in diesem Gefahrenfall so klein, daß sie nicht zur Beschleunigung der Massen reicht.

Die Spindeln von Rothensee haben ein viergängiges Flachgewinde mit engem Spiel zwischen den Gewindegängen der Mutter und der Spindel und sind bei einem Steigungswinkel von 7° 40' unter Mitwirkung des Reibungswiderstandes der Lagerung der Muttern selbstsperrend. Zweimal vier Gleichstrommotore von je 60 PS bewirken den Antrieb.

Die oben ausgeführten Nachteile, die ein Fünfschwimmerhebewerk hinsichtlich der Belastung der Trogbrücke in den Katastrophenfällen aufweist, sind bei Rothensee durch die Wahl von nur zwei Schwimmern statt deren fünf (oder vier, wie eine Zeitlang geplant worden war) vermieden worden.

Der Trog ruht fest auf dem Traggerüst des einen Schwimmers und längsbeweglich auf dem des anderen. Die beiden Schwimmer sind so angeordnet, daß ihre Achsen in den die Spindelpaare enthaltenden Querebenen liegen. Zwar werden die Momente aus der Eigenlast und der Wasserfüllung des Troges dann nicht durch Momente aus dem Schwimmerauftrieb entlastet, dafür ist aber die Trogbrücke bei Leerlauf des Troges nur noch mit dem Eigengewicht belastet, weil der Schwimmerauftrieb dann unmittelbar in die Spindeln geht, und beim Vollaufen eines oder beider Schwimmer wird ebenso die ganze lotrechte Zusatzlast von den Spindeln abgefangen, ohne erst durch die Trogbrücke geleitet zu werden. Aus diesen statischen Vorteilen, die sich außerdem auch auf die Triebwerks- und Sicherungsteile auswirken, ergeben sich wieder erhebliche Kostenersparnisse am „bewegten System" und an den Führungsgerüsten. Außerdem werden die Herstellungskosten für nur zwei Schwimmerschächte und Schwimmer bedeutend geringer. Vergleiche haben ergeben, daß das Zweischwimmerhebewerk für den Fall Rothensee sich im Bau um 4 v. H. billiger stellte als das Vierschwimmerhebewerk.

Der auf- und niedergehende Trog wird durch Führungseinrichtungen gegen waagerechte Kräfte in seiner Bahn gehalten. Diese bestehen aus Führungsschienen, die am Führungsgerüst angebracht sind, und aus Führungsrollen am bewegten System. Diese Rollenführungen sind beim Hebewerk Rothensee doppelseitig mit Vorspannung federnd angeordnet. Es konnte daher auf einen Spielraum zwischen Schienen und Rollen zwecks Vermeidung von Zwängungen verzichtet werden, und dies ist auch mit Rücksicht auf den Spindelantrieb notwendig.

Beim Hebewerk Niederfinow ist eine noch weitergehende Aufteilung der betrieblichen Funktionen auf verschiedene Maschinenteile vorgenommen worden. Hier wird erstens der Gewichtsausgleich durch Gegengewichte an 256 Drahtseilen hergestellt, zweitens die Antriebskraft durch Zahnstangengetriebe aufgenommen, die gleichzeitig die Parallelführung des Troges gewährleisten, und drittens die Trogsicherung für Katastrophenfälle durch besondere Organe bewirkt, die erst bei größeren Gleichgewichtsstörungen in Funktion treten. Dies geschieht dadurch, daß mit jedem Zahnstangentrieb ein Sicherheitsgesperre verbunden ist, das aus einer selbstsperrenden kurzen Schraubenspindel (Drehriegel) besteht, welche in einer von oben bis unten durchlaufenden geschlitzten Mutter (Mutterbackensäule) mit Spiel nach oben und unten, der Trogbewegung folgend, gedreht wird. Es befinden sich also fest am Hebewerksgerüst die Zahnstangen und Mutterbackensäulen, dagegen am Trog drehbar, aber sonst starr die Drehriegel, während die Zahnritzel am Trog derart federnd gelagert sind, daß sie bei Erreichen einer bestimmten Überbelastung nach oben oder unten nachgeben und damit die Gänge der Drehriegel zum Anliegen an die Gänge der Mutterbackensäulen bringen (Abb. 4). Zahnritzel und Drehriegel müssen also zusammen angetrieben werden, damit die Drehriegel im normalen Betrieb die Mutterbackensäule nicht berühren.

Die federnd gelagerten Ritzel geben erst dann nach, wenn der Zahndruck nach oben oder unten den Wert von 30 t übersteigt. Zu diesem Zwecke sind die Federn in beiden Richtungen vorgespannt. Steigt der Zahndruck von 30 t bis 52 t an, so verändern die Federn ihre Länge, wobei ein ausnutzbarer Federweg von 120 mm zurückgelegt werden kann. Dieser entspricht einem Ausschlage des Antriebsritzels von 30 mm. Bei weiterem Anwachsen des Zahndruckes tritt durch den Drehriegel, dessen rauh bearbeitetes Gewinde einen Steigungswinkel von $7^1/_2°$ hat, Sperrung der Trogbewegung ein. So wird der Trog sicher in Ruhestellung gebracht und vermieden, daß

die Zahngetriebe überlastet werden. Bei gänzlichem Trogleerlauf würden sie bis zu 650 t Belastung je Ritzel erhalten, was eine wirtschaftliche Dimensionierung erschwert. Diese Last geht ohne Nachteile in den Drehriegel über.

Als Antriebsmotor besitzt jede der 4 durch eine Wellen-Ringleitung miteinander verbundenen Antriebmaschinen einen Gleichstrommotor von 75 PS, dessen Geschwindigkeit durch Leonardschaltung geregelt wird.

4. Steuerung des Antriebes und Bremsung.

Wie die Steuerung des Antriebes der Schiffshebewerke und die selbsttätige Bremsung sich zugunsten einer aufs Höchste gesteigerten Betriebssicherheit vervollkommnet hat, möge folgenden Betrachtungen entnommen werden.

Beim Hebewerk Henrichenburg wird die Bewegung des Troges durch Einschalten des elektrischen Stromes eingeleitet und durch Ausschalten desselben beendet. Außerdem sorgt noch zur Sicherheit ein Endausschalter für selbsttätige Unterbrechung der Stromzuführung. Schließlich wirkt als weitere Sicherung gegen eine unerwünschte Trogbewegung über die Endstellung hinaus das Vorhandensein des Keildichtungsrahmens, der an den Haltungen angebracht ist und gegen den sich der Trog preßt (s. unten). Jedes Ausschalten des Fahrstromes hat sofortiges Anlegen der Antriebsbackenbremse zur Folge.

Beim Hebewerk Rothensee wird der Antrieb grundsätzlich ebenso gesteuert wie in Henrichenburg, nur ist durch die Leonardschaltung eine wesentliche Vereinfachung der Steuerung ermöglicht worden, indem durch die Dämpfungsmaschine die Drehzahl stufenlos auf- und abwärts geregelt wird. Erst nach 1 m Fahrt wird die Geschwindigkeit von 15 cm/sec erreicht und 1 m vor dem Ende des Hubes setzt eine für die richtige Erreichung der Endstellung erforderliche Verlangsamung der Fahrgeschwindigkeit ein. Sicherheitsbremsen, die durch elektrohydraulische Bremslüfter stoßfrei bedient werden, überwachen die Trogbewegung. Der zum Antrieb dienende Gleichstrom wird auf dem Trog in einem rotierenden Umformer erzeugt. Der Drehstrom wird dem Trog durch Schleifschuhe zugeführt, die auf Stromschienen am Führungsgerüst gleiten. An beiden Enden des Trogbedienungssteges sind Steuertafeln aufgestellt, von denen aus alle Arbeitsvorgänge des Hebewerkes (Antrieb des Troges, der Trogverriegelungen, der Andichtrahmen, der Spaltventile und der Tore) in zwangsläufiger Aufeinanderfolge gesteuert werden.

Auch beim Hebewerk Niederfinow, das ja schon vor dem von Rothensee gebaut worden ist, wird die Geschwindigkeit der Antriebsmotoren durch Leonardschaltung geregelt. Jeder dieser Motoren arbeitet über eine Rutschkupplung auf die erste Vorgelegewelle. Diese trägt auch die Bremsvorrichtungen. Da der Trogantrieb (Zahnstangentrieb) nicht selbstsperrend ist, kommt ihnen eine besondere Bedeutung zu. Gebremst wird an jedem Antriebe zunächst durch eine Backenbremse, die durch ein Gewicht angezogen und durch einen Hubmagneten gelöst wird. Die Bremskraft der vier Backenbremsen zusammen ist so groß, daß auf die Antriebsritzel kein Zahndruck infolge Gleichgewichtsstörungen kommen kann, der imstande wäre, den Antrieb durchzuziehen, bevor der Trog durch Ausschlagen der Ritzel infolge Nachgiebigkeit der Ritzellagerung auf die Sicherheitsspindeln (Drehriegel) abgesetzt ist. Zur Erhöhung der Sicherheit ist eine zweite, von der ersten abweichende Bremsvorrichtung eingebaut.

Das richtige Anfahren des Troges an die Haltungen wird bei allen 3 Anlagen durch mechanische Zeigervorrichtungen überwacht. Außerdem

ist bei den Hebewerken Rothensee und Niederfinow noch eine selbsttätige elektrische Begrenzung des Fahrweges vorhanden, die sich auch den wechselnden Wasserständen der Haltungen selbsttätig anpaßt.

Eingehende Veröffentlichungen über das Schiffshebewerk Niederfinow sind von verschiedenen Verfassern in den Jahren 1927 bis 1935 in der Zeitschrift „Die Bautechnik" oder ihrer Beilage „Der Stahlbau" erschienen. Sie wurden 1935 zu einem Sonderdruck zusammengefaßt. Auf sie wird für Einzelheiten, zu deren Erörterung es hier an Platz fehlt, verwiesen.

Läßt sich angesichts der weitgehenden Verfeinerung des Antriebsmechanismus auch nicht mehr von „Einfachheit" der Konstruktion sprechen, so darf nicht vergessen werden, daß auch bei neuzeitlichen Kammerschleusen erheblich höhere Anforderungen an die Zuverlässigkeit der Bewegungsmechanismen gestellt werden als bisher und daß diese dann ebenfalls nicht mehr als „einfach" bezeichnet werden können.

Hinsichtlich des Betriebswasserverbrauches kommt dem Hebewerk am nächsten die Sparschleuse. Eine der neuesten Sparschleusen mit je drei Sparbecken beiderseits der Kammer ist die Doppelschachtschleuse Sülfeld am Mittellandkanal. Für jede Füllung und jede Entleerung der Kammer müssen acht Ventile in zwangsläufiger Reihenfolge im richtigen Zeitpunkt geöffnet und wieder geschlossen werden. Größte Sorgfalt in der Abstimmung der Vorgänge ist dabei erforderlich, um die Schiffe in der Kammer nicht zu gefährden. Noch verwickelter ist der Mechanismus einer Speicherschleuse mit geschlossenen kammerartigen Sparbecken, wie sie in vollendeter und bewährter Bauart am Mittellandkanal bei Hannover-Anderten gebaut ist. Hier besitzt jede der beiden Einzelschleusen rechts und links der Schleusenkammer je 25 Speicherbecken, die alle ihr Ventil zum Füllen und Entleeren besitzen.

Im Vergleich mit diesen Sparschleusen bleibt die Bauart auch der neueren Schiffshebewerke einfach zu nennen. Das Grundprinzip und die Bedienung dieser Hebewerke sind fraglos einfach. Fehlern in der Handhabung der Apparate ist durch sinnreiche Einrichtungen weitestgehend vorgebeugt. Es kann von einer neuzeitlichen Maschine, die Gewähr für Betriebssicherheit bietet, nicht mehr verlangt werden, daß sie einfach im Sinne von primitiv ist. Die Forderung muß lauten: „Einfach im Grundgedanken und in der Bedienung, unbedingt betriebssicher in allen denkbaren Fällen, wirtschaftlich und flott im Betrieb!" Diese Forderung kann bei den neueren Hebewerken als erfüllt gelten.

5. Anschluß zwischen Trog und Haltung.

Mit vorstehenden Ausführungen sind die grundsätzlichen Probleme des Hebewerkbaues, die den Gewichtsausgleich, die Sicherheitsvorrichtungen und die Antriebssteuerung betreffen, behandelt worden. Aus Platzmangel konnte auf die Bauart und die Eigenart der Schwimmer, der Seile mit Seilscheiben, der Tröge und der Hebewerksgerüste nicht näher eingegangen werden. Von den vielen anderen Einzelfragen werden noch die für den Betrieb wichtigen erörtert.

Jeder der beiden Haltungsabschlüsse des Hebewerkes Henrichenburg wird U-förmig von einem eine keilförmige Abschlußplatte tragenden Dichtungsrahmen umfaßt, gegen den der Trog mit keilförmiger Anschlußplatte anläuft. Der Dichtungsrahmen am Haltungsende ist zum Ausgleich der wechselnden Haltungswasserstände in seiner Höhe verstellbar. Die Dichtung zwischen Trog und Haltung erfolgt durch geringes Zusammenpressen des Dichtungsgummis, gegen den sich das Trogende mit seiner schräg

anlaufenden Abschlußfläche anpreßt. Der Trog darf nicht erheblich zu hoch anfahren.

Bei Rothensee ist zum Schließen des i. M. 12 cm breiten Spaltes zwischen Trog und Haltung auf dem Trog an seinen beiden Enden je ein U-förmiger, beweglicher Spaltdichtungsrahmen vorhanden, der stopfbüchsenartig gegen den Trog abdichtet und maschinell gegen das Stirnschild der Haltung vorgeschoben wird, an dem er mit einer Gummileiste abdichtet. Vorher wird der bewegliche Teil des Hebewerkes mit zwei durch Schraubenspindeln längsbeweglichen Haken gegen zwei an dem Haltungsabschluß als Gegenhalter fest angebrachte Haken angelegt. Diese Vorrichtung leitet die durch die Wasserfüllung des Spaltes, den Anpreßdruck und etwaige sonstige Belastungen in Troglängsrichtung entstehenden Kräfte in das Haupt über, so daß die Führungsgerüste von diesen Kräften entlastet sind.

Beim Hebewerk Niederfinow ist, aber auf den Haltungsenden untergebracht, zum Dichten des Spaltes ebenfalls je ein Rahmen mit Gummileiste vorhanden, der an den Trogschild angepreßt wird (Abb. 5). Die Trogverriegelung besteht an jeder Haltung aus zwei starken Hebeln, die zu beiden Seiten des Troges angeordnet sind und gegen Anschläge am Trog angedrückt werden, die durch einen unter dem Trogboden angebrachten trapezförmigen Gelenkrahmen beweglich verbunden sind, so daß ungleiche Drücke beider Seiten ausgeglichen werden. An der unteren Haltung, wo bei hohem Unterwasser ein größerer Spaltwasserdruck auftritt, sind die Verriegelungshebel und ihr Antrieb mit dem Haltungsabschluß selbst verbunden, um die Kräfte unmittelbar auf diesen überzuleiten. Die Hebel der oberen Trogverriegelung sitzen am Führungsgerüst.

6. Trog- und Haltungstore.

Beim Hebewerk Henrichenburg werden die Haltungs- und die Trogtore beim Öffnen zusammengekuppelt. Der Spalt wird vom Oberwasser her gefüllt. Beim Abfahren fließt das Spaltwasser in die Trogkammer, von wo es in das Unterwasser gepumpt wird.

Beim Hebewerk Rothensee ist jedes Trogtor mit seinem Haltungstor elektrisch gekuppelt. Das Spaltwasser wird von den Haltungen durch Rohre in den Spalt geleitet. Beim Entleeren fließt es durch eine besondere Rohrleitung ab, am Oberhaupt unmittelbar zum Unterwasser, am Unterhaupt in ein Sammelbecken in der Trogkammer. Infolge des starken Unterschieds der unteren Haltungswasserstände (Elbe) von 6,64 m ist eine besondere Vorkehrung erforderlich, um den Anschluß zwischen Hebewerkstrog und Unterhaupt jederzeit zu erreichen. In einer Kammer des Unterhauptes ist ein lotrecht verschiebbares Schütz, Schildschütz genannt, angeordnet, das gegen das Unterwasser dichtet. In seinem oberen Rand ist die Durchfahrtsöffnung für den Schiffsverkehr eingeschnitten. Sie wird durch das Haltungshubtor verschlossen. Das Schildschütz kann in Stufen von 0,90 m dem wechselnden Unterwasserstand folgend verstellt werden. Eine Umstellung reicht meist für längere Zeit aus und braucht auch bei schnell steigendem Unterwasser höchstens einmal am Tage vorgenommen zu werden.

Beim Hebewerk Niederfinow sind die Trogtore mit den Haltungstoren durch Trogverriegelung kraftschlüssig verbunden. Jedes der Tore kann gegen 10 cm Wasserüberdruck geöffnet werden. Die Spaltwassermenge beträgt 5 bis 7 m^3; das Spaltfüllen dauert nur 30 Sek., das Leeren etwa 20 Sek.

7. Hubgeschwindigkeiten, Schleusenzeiten.

Beim Hebewerk Henrichenburg beträgt die Hubgeschwindigkeit im Mittel **10** cm/s und die Hubdauer rund 2½ Minuten (Hub 16 m).

Bei Niederfinow dauert mit einer Hubgeschwindigkeit von **12** cm/s der ganze Hub für den rund 36 m langen Weg rund 5 Minuten.

Dieselben Daten betragen für Rothensee **15** cm/s und rund 2 Minuten bei größtem Hub von 18,67 m.

Das Anwachsen der Hubgeschwindigkeit ist also nur unbeträchtlich. Wichtig ist die schnelle Abwicklung der Nebenverrichtungen: Trogverriegelung, Spaltdichtung, Spaltfüllung und -entleerung und Bewegung der Tore. Ausschlaggebend aber ist bei jedem Schleusenbetrieb die Schnelligkeit der Schiffsbewegungen. Um diese zu fördern, werden für den Übergang der Kähne zwischen den Vorhäfen und dem Trog und umgekehrt elektrische Treidelanlagen verschiedener Art angewandt.

Im Vergleich zu Kammerschleusen ist der Hebewerksbetrieb flott. Z. B. dauert nach dem Einfahren eines Kahnes in den Trog des Hebewerkes Niederfinow (Dauer 300 s) die Betätigung der Verschlüsse knapp 3 Minuten. Davon entfällt auf:

Tore senken	42 Sekunden
Spaltwasser leeren	16 „
Dichtungsrahmen zurückschieben	28 „
Trogverriegelung lösen	12 „
	98 Sekunden

Dann begibt sich der Trogaufseher auf den Trog, den er in rund 5 Minuten (300 s) umsetzt, worauf die Verschlüsse am anderen Haltungshaupt in umgekehrter Reihenfolge in 108 Sekunden betätigt werden. Das Ausfahren des Schiffes dauert rund 220 s. Von der Gesamtschleusungszeit von durchschnittlich 20 Minuten entfallen mithin auf die Schiffsbewegungen und auf den Bewegungsbetrieb des Hebewerkes durchschnittlich je rund 10 Minuten. Eine solche Schnelligkeit ist bei Kammerschleusen nicht möglich, geschweige denn bei Sparschleusen. Deshalb ist die Leistungsfähigkeit eines Hebewerkes auch größer als die einer gleichgroßen Kammerschleuse (etwa das Doppelte einer gewöhnlichen Sparschleuse). Die früher einmal erhobene Forderung nach „Schleppzug-Hebewerken" trägt diesem Umstand nicht genügend Rechnung und ist technisch nicht zu vertreten.

III. Zukunftsaussichten.

Neben der konstruktiven Vervollkommnung der Schiffshebewerke in allen Einzelteilen ist eine damit Schritt haltende Verbesserung der Materialgüte und -zuverlässigkeit und eine Verfeinerung der Werkstattechnik und Präzision eingetreten. Hieran sind die ausführenden Stahlbau-, Maschinenbau- und Elektro-Unternehmungen wesentlich beteiligt. Die neueren Hebewerke haben sich seit 1934 (Niederfinow) bzw. 1938 (Rothensee) bewährt und lassen bezüglich Zuverlässigkeit, Betriebssicherheit gegen Katastrophenfälle und Dauerhaftigkeit nichts zu wünschen übrig. Hieraus ergibt sich, daß einer weiteren Vergrößerung des Troges konstruktiv und betrieblich nichts entgegensteht. Im deutschen Binnenschiffahrtsnetz wird sie wahrscheinlich nicht notwendig sein, weil dessen Ausbau für absehbare Zeit auf das 1000-t-Schiff in Norddeutschland und das 1200- bis 1500-t-Schiff in Süddeutschland festgelegt ist. In Ländern, wo das Seeschiff in großen Strömen tief landeinwärts vordringt, wird es jedoch bei dem heutigen Stande der Werkstattechnik vielleicht sogar möglich sein, Hebewerke für seegehende

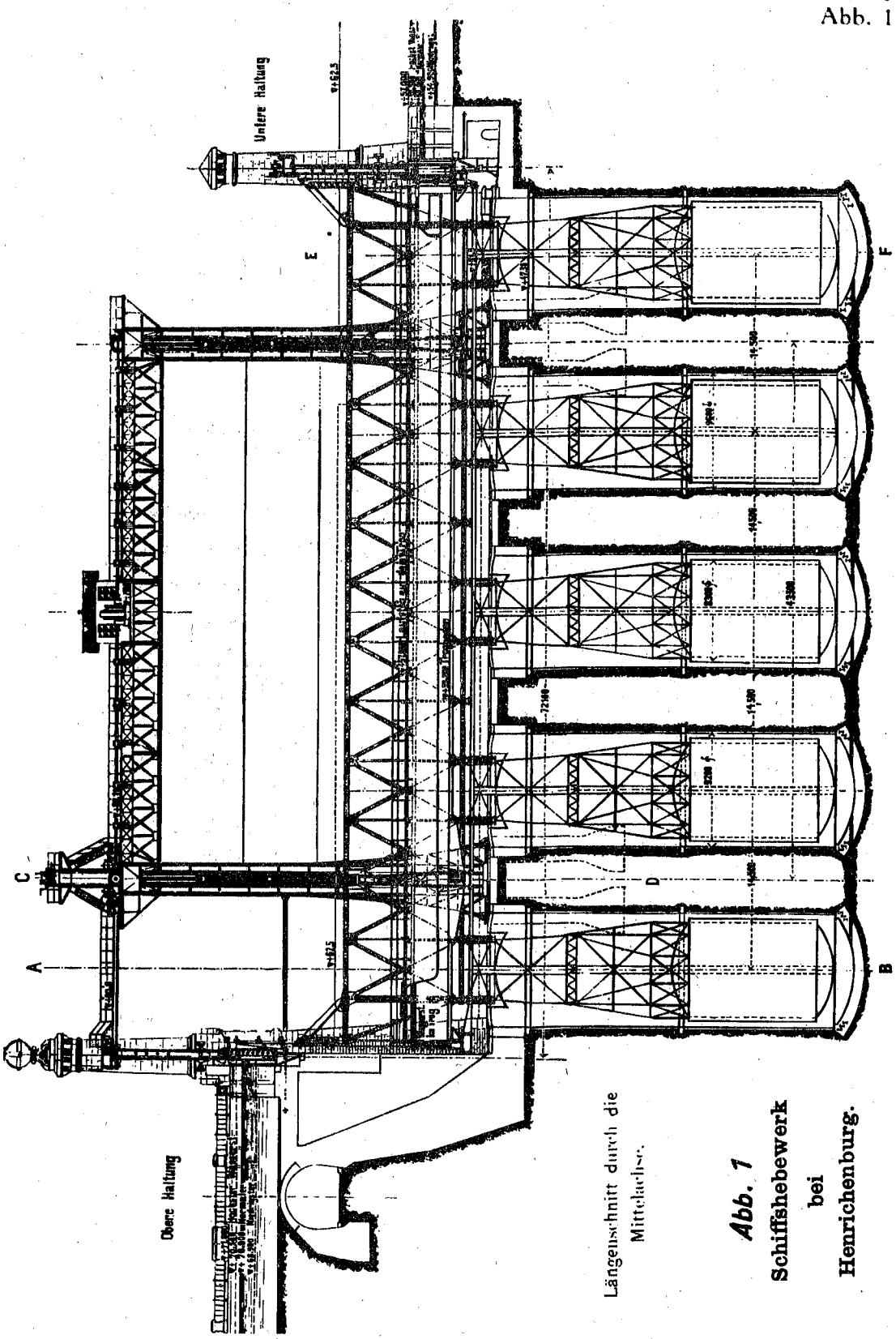
Schiffe zu bauen. Auch läßt sich die Hubhöhe noch über 37 m vergrößern. Dabei wird es allerdings Schwierigkeiten bereiten, Spindeln von der erforderlichen Länge herzustellen und zwar aus werkstattechnischen- und Transportgründen. Dagegen können Mutterbackensäulen auch noch in weit größeren Längen als in Niederfinow angewendet werden. Dort sind sie in Stücken von etwa 6 m Länge hergestellt. Die Werkstattbearbeitung mit einer Sondermaschine gelang so genau, daß sich nach der Montage beim Durchdrehen eines Meßdrehriegels kaum meßbare Abweichungen des durchlaufenden Gewindefadens gegenüber dem Sollmaß ergaben. Die Wahl des Gewichtsausgleiches bei sehr großen Hubhöhen bleibt in erster Linie von der Beschaffenheit des Untergrundes abhängig. Die in Niederfinow verwendeten Seile verlängern sich durch die Belastung um rund 200 mm, nachdem sie durch Vorrecken bereits eine bleibende Dehnung von 400 mm erfahren haben. Ungleichmäßigkeiten der Seildehnung wird durch eine Waagebalkenkonstruktion und durch Spannschrauben begegnet. Man kann so auch längere Seile als in Niederfinow verwenden. Auch das Schwimmerhebewerk ist bei gutem Baugrund bis zu weit größeren Hubhöhen als in Rothensee verwendbar. Bei felsigem Untergrund dürfte eine Wirtschaftlichkeitsrechnung ergeben, ob eine Vergrößerung des Schwimmer- und Schachtdurchmessers gegenüber Rothensee Vorteile bringt. Die bei großen Hubhöhen anwachsenden Höhen der Troggerüste über den Schwimmern begegnen zunächst noch keinen Schwierigkeiten, und auch die zunehmende Bedeutung der Gleichgewichtsstörungen durch Veränderung des Auftriebs beim Untertauchen der Troggerüste ist zunächst noch kein Hinderungsgrund, da Ausgleichsmöglichkeiten bestehen.

Wenn sich auch die Hebewerke Niederfinow und Rothensee unter den Bedingungen ihres Standortes bewährt haben, ist damit nicht ausgeschlossen, daß in Ländern mit abweichenden Verhältnissen auch andere Lösungen gefunden werden müssen. Zweifellos werden dabei die Erfahrungen bei den Vorarbeiten für Niederfinow und Rothensee und bei der Ausführung verwertet werden können. Auch in Deutschland sind seit Abschluß der Vorarbeiten für das Hebewerk Rothensee schon wieder neue beachtenswerte Vorschläge für wichtige Hebewerksteile gemacht worden (z. B. Antrieb mittels Ritzel und Laschenzahnstangen und Sicherung durch doppelte Schneckensperrgetriebe für beliebige Hubhöhen und sowohl für Schwimmer- wie für Gegengewichtshebewerke). Anlaß gab das Auftauchen neuer Hebewerkprojekte vor dem Kriege, wobei bereits das 1200- bis 1500-t-Schiff für die Bemessung des Troges zugrunde gelegt wurde. Die Entwicklung im Hebewerksbau ist daher keineswegs abgeschlossen. Der Verfasser dieser Zeilen hat einen Hebewerksantrieb mit federnd gelagertem Drehriegel erfunden, der ebenfalls für jede beliebige Hubhöhe und sowohl für Schwimmer- wie Gegengewichtshebewerke anwendbar ist.

Jedenfalls ist das Schiffshebewerk im Vergleich zur Kammerschleuse um so mehr am Platze, je größer das zu überwindende Gefälle wird. Denn bei Wahl von Schleusen muß man schon wegen des erheblichen Wasserverbrauchs für große Gefälle den Höhenunterschied auf mehrere Schleusen verteilen, was wiederum für den Betrieb nachteilig ist.

Mögen die vorstehenden Ausführungen über die wichtigsten und grundsätzlichen Fragen des Schiffshebewerkbaues dazu beitragen, das Vertrauen der Fachkreise zu der Leistungsfähigkeit und Betriebssicherheit der Schiffshebewerke zu festigen.

Nr. 7
Abb. 1



Längsschnitt durch die Mittelachse.

Abb. 1
Schiffshebewerk bei Henrichenburg.

Nr. 7
Abb. 2

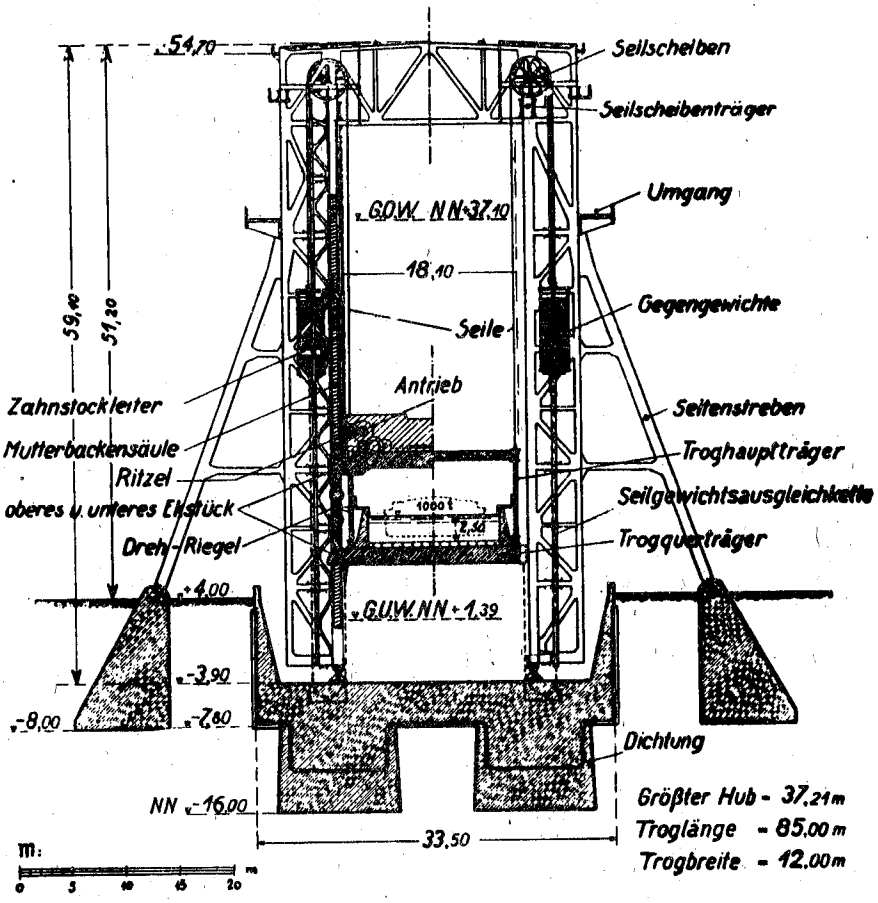


Abb. 2 Querschnitt des Hebewerks Niederfinow
(schematisch)

Nr. 7
Abb. 3

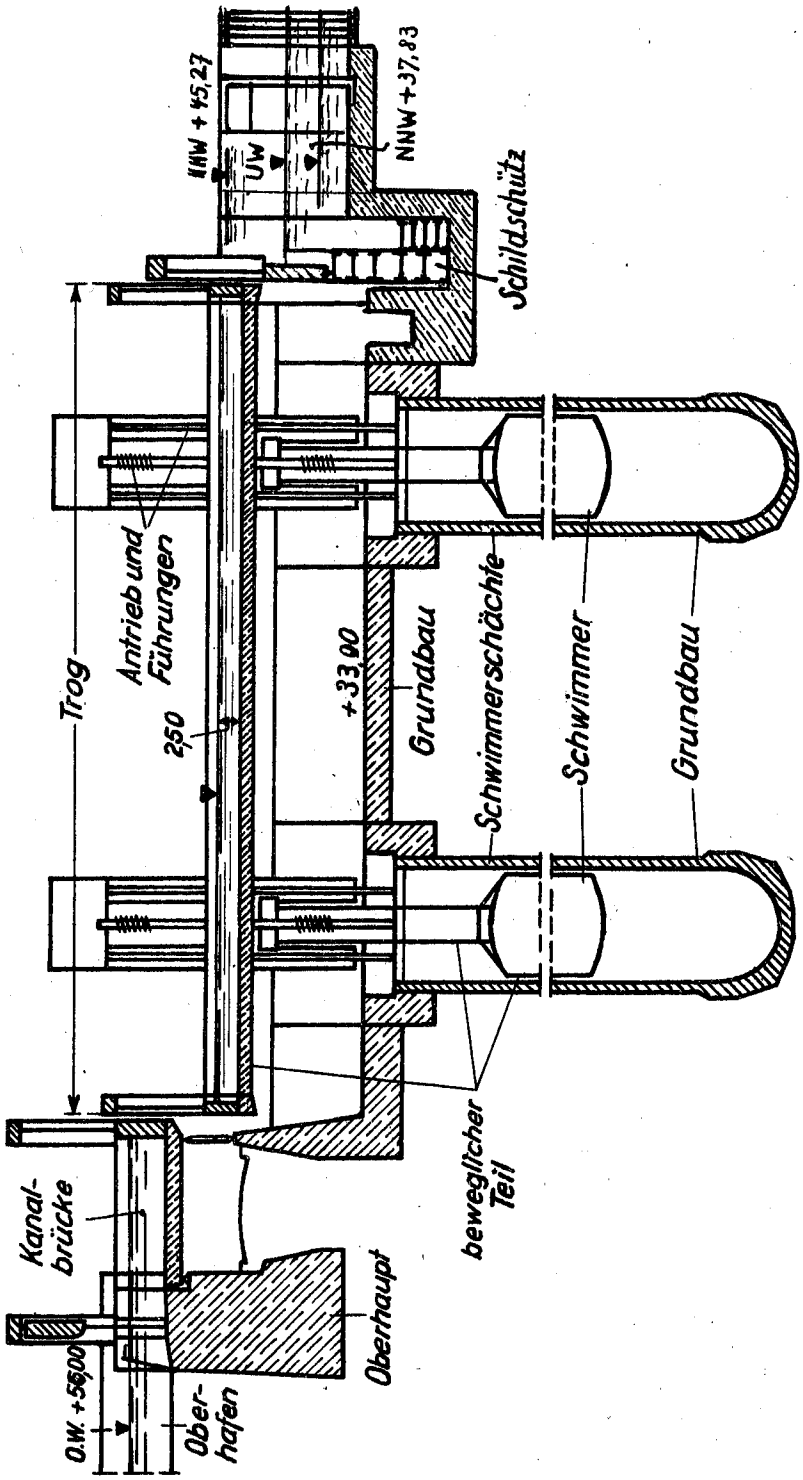


Abb. 3 Längsschnitt des Hebewerks Rothensee (schematisch)

Abb. 4

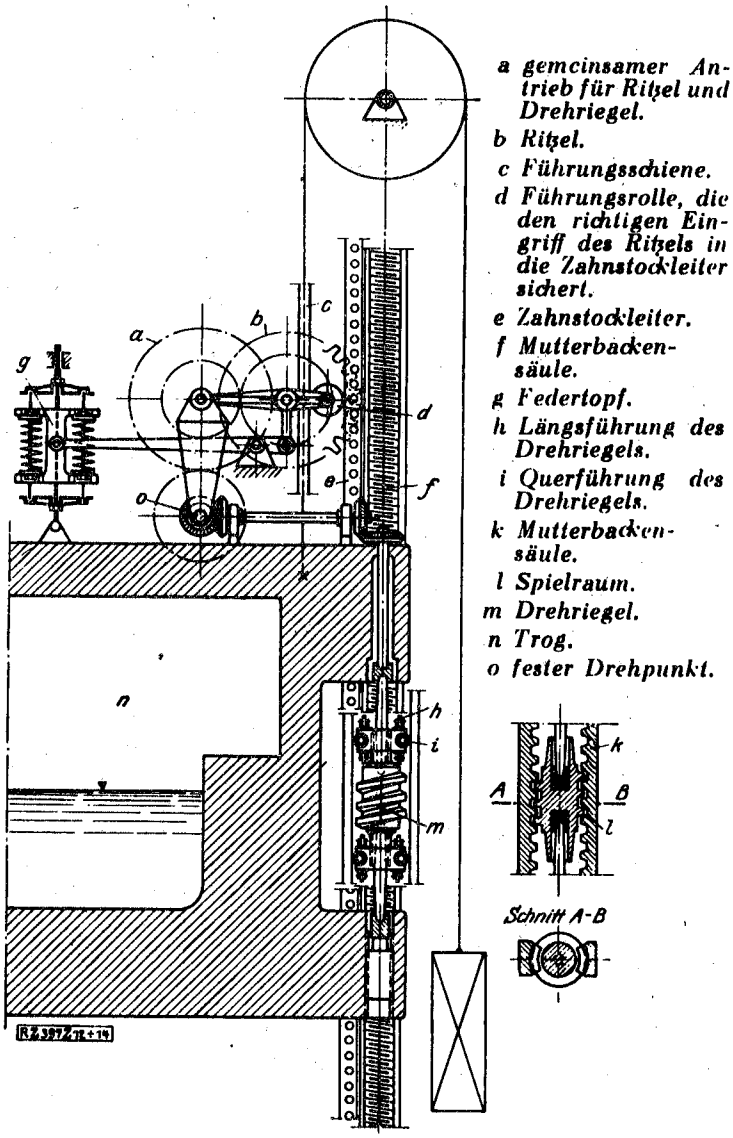


Abb. 4 Schema des Antriebs des Hebewerks Niederfinow.

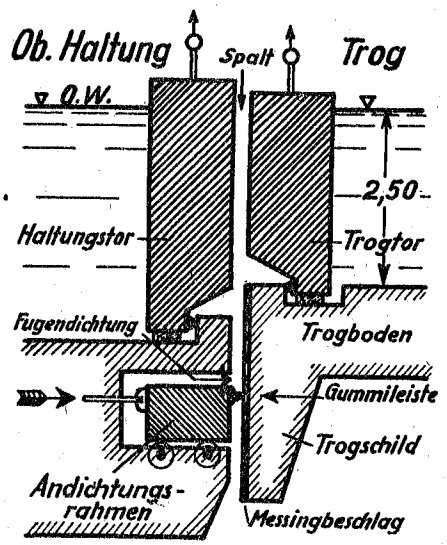


Abb. 5 Dichtungsrahmen des Hebewerks Niederfinow. (Schema)

8

Die Bedeutung der Speicherbecken für die Schiffahrt auf den Wasserstraßen des Wesergebietes.

Von Hans Ertmann, Oberregierungsbaurat in Hannover.

I. Übersicht und allgemeine Bedeutung der Speicherbecken im Wesergebiet.

Mannigfache Speicherungsvorgänge, teils natürlicher teils künstlicher Art, sind in den Kreislauf des Wassers eingeschaltet und beeinflussen den Abflußvorgang. Auch der Wasserhaushalt des Wesergebietes ist solchen Speicherungseinflüssen unterworfen. Zahlreiche Stauanlagen unterbrechen im gesamten Gewässernetz der Weser den stetigen oberirdischen Wasserablauf und speichern Wasser in mehr oder minder großem Umfange, überwiegend in der Zeit geringerer Wasserführung. Größere natürliche Seen sind, abgesehen vom Steinhuder Meer und vom Dümmer See im Wesergebiet nicht vorhanden. Um so mehr fallen die künstlichen Seen ins Gewicht, die in den Quellgebieten durch Talsperren gebildet werden, deren Speichervermögen das ganze Jahr hindurch wirksam ist. Im Flußtal nehmen größere und kleinere natürliche Rückstaugebiete und auch künstliche Polder bei Hochwasser erhebliche Wassermengen auf, wenn auch nur für verhältnismäßig kurze Zeit. Spezielle Hochwasserrückhaltebecken sind im Wesergebiet verschiedentlich geplant, aber noch nicht ausgeführt.

Die Steuerung aller dieser Speicherungsvorgänge vollzieht sich in einem Rythmus, dessen Takt durch die natürlichen Gegebenheiten bzw. durch den Zweck einer künstlichen Anlage bestimmt ist, der aber in der Regel dem Rythmus des natürlichen Ablaufes entgegengesetzt ist und infolgedessen ausgleichend wirkt. Ihre Wirkungen sind jedoch sekundärer Natur und aufgelagert auf dem primären Einfluß des größten natürlichen Speichers, der den Wasserläufen in der gemäßigten Zone zur Verfügung steht, nämlich des unterirdischen Wassers, sowohl in der Form des Grundwassers als auch in dem des Boden- oder Haftwassers. Es ist zwar weitgehend dem Zugriff der Menschenhand entzogen, aber trotzdem in weitaus höherem Maße wirksam als selbst die größten künstlichen Speicherbecken. Es hat im Gegensatz z. B. zur linienwirksamen Talsperre eine ausgesprochene Flächenwirkung. In seiner Wirkungsweise kann es mit einem ausgedehnten natürlichen See verglichen werden, der auch ohne künstliche Regulierung wasserspeichernd und auf den Abfluß ausgleichend wirkt, jedoch mit dem maßgeblichen Unterschiede, daß sich die Bewegung des Wassers im Boden äußerst langsam vollzieht und die Speicherwirkung daher ganz bedeutend größer ist. Die Aufenthaltsdauer des Wassers in einem durchströmten See beträgt je nach der Größe der Oberfläche nur wenige Stunden oder höchstens einige Tage, im Boden dagegen mehrere Monate. Aufschluß über die Größe der Bodenspeicherung, die sich der direkten Messung entzieht, geben die Unter-

suchungen von Fischer über den Wasserhaushalt des Wesergebietes (s. Bes. Mitteilungen zum Jahrbuch für die Gewässerkunde Norddeutschlands, Band 7 Nr. 2). Danach ergibt der Verlauf der Bodenspeicherung im Gebiet der Weser bis zur Allermündung für die Jahresreihe 1896 bis 1915, abgeleitet als Summenlinie der Unterschiede zwischen dem Zufluß zum Grundwasser, also Niederschlag minus Verdunstung (N—V) und dem gemessenen Abfluß (A) ein größtes Ausmaß der Schwankungen von Jahr zu Jahr in Höhe von rund 150 mm. Diese Jahresperiode wird aber noch überlagert von den Schwankungen innerhalb eines Jahres, deren durchschnittliches Ausmaß sich für das genannte Gebiet aus Bild 2 zu rund 120 mm ergibt. Die maximale Inanspruchnahme des unterirdischen Wasservorrats kann somit zu rund 150 + 120 = 270 mm angenommen werden. Bild 2 läßt auch die Größe der Verzögerung des unterirdischen Wasserablaufes erkennen. Wenn man die im Monat März sowohl bei N — V, als auch bei A auftretende Schwellung unberücksichtigt läßt, die offenbar von dem in diesem Monat überwiegenden Einfluß des oberirdischen Wasserablaufes herrührt, so erkennt man aus der Verlagerung der Scheitel (max und min) eine Verzögerung des unterirdischen Wasserablaufes um 2 bis 3 Monate. Daß die Verzögerung im Sommer größer ist als im Winter, erklärt sich durch die geringere Fließgeschwindigkeit infolge geringeren Grundwassergefälles. Allen diesen Untersuchungen haftet insofern noch eine gewisse Unsicherheit an, als nur die Werte von N und A gemessen sind, während die Werte von V, die sich der unmittelbaren Messung entziehen, teils nach den damals noch spärlichen Lysimetermessungen eingeschätzt, teils nach statistischen Methoden berechnet worden sind. Es ist aber zu hoffen, daß neuere Messungen und Untersuchungen (wie z. B. die Arbeiten von Dr. Natermann — Landesamt für Gewässerkunde Hannover) eine genauere Feststellung der Gebietsverdunstung und des gesamten Wasserhaushalts ermöglichen werden. Wesentliche Abänderungen sind jedoch kaum zu erwarten, da die Gebietsverdunstung im Wasserhaushalt den verhältnismäßig geringsten Schwankungen unterworfen ist.

Der über die gesamte Fläche des Einzugsgebietes sich erstreckende Bodenspeicher weist sicherlich keine völlig gleichmäßige Verteilung auf. Die Untersuchungen von Fischer ergeben zwar für die Weser von Hann.-Münden bis zur Allermündung und auch für die Aller nur ganz unwesentliche Unterschiede. Es ist aber doch anzunehmen, daß die Bodenspeicherung in den Quellgebieten von der im Flachlande verschieden ist. Da jedoch für die Beurteilung einer solchen Verschiedenheit ausreichende Unterlagen fehlen, soll den weiteren Betrachtungen der oben ermittelte Durchschnittswert von 270 mm zugrunde gelegt werden und die Vergleichsbasis gegenüber anderen Speicherungen bilden. Um für diese vergleichbare Werte zu erhalten, muß der nutzbare Speicherraum in Beziehung zur Größe des Einzugsgebietes gesetzt werden. Die Bedeutung einer Speicheranlage für einen beliebigen Punkt unterhalb der Speicherstelle ist der Höhe der über das Einzugsgebiet bis zu diesem Punkte gleichmäßig verteilt gedachten Wassermasse des nutzbaren Speicherinhaltes gleichzusetzen. Die nutzbare Speicherhöhe oder der Speicherwert (in mm) nimmt von der Speicherstelle abwärts mit zunehmendem Einzugsgebiet etwa in der Form einer logarithmischen Linie ab (s. Bild 4). Auf dem freien Strom ist die Ausgleichwirkung der meisten Speicherungsvorgänge in Stauanlagen, Seen und Vorlandspeichern nur in den oberen Gebieten noch von wesentlicher Bedeutung, im übrigen auch nur dann, wenn, wie z. B. auf der Fuldastrecke Kassel—Hannover-Münden, eine Gruppe von Stauanlagen eine Betriebseinheit bilden. Der

Speicherwert dieser Gruppe beträgt zwar für die Weser bei Hannover-Münden nur noch Bruchteile eines Millimeters; trotzdem ist ihr Ausgleichsvermögen für eine begrenzte Feinregulierung der Wasserführung durchaus nicht ohne Bedeutung. Bei kanalisierten Strömen tritt die Ausgleichwirkung von Stauanlagen gegenüber der Stauwirkung in den Hintergrund.

Von größerem Einfluß auf den Abflußvorgang sind lediglich die Talsperren in den Quellgebieten, die Edertalsperre mit rund 180 hm³, die Diemeltalsperre mit rund 17 hm³, die drei Harztalsperren: die Odertalsperre mit rund 30 hm³, die Sösetalsperre mit rund 10 hm³ und die Eckertalsperre mit rund 2 hm³ für den Ausgleich nutzbaren Speicherinhalt. Nur die drei erstgenannten sind in vollem Umfange für den Ausgleich wirksam, während die Sösetalsperre etwa zur Hälfte, die Eckertalsperre nahezu ganz zur Versorgung entfernter Gebiete mit Trink- und Brauchwasser mittels Fernwasserleitungen dienen. Bild 1 gibt einen Überblick über die Lage dieser 5 Talsperren, von denen zusammen 1683 km² des 38 400 km² großen Einzugsgebietes der Weser erfaßt werden, mithin nur 4,4 v. H. Tafel I gibt eine Zusammenstellung der Speicherwerte dieser Talsperren für die Sperrstellen selbst sowie für einige Hauptpunkte und für Anfang und Ende der Schiffahrtstraßen und ermöglicht einen Vergleich untereinander und mit der Wirkung des Bodenspeichers von 270 mm. Danach steht hinsichtlich der Ausgleichswirkung die Odertalsperre an der Spitze. Ihr Speicherwert übertrifft mit 405 mm an der Sperrstelle sogar den Einfluß des Bodenspeichers. Das größte künstliche Speicherbecken des Wesergebietes, die Edertalsperre bleibt mit 125 mm an der Sperrstelle nicht unerheblich hinter der Wirkung des Grundwasserspeichers zurück. Wie schnell die Ausgleichwirkung von der Sperrstelle abwärts abnimmt, ist aus der Darstellung der Speicherwerte auf Bild 4 ersichtlich.

II. Die Bedeutung der Talsperren für die Schiffahrt.

Bild 4 gibt auch einen Gesamtüberblick über die Bedeutung der 5 Talsperren für die schiffbaren Wasserstraßen des Wesergebiets. Durch den Krieg und seine Folgen ist die Schiffbarkeit z. Z. praktisch auf die Fulda-Weser-Wasserstraße von Kassel bis Bremen beschränkt. Die obere Fulda und die Werra sind durch die Zerstörung von Schleusen und Brücken noch blockiert. Aller und Leine sind ab Celle bzw. Hannover in beschränktem Umfange schiffbar, z. Z. jedoch praktisch ohne Verkehr. Die Speicherwerte der Talsperren, die an den Sperrstellen noch ca. 100 bis 400 mm betragen, nehmen auf den schiffbaren Wasserstraßen auf folgende Werte ab:

Fulda-Weser	bei Kassel	27 mm	im Mittel rund 15 mm
	„ Bremen	6 mm	
Leine	„ Hannover	8 mm	im Mittel rund 7 mm
	an der Mündung	6 mm	
Aller	bei Celle	0,4 mm	im Mittel rund 2 mm
	an der Mündung	3 mm	

Der Einfluß der Talsperren beträgt auf der Fulda-Weser-Wasserstraße bei Kassel und Hann.-Münden nur noch etwa 1/10, bei Minden etwa 1/27 und bei Bremen etwa 1/45 des Einflusses der Grundwasserspeicherung. Diese Verhältniszahlen reden eine eindringliche Sprache, indem sie einerseits dem überragenden Wert der natürlichen Grundwasserspeicherung mit aller Deutlichkeit herausstellen und andererseits einer Überschätzung der Talsperrenwirkung entgegentreten, der man häufig genug auch in Schiffahrtskreisen begegnet. Einen drastischen Vergleich zwischen der Speicherwirkung des Boden-

vorrates und der einer Talsperre auf die Wasserführung gibt im übrigen Bild 3.

Trotzdem ist der Betrieb der Talsperren für die Schiffahrt von großer Bedeutung. Ihr besonderer Wert liegt — im Gegensatz zu dem unbeeinflußbaren Verlauf der Grundwasserspeicherung — in der Möglichkeit der Anpassung der Zuschußwasserabgabe an den jeweiligen Bedarf zur Erzielung möglichst lange anhaltender gleichmäßiger Wasserstände. Gerade diese Gleichmäßigkeit ist für die Schiffahrt, besonders im Bergverkehr mit seinen langen Fahrzeiten (von Bremen bis Kassel etwa 10 bis 14 Tage) von größter wirtschaftlicher Bedeutung hinsichtlich der Ausnutzung der möglichen Abladetiefe, die im übrigen trotz der verhältnismäßig geringen Ausgleichwirkung eine nicht unbeträchtliche Erhöhung erfährt. Ein weiterer nicht zu unterschätzender Vorteil ist die Verlängerung der Betriebszeit und die Ueberwindung von Wasserklemmen. Schließlich sei noch auf einen weiteren allerdings wesentlich kleineren Gewinn an Betriebszeit hingewiesen, der während der Beckenfüllung durch die Verringerung der Dauer der Wasserstände über H. sch. W. erzielt wird.

Für die Schiffahrt im Wesergebiet sind z. Z. nur die Eder- und Diemeltalsperre von praktischer Bedeutung, für deren Belange sie auch in erster Linie erbaut sind. Für die Schiffahrt auf der Aller und Leine hat von den Harztalsperren nur die Odertalsperre einen gewissen Wert; ihre Bewirtschaftung ist jedoch auf die Belange der Landeskultur abgestellt, die mit den besonderen Bedürfnissen der Schiffahrt nicht immer gleichlaufen. Söse- und Eckertalsperre sind für die Schiffahrt nur von geringer Bedeutung. Der Wert des Talsperrenbetriebes für die Schiffahrt soll des näheren allein am Beispiel der Edertalsperre gezeigt werden, der gegenüber auch die Diemeltalsperre zurücktritt, die zwar ebenfalls überwiegend der Schiffahrt dient, entsprechend dem Talsperreninhalt aber nur etwa $^1/_{10}$ der Wirkung aufweist.

III. Die Bedeutung der Edertalsperre für die Weserschiffahrt.

Die im Jahre 1914 fertig gestellte Edertalsperre ist nunmehr seit 35 Jahren im Betrieb. Ihre Hauptaufgabe ist die Zuschußwasserlieferung für die Weserschiffahrt, die vor den weiteren Zwecken: Hochwasserschutz und Energiegewinnung, den unbedingten Vorrang hat. Entsprechend den Bedürfnissen der Schiffahrt ist auch ihre Betriebsweise geregelt: Füllung in der Zeit der größeren Wasserführung, möglichst während der Vollschiffigkeit, Abgabe bei Kleinwasser. Füllungs- und Abgabezeiten sind in den einzelnen Jahren naturgemäß verschieden, entsprechend den meteorologischen Bedingungen. Im langjährigen Durchschnitt entsprechen sie aber fast genau der Einteilung des hydrologischen Jahres (s. Bild 5). Allgemeine Ziele der Bewirtschaftung sind:

1. Restlose Füllung des Beckens bis zum 1. Mai j. Js. unter Freihaltung eines Hochwasserschutzraumes von 30 hm^3, der vom 1. Februar ab bis zum 1. Mai auf 0 eingeschränkt werden kann (s. Bild 5), und eines Raumes für das Schmelzwasser der jeweiligen Schneelage. Dieses Ziel ist auch bei weitestgehender Entleerung des Beckens im allgemeinen erreichbar. Das Speicherbecken der Edertalsperre ist verhältnismäßig klein, da der Talsperreninhalt nur rund 30 v. H. des mittleren Jahreszuflusses beträgt. Nur in besonders trockenen Wintern kann die Füllung der Sperre Schwierigkeiten bereiten und ist in einigen Jahren auch nicht voll erreicht worden. In dem außergewöhnlich trockenen Winter 1948/49 gelang die Füllung nur durch rigorose Drosselung des Abflusses unter weitgehendem Verzicht auf den Kraftgewinn am Ausgleichbecken.

2. Erhöhung des Mittelkleinwassers (MKlW = 22 m³/sec) bei Hann.-Münden im Sommer und Herbst, bisweilen auch bis in die ersten Wintermonate hinein, um 18 m³/sec auf 40 m³/sec entsprechend einem Wasserstande von 115 cm am Pegel Hann.-Münden, dem sogenannten erhöhten Mittelkleinwasser (EMKlW). Dieser Wasserstand gestattet eine Abladung der normalen Weserkähne (max Tauchtiefe 1,70 m, Leertiefgang 0,32 m) zu 46 v. H., bei der etwa die Grenze der Wirtschaftlichkeit für die Weserschiffahrt liegt. Möglich ist die Schiffahrt im beschränkten Umfange noch bei einem Wasserstande von 100 cm a. P. Hann.-Münden, der praktisch als der kleinste schiffbare Wasserstand (Kl. sch. W.) anzusprechen ist (Auslastung rund 35 v. H.). Die Grenze der Vollschiffigkeit liegt bei einem Wasserstand von 190 cm am Pegel Hann.-Münden.

Der Pegel Hann.-Münden ist maßgebend für die Oberweserschiffahrt, der Pegel Minden für die Mittelweserschiffahrt, die trotz der Wasserabgaben bei Minden für die Speisung des Mittellandkanals und bei Hoya für Bewässerungszwecke in der Regel um 20 bis 30 cm bessere Fahrwasserverhältnisse vorfindet. Jeder m³/sec Zuschuß bedeutet für die Schiffahrt einen Gewinn an Abladetiefe von 1 bis 2 cm, 1 cm bei Mittelwasser, 2 cm bei Kleinwasser. Dabei ist vorausgesetzt, daß die Zufuhr des Zuschußwassers von der Sperre bis zum Ende der Schiffahrtsstraße annähernd verlustfrei erfolgt. Bei früheren Versuchsbeobachtungen durch Abgabe von kurzen Probewellen wurden von der Sperre bis Hann.-Münden Verluste der Scheitelhöhe der Wellen von 25 v. H. bei 24 Stunden, von 13 v. H. bei 36 Stunden, von 6 v. H. bei 85 Stunden Wellendauer ermittelt. Man ersieht hieraus, daß die Verluste mit zunehmender Dauer der Wellen stark abnehmen. Bei Dauerabgabe, wie sie in der Schiffahrtsperiode die Regel ist, verlieren die An- und Ablaufzeiten, die eine kurze Welle stark verlängern und verflachen, ganz an Bedeutung. Eine gewisse zeitweilige Aufspeicherung von Wasser im seitlichen Grundwasserraum findet sicherlich statt; sie dürfte aber bei einer normalen Erhöhung des Flußwasserspiegels um 20 bis 30 cm durch die Zuschußabgabe bei dem verhältnismäßig starken Grundwassergefälle und bei einer Aufnahmefähigkeit des Bodens von etwa 20 bis 25 v. H. kaum ins Gewicht fallen. Auch eine nennenswerte Mehrverdunstung ist bei einer solchen kleinen Bodenspeicherung nicht zu erwarten, da das seitliche Vorland größten Teils eine Auelehmdecke aufweist, die für das Grundwasser praktisch undurchlässig ist. Im normalen Betriebe wird man daher bei Dauerabgabe ohne wesentlichen Fehler mit einer praktisch verlustfreien Zuschußwasserabgabe rechnen können. Zur Sicherheit und um unvermeidliche Schwankungen auszugleichen, wird bei der Bemessung der Abgabe zweckmäßig mit einem Betriebsfaktor von etwa 1,2 gerechnet, d. h. 20 v. H. mehr abgegeben als theoretisch erforderlich wäre. Bei nachträglichen Untersuchungen, insbesondere wenn nicht Tageswerte, sondern Monatsmittel betrachtet werden, kann dagegen die Einführung eines Verlustfaktors unterbleiben.

Diese Annahme ist auch der Darstellung auf Bild 8 zugrunde gelegt worden, die den Verlauf der Wasserstände am Pegel Hann.-Münden in Monatsmitteln während der bisherigen Betriebszeit der Edertalsperre wiedergibt und zugleich einen Überblick über die Wirkung und Verteilung der Speicherung und Zuschußwasserabgabe gibt. Die Gesamthäufigkeit von Speicherung und Zuschuß, beide für sich gesondert als Horizontalprojektion auf eine gemeinsame Vertikale ermittelt, ist auf Bild 8 rechts dargestellt. Die Umrisse dieser Darstellung sind in das Betriebsdiagramm auf Bild 9 übernommen, das in klarer und einprägsamer Weise einerseits den Erfolg

der Talsperrenbewirtschaftung widerspiegelt, andererseits auch ein gutes Kriterium für die Handhabung des Betriebes abgibt. Auf Tafel 2 sind die aus diesem Diagramm entnommenen Zahlenwerte besonders zusammengestellt.

Danach ist der im bisherigen Betriebe der Edertalsperre erzielte Gewinn für die Schiffahrt:

a) die Verlängerung der Schiffahrtsbetriebszeit (normal 200 bis 330 Betriebstage bei 160 bis 100 cm am Pegel Hann.-Münden ohne Berücksichtigung der Eissperren) um 10 bis 46 Tage. Mittlerer Gewinn rund 6 v. H.;

b) die Vermehrung der nutzbaren Ladetiefe (bei 190 bis 100 cm am Pegel Hann.-Münden abzüglich Leertiefgang im Mittel 0,90 m) um 0,08 m im Durchschnitt. Gewinn rund 9 v. H.

Gesamtgewinn $1{,}06 \times 1{,}09 = 1{,}16$, demnach 16 v. H.

Unberücksichtigt ist dabei noch ein Gewinn von ca. 1,5 Schiffahrtstagen im Jahresdurchschnitt aus der Verkürzung der Dauer der Wasserstände über H. sch. W., der durch eine besondere Auszählung der Hochwasserwellen nach Tagen ermittelt wurde. Er kann naturgemäß nur verhältnismäßig gering sein, da der Einfluß der Speicherung bei großer Wasserführung stark zurücktritt.

Eine Kritik des bisherigen Talsperrenbetriebes an Hand des Betriebsdiagrammes auf Bild 9 führt zu folgenden Feststellungen:

1. Im allgemeinen ist das gesteckte Ziel erreicht. Der Schwerpunkt der Zuschußwasserabgabe liegt genau auf der Höhe des festgelegten Zielwasserstandes 115 cm am Pegel Hann.-Münden.

2. Der Erfolg wird durch folgende Fehlerquellen beeinträchtigt:

a) Verluste an Betriebszeit und Abladetiefe als Folge der Speicherung bei Wasserständen unter Vollschiffigkeit (190 cm a. P. Hann.-Münden), in der Regel bedingt bei geringer Wasserführung durch das Streben nach restloser Füllung des Beckens. Die Speicherung ist nach Möglichkeit auf die Zeit der Vollschiffigkeit, andernfalls auf die Zeit der Schiffahrtssperren (durch Eis- oder andere Umstände) zu beschränken.

b) Verluste an Zuschußwasser, das bei Vollschiffigkeit abgegeben wurde, ohne Gewinn zu bringen, meist durch die Notwendigkeit der Entlastung zur Freihaltung des Hochwasserschutzraumes oder bei voller Sperre bedingt. Es wäre anzustreben, dieses Zuschußwasser den Zeiten des Bedarfes (unter 190 cm a. P. Hann.-Münden) zugute kommen zu lassen.

c) Verschwendung an Zuschußwasser, dessen Wirkung in Trockenzeiten unter der Grenze des kleinsten schiffbaren Wasserstandes bleibt, vielfach bedingt bei sehr geringem Zufluß zum Becken durch die festgesetzte Mindestwasserabgabe. Abhilfe nur durch extreme Drosselung der Abgabe (evtl. bis Abfluß = Zufluß) möglich.

Die Bilder 6 und 7, auf denen die Bewirtschaftung der Edertalsperre für eine Reihe von Jahren aus der nunmehr 35-jährigen Betriebszeit dargestellt ist, lassen Ausmaß, Dauer und Bedeutung dieser Nachteile und Verluste für die Schiffahrt im einzelnen erkennen. Leider verbietet es der knappe Raum, diese Darstellung für die ganzen 35 Jahre zu bringen.

Die Darstellung läßt erkennen, daß die Fehler im Laufe der Zeit zurückgegangen sind, die Betriebsweise somit erfolgreicher geworden ist. Nach einer langen Periode starren Festhaltens an der anfangs festgelegten Betriebsweise hat sich in den letzten Jahren im Interesse der Förderung der Schiffahrt eine Umstellung vollzogen, allerdings zu einem gewissen Nachteil

für die Kraftwirtschaft, deren Belange aber nach der Zweckbestimmung der Talsperre hinter den Interessen der Schiffahrt zurückstehen müssen. Bild 5 zeigt den durchschnittlichen Gang der Beckenfüllung für eine längere Jahresreihe vor dem Kriege. Danach beträgt die Inanspruchnahme des Beckens im Mittel nur 103 hm³, also nur 55 v. H. des nutzbaren Speicherinhaltes von 180 hm³. Diese verhältnismäßig geringe Ausnutzung des Beckenvorrates war bedingt durch eine gewisse Beschränkung der Zuschußwasserabgabe im Interesse der Kraftwirtschaft und durch die starre Zielsetzung auf das EMKIW 115 cm a. P. Hann.-Münden. Nach der Betriebsanweisung soll zur Erzielung eines besseren Wirkungsgrades der Turbinen ein Beckeninhalt von 90 hm³ erst dann unterschritten werden, wenn es die Belange der Schiffahrt erfordern. Die Anforderungen für die Schiffahrt waren aber durch die verhältnismäßig niedrige Zielsetzung begrenzt. In den Spannungszeiten der Kriegs- und Nachkriegsjahre erwies es sich im Interesse der Schiffahrt als notwendig, an die Talsperrenwirtschaft stärkere Anforderungen zu stellen. Die Möglichkeit war durchaus gegeben, da die langjährigen Betriebserfahrungen erkennen ließen, daß bei voller Ausnutzung des Beckeninhaltes erhebliche höhere Wasserstände zu erreichen waren: bei mittlerer Wasserführung etwa 150 cm, in einem mittleren Trockenjahr etwa 125 cm a. P. Hann.-Münden. Selbst in einem extremen Trockenjahr könnte immer noch der kleinste schiffbare Wasserstand von 100 cm erreicht und damit wenigstens eine beschränkte Schiffahrt durchgehalten werden. Voraussetzung ist restlose Füllung des Beckens und Entleerung bis auf den eisernen Bestand von 20 hm³, notfalls bis auf einen herabgesetzten eisernen Bestand von 10 hm³, jedoch möglichst nicht vor dem 1. November, um in wasserarmen Wintern immer noch eine kleine Reserve von 10 hm³ zu haben. Eine Grenze von 15 hm³ sollte jedoch möglichst nicht unterschritten werden, weil sonst die Energiegewinnung an den Hauptkraftwerken wegen mangelnden Gefälles ganz ausfällt.

Eine auch nur einigermaßen zuverlässige Voraussage für den Verlauf der Wasserführung ist selbst in großen Zügen heute noch nicht möglich. Im Interesse einer möglichst wirtschaftlichen Ausnutzung des Beckenvorrates erschien daher ein Ersatz der bisherigen starren Zielsetzung durch eine elastische Anpassung an den Wechsel der Wasserführung geboten, jedoch nicht stetig, sondern in Stufen von etwa 5 bis 10 cm und von möglichst langer Dauer, mindestens 14 Tage mit Rücksicht auf die lange Reisedauer der Bergschiffahrt. Dieses Verfahren ist bei der Bewirtschaftung der Edertalsperre erstmalig in den Jahren 1947 und 1948 systematisch durchgeführt worden und hat sich bewährt. Ein abschließendes Urteil über den Erfolg der Betriebsweise läßt sich aus diesen beiden Jahren, von denen das eine extrem trocken, das andere dagegen zeitweise sehr wasserreich war, noch nicht herleiten. Im laufenden Jahr soll auf Wunsch der Weserschiffahrt ein möglichst hoher und gleichbleibender Wasserstand solange wie möglich durchgehalten werden, selbst auf die Gefahr hin, daß eine vorzeitige Erschöpfung des Beckenvorrates eine erhebliche Beschränkung oder sogar völlige Einstellung der Weserschiffahrt erzwingt. Nach einigen Jahren wird ein Vergleich der Diagramme nach Bild 9 zeigen, welchen Gewinn die schärfere Ausnutzung des Beckeninhalts für die Schiffahrt bedeutet.

IV. Die Bedeutung der Edertalsperre für die Kanalschiffahrt.

Für den Bau der Edertalsperre ist nicht die Weserschiffahrt ausschlaggebend gewesen, sondern die Sicherung der Schiffahrt auf dem Mittellandkanal, der bei Minden die Weser kreuzt. Hier wird durch ein Pumpwerk

dem Kanal aus der Weser das notwendige Speisewasser zugeführt, dessen maximaler Bedarf bei Vollverkehr für die Weststrecke zu 7,5 m³/sec und für die Gesamtstrecke bis zur Elbe zu 15 m³/sec ermittelt worden ist. Diese Speisewasserabgabe würde für die Mittelweser eine Einbuße an Abladetiefe von 10 bis 20 cm bedeuten und, solange nicht die Kanalisierung der Mittelweser vollendet ist, bei Kleinwasser die Schiffahrt auf der Mittelweser ganz zum Erliegen bringen, wenn nicht durch zusätzliche Abgabe aus der Edertalsperre für einen Ausgleich gesorgt wird. Andererseits würde ohne diesen Talsperrenzuschuß eine Speisewasserabgabe für die Kanalschiffahrt nur bei so hohen Wasserständen möglich sein, die eine solche Anzapfung ohne Beeinträchtigung der Weserschiffahrt erlauben. Bei Kleinwasser müßte aber die Speisewasserabgabe eingeschränkt und schließlich ganz eingestellt werden, um der Weser die im Interesse nicht nur der Schiffahrt, sondern auch der Landeskultur sowie der Vorflut, Räumung und Spülung notwendige Wassermenge zu erhalten. Der Ausfall der Speisung müßte aber die Kanalschiffahrt letzten Endes ganz zum Erliegen bringen.

Die Edertalsperre bringt somit den notwendigen Ausgleich zwischen den sich hier überschneidenden Interessen der Kanalschiffahrt und der Weserschiffahrt. Durch die Fertigstellung der Mittelweserkanalisierung wird die Lage grundlegend geändert werden. Der Talsperrenzuschuß wird für die Oberweser dann zwar noch weiterhin benötigt, für die Mittelweser und den Kanal aber entbehrlich und kann zur Befriedigung anderer Interessen (Landeskultur, Wasserversorgung, Reinhaltung und Energiegewinnung) eingesetzt werden.

Im bisherigen Betriebe des Mittellandkanals hat sich die Speisung des Kanals für die Weser nahezu unbemerkt vollzogen. Jeder entnommene m³/sec Speisewasser bedeutet zwar für die Weser bei Minden eine Minderung der Abladetiefe um 1 bis 2 cm. Bisher ist aber der Bedarf an Speisewasser auch nach Fertigstellung der Oststrecke noch nicht so groß geworden, daß im Interesse der Mittelweser ein erhöhter Talsperrenzuschuß erforderlich wurde. Der Bedarf an Zuschußwasser konnte bisher, von den später noch zu erörternden Ausnahmefällen abgesehen, stets nach den Erfordernissen der Oberweser bemessen werden, da die natürliche größere Fahrwassertiefe auf der Mittelweser die durch die Speisewasserabgabe bedingte Einbuße an Abladetiefe ausglich. Wird aber der maximale Speisewasserbedarf für den Kanal schon vor Vollendung der Mittelweserkanalisierung erreicht, so wird bei Kleinwasser eine Erhöhung des Talsperrenzuschusses für die Mittelweser nicht zu umgehen sein.

Die Bedeutung der Edertalsperre für die Kanalschiffahrt wurde durch die Kriegsereignisse besonders eindringlich herausgestellt. Die Zerstörung der Edertalsperre durch den Bombenangriff im Mai 1943 hatte zur Folge, daß die Zuschußwasserabgabe im Sommer 1943 ganz aussetzte und in den folgenden 3 Jahren nur stufenweise gesteigert werden konnte, bis 1947 der Vollbetrieb wieder möglich war (s. Bild 7). Dieser Ausfall an Zuschußwasser, der für die Weserschiffahrt einen erheblichen Verlust bedeutete, war für die Kanalschiffahrt nur deswegen tragbar, weil 1943 die Speisewasserversorgung auf die zeitweise stillgelegte Weserschiffahrt keine Rücksicht zu nehmen brauchte, während 1944 eine reichliche Wasserführung aufwies. 1945 ruhte die Schiffahrt nahezu völlig und kam erst 1946 zögernd wieder in Gang.

Eine völlige Umwälzung der Talsperrenwirtschaft, die deren Bedeutung für die Kanalschiffahrt, aber auch die Grenzen ihrer Möglichkeit besonders eindringlich zu Tage treten ließ, brachte die Zerstörung der Kanalüber-

führung bei Minden im April 1945. Da deren Wiederherstellung eine längere Bauzeit erforderte, mußte die Kanalschiffahrt mittels der Abstiegschleusen über eine ca. 2 km lange Weserstrecke geleitet werden. Die Durchführung unter der Brücke erfolgte, solange die Weser noch durch die Brückentrümmer blockiert war, mittels eines zu diesem Zwecke angelegten Umflutkanals. Bezüglich der Einzelheiten sei auf den Aufsatz von Möhlmann verwiesen.

Diese Lage stellte sowohl an die Schiffahrt als auch an die Talsperrenwirtschaft außergewöhnliche Anforderungen. Die Kanalschiffahrt wurde von den jeweiligen Wasserständen der Weser abhängig und mußte entsprechend ableichtern. Kahnraummangel und die beschränkte Leistungsfähigkeit der Krananlagen setzten der Leichterung gewisse Grenzen. Die in der Weserdurchfahrt eingesetzten Schlepper erforderten eine verhältnismäßig große Fahrwassertiefe. Die Zuschußwasserabgabe mußte daher erheblich gesteigert werden, um das hochgespannte Wasserstandsziel in der Weserdurchfahrt zu erreichen. Eine normale Dauerabgabe hätte aber bei diesen Anforderungen eine frühzeitige Erschöpfung des Talsperrenvorrats zur Folge gehabt. Zur Sicherung der notwendigen Fahrwassertiefe für die ganze Schiffahrtsperiode blieb als einziger Ausweg die Auflösung der Dauerabgabe in einzelne Wellen, meist 2 bis 3 in der Woche. Die Länge der Wellen wurde so bemessen, daß sie beim Eintreffen in Minden nur für eine bestimmte Betriebszeit (meist von 8 bis 16 Uhr) die festgesetzte Tauchtiefe in der Weserdurchfahrt sicherten. Dabei war die Umformung der Wellen, die von der Sperre in annähernd rechteckiger Form abgelassen wurden, in die Trapez- und Dreiecksform mit starken Ausrundungen und die dadurch bedingte Verringerung der Scheitelhöhe zu berücksichtigen. Der Verlauf einer solchen Welle von der Sperre bis nach Minden ist auf Bild 10 dargestellt. Die Abhängigkeit der Laufzeit der Wellen (im Mittel etwa 60 bis 70 Stunden) von der jeweiligen Wasserführung erschwerte die Aufstellung eines exakten Wellenfahrplans. Besondere Aufmerksamkeit mußte der Durchführung der Wellen durch die zahlreichen Staustufen, insbesondere auf der Strecke Kassel — Hann.-Münden mit ihren unhandlichen Nadelwehren gewidmet werden. Trotzdem ist es mit Hilfe eines intensiven Beobachtungs- und Meldedienstes gelungen, durch Abgabe von 27 Wellen, die im Durchschnitt 5 bis 6 hm^3 Wasser benötigten, die Kanalschiffahrt während des ganzen Jahres 1946 aufrecht zu erhalten, wenn auch die Beschränkung der Betriebszeit auf 2 bis 3 Tage in der Woche sehr erschwerend war. Von großem Nachteil war die Wellenabgabe allerdings für die damals noch geringe Weserschiffahrt, insbesondere für die Bergschiffahrt, die in den Wellentälern nur unzureichende Fahrwassertiefen vorfand. Die Erfahrungen des Jahres 1946 haben gezeigt, daß eine Abgabe in Wellenform keine wirtschaftliche Maßnahme darstellt und auf außergewöhnlich gelagerte Fälle beschränkt bleiben muß. Dem verhältnismäßig geringen Gewinn an Mehrabladetiefe im Vergleich zur Dauerabgabe, ca. 15 cm (s. Bild 10), steht ein bei so kleinen Wellen nicht unerheblicher unwirtschaftlicher Verbrauch an Wasser für die nicht nutzbaren An- und Ablaufzeiten gegenüber. Die nutzbare Betriebszeit (15 Stunden) beträgt nur etwa 1/5 der Gesamtlänge der Welle (72 Stunden). Aus diesem Grunde wurde im Jahre 1947 mit Rücksicht auf die nunmehr auflebende Weserschiffahrt die Wellenabgabe aufgegeben, zumal auch durch die Räumung der Brückendurchfahrt für die Kanalschiffahrt eine wesentliche Verbesserung erzielt war, die eine weit bessere Auslastung der Kanalschiffe gestattete. Der Übergang von der streng punktorientierten Zuschußwasserabgabe, die insofern noch beibehalten

wurde, als die Regelung des Zuschusses zunächst noch auf dem Knotenpunkt Minden abgestellt bleiben mußte, zur regulären linienorientierten Zuschußwasserabgabe konnte wenigstens eingeleitet werden.

Auch das Jahr 1947 stellte an die Wasserwirtschaftder Edertalsperre wieder außergewöhnliche Anforderungen ganz besonderer Art. Schon frühzeitig erforderte der durch die außerordentliche Trockenheit bedingte Rückgang der Wasserführung große Zuschüsse und erzwang Sparmaßnahmen. Der Versuch, Wasserersparnisse durch Abgabe von Hohlwellen zu erzielen, wurde als unwirtschaftlich und für die Weserschiffahrt nachteilig aufgegeben. Sehr vorteilhaft erwies sich dagegen die Heranziehung der westlichen Kanalhaltung, die ein Fassungsvermögen von rund 0,3 hm³ besitzt, zur Speicherung und Abgabe von Zusatzwellen während der täglichen Hauptbetriebszeit. Hierdurch wurde eine wesentliche Einschränkung des durchlaufenden Grundzuschusses aus der Talsperre möglich. Die Speicherung vollzog sich durch verstärktes Aufpumpen von Weserwasser in den Kanal in den Zeiten der Schiffahrtsruhe nachts und an Sonntagen. Die Abgabe erfolgte am Tage konzentriert auf kurz bemessene Hauptbetriebszeiten. Der besondere Vorteil dieses Verfahrens liegt in dem Fehlen einer langen Laufzeit — das Pumpwerk, das auch die Abgabe besorgt, liegt nur 250 m von der Weserdurchfahrt entfernt — und in der Ausschaltung der Wellenumformung, also nahezu verlustfreier Ausnutzung. Nachteilig sind lediglich sowohl für die Kanalschiffahrt als auch für die Weserschiffahrt die unvermeidlichen Wasserstandsschwankungen infolge des täglichen Wechsels zwischen Aufpumpen und Abgeben, die sich noch auf erhebliche Entfernungen bemerkbar machten. Auch ist die bei starker Abgabe im Kanal eintretende Strömung für die Schiffahrt bedenklich und setzt diesem Verfahren gewisse Grenzen. Es wird im allgemeinen auf außergewöhnliche Notstände beschränkt bleiben müssen, die eine Inkaufnahme dieser Nachteile rechtfertigen. Im vorliegenden Falle hatte das Verfahren einen vollen Erfolg. Die Abgabe aus dem Kanal erzielte eine zusätzliche Aufhöhung der Weserwasserstände von 10 cm im Mittel und 15 bis 20 cm in den Spitzen. Diese mittlere Aufhöhung von 10 cm entspricht einer mittleren Zuschußwassermenge von etwa 10 m³/sec und bedeutet für die Edertalsperre eine Ersparnis an Zuschußwasser von rund 25 hm³ im Monat. Aber auch dieser zusätzliche Zuschuß reichte bei der katastrophalen Dürre im September nicht mehr aus, um die notwendige Tauchtiefe bis zum Anschluß an die Winterperiode zu sichern. Dies wurde erst durch eine weitere außerordentliche Maßnahme, die Errichtung einer schwimmenden Stauanlage kurz unterhalb der Weserdurchfahrt im vollen Umfange möglich (vgl. den Aufsatz von Möhlmann). Wie stark dabei der Anteil des Schiffstaues an der insgesamt erzielten Aufhöhung der Wasserstände in der Durchfahrt überwiegt, ergibt folgende Aufstellung:

Aufhöhung durch

1. Grundzuschuß aus der Edertalsperre	5 cm	= 12,5 v. H.
2. Zusatzwelle aus dem Kanal	10 cm	= 25,0 v. H.
3. Wirkung des Schiffsstaues	25 cm	= 62,5 v. H.
Gesamtaufhöhung	40 cm	

Um die gleichen Leistungen der zusätzlichen Maßnahmen durch Talsperrenzuschuß zu erzielen, würde man bei einem Verhältnis von 1 cm = 1 m³/sec und bei einer Abgabezeit von ca. 6 Monaten folgende Speichermengen benötigen:

statt des Kanalzuschusses rund 150 hm³
„ „ Schiffsstaues „ 375 hm³
Zusammen rund 525 hm³

Diese Maßnahmen haben somit die Wirkung von 2 bis 3 Talsperren von der Größe der Edeltalsperre ersetzt. Allerdings war diese Wirkung ausschließlich auf den Punkt Minden beschränkt, während sich die Talsperrenwirkung auf die Linie der gesamten Wasserstraße erstreckt. Dehnt man diesen Vergleich noch weiter auf die Fläche, also auf den Grundwasserspeicher aus, der bei Minden bei einem Einzugsgebiet von 19 304 km² und einer Speicherhöhe von 270 mm einen Fassungsraum von rund 5200 hm³ aufweist, so wird man sich nur allzu deutlich der Grenzen aller künstlichen Speicher- und Staumaßnahmen bewußt, da trotz äußerster Anstrengung doch nur höchstens 1/10 der Bodenspeicherung erreicht werden konnte. Trotzdem darf man mit Genugtuung auf die erfolgreiche Lösung der ungewöhnlichen Aufgaben, die die Jahre 1946 und 1947 der Schiffahrt und der Talsperrenwirtschaft stellten, zurückblicken.

Im Jahre 1948 blieb die Regelung der Zuschußwasserabgabe grundsätzlich die gleiche wie im Jahre 1947, die Wasserführung war jedoch günstig. Eine Hochwasserwelle im Juli füllte sogar — erstmalig im 35jährigen Betriebe der Edertalsperre — das schon kräftig angezapfte Becken nochmals bis zur Krone und gestattete im Herbst für die nun schon lebhafter gewordene Schiffahrt auf dem Kanal und auf der Weser einen besonders reichlichen Zuschuß, der der Kanalschiffahrt große Erleichterung und der Weserschiffahrt einen beachtlichen Gewinn an Abladetiefe und Betriebsdauer brachte.

Im Februar 1949 wurde die Kanalüberführung bei Minden wieder dem Betrieb übergeben. Die Zuschußwasserabgabe wird seitdem wieder lediglich nach den Bedürfnissen der Weserschiffahrt geregelt.

V. Ausblick auf die künftige Entwicklung der Talsperrenwirtschaft.

Die Erkenntnis der Grenzen der bisherigen Talsperrenwirtschaft legt die Frage nach einer Vermehrung des Stauraumes nahe. Wenn man dieses Problem nur unter dem Gesichtswinkel der Schiffahrt betrachtet, so wird die Antwort lauten:

1. Eine Vermehrung des Stauraumes durch Erweiterung der vorhandenen oder Anlage neuer Talsperren würde der Schiffahrt auf dem freien Strom zweifellos in gewissen Grenzen Vorteile bringen, wenn sie überwiegend in ihrem Interesse erfolgt. Es ist jedoch kaum anzunehmen, daß der erhebliche Aufwand für eine solche Stauraumvermehrung von der Schiffahrt allein getragen werden kann. Die Forderung der übrigen Nutznießer einer solchen Stauraumvermehrung sind aber den Schiffahrtsinteressen vielfach entgegengesetzt, wie z. B. eine Vermehrung des Hochwasserschutzraumes für die Landeskultur, eine Steigerung der Energieerzeugung oder die Fernleitung von Trink- und Brauchwasser. Für die derzeitige Schiffahrt im Wesergebiet ergeben sich daher in dieser Richtung nur sehr begrenzte Aussichten.

2. Für die Speisung des Mittellandkanals wird eine Heranziehung vermehrten Talsperrenraumes, sei es im Weserquellgebiet oder im Harzgebiet, wie sie früher in Erwägung gezogen wurde, künftig nicht mehr in Betracht kommen, sobald die Mittelweserkanalisierung von Bremen bis Minden, deren begonnene Durchführung durch den Krieg leider unterbrochen wurde, vollendet ist, da sie den Speisewasserbedarf des Kanals jederzeit sicherstellen wird, ohne daß es überhaupt noch eines Talsperrenzuschusses bedarf. Der Termin der Fertigstellung der Mittelweserkanalisierung ist somit für die Frage des Bedarfes an vermehrtem Talsperrenzuschuß für die Kanal-

speisung, der auf andere Weise nicht gedeckt werden kann, von ausschlaggebender Bedeutung. Ein Zwang zur Bereitstellung zusätzlichen Talsperrenraumes zur Kanalspeisung wird aber voraussichtlich nur dann gegeben sein, wenn der Maximalbedarf an Speisewasser tatsächlich die seinerzeit errechnete Größe von 15 m³/sec erreicht und bereits vor Vollendung der Mittelweserkanalisierung eintritt, und wenn die Zuschußwasserlieferung aus dem vorhandenen Talsperrenraum zur vollen Deckung nicht mehr ausreicht, ohne die Interessen der Weserschiffahrt und sonstige Belange am Strom ernstlich zu gefährden.

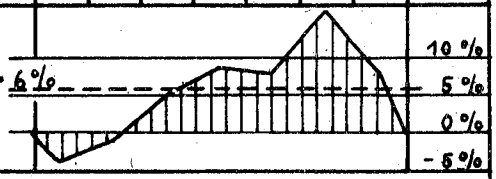
3. Für das Endziel des Ausbaues der Wasserstraßen im Wesergebiet, insbesondere für einen künftigen Großschiffahrtsweg Weser-Main sind die notwendigen Voraussetzungen auch durch noch so weitgehende Stauraumvermehrung nicht ereichbar. Denn auch der voll ausgeglichene Weserwasserstand, der im übrigen praktisch gar nicht erreichbar wäre, würde im freien Strom noch unter der jetzigen Vollschiffigkeit bleiben und eine Abladung auf nur etwa 1,50 m sicherstellen, eine für eine Großschiffahrtsstraße kaum wirtschaftliche Ausnutzung. Die Kanalisierung der gesamten Strecke wird nicht zu umgehen sein. Gegenüber der Ausgleichwirkung der Talsperren, die den Vorzug der großen Reichweite hat, wird die konzentrierte Stauwirkung durch Kanalisierung der Schiffahrt den größeren und wirtschaftlicheren Erfolg bringen. Die Kanalisierung der gesamten Weser, sowie der Fulda oder der Werra wird für die geplante Weser-Main-Verbindung Voraussetzung bleiben müssen. Ein Bedarf an Talsperrenzuschußwasser für die Schiffahrt würde dann nicht mehr bestehen. Für die künftige Talsperrenwirtschaft könnten in diesem Falle die Belange der Landeskultur, Energieversorgung, Wasserversorgung und Reinhaltung in erster Linie maßgebend sein.

	Einzugs-gebiet km²	Speicherhöhen in mm					
		Eder	Diemel	Ecker	Oder	Söse	Zu-sam-men
		Talsperre					
Nutzbarer Speicherraum Mio m³	—	180	17	2	30	10	—
Einzugsgebiet an der Sperrstelle km²	—	1440	104	19	74	46	—
Nutzbare Speicherhöhe an der Sperrstelle in mm	—	125	164	105	405	218	—
Fulda bei Kassel	6666	27	—	—	—	—	27
" " Hann.-Münden	6955	26	—	—	—	—	26
Weser bei Hann.-Münden	12460	14	—	—	—	—	14
" " Karlshafen ob. Diemel	13080	14	—	—	—	—	14
" " " unt. "	14825	12	1	—	—	—	13
" " Minden	19304	9	1	—	—	—	10
" " Allermündung ob.	22311	8	1	—	—	—	9
" " " unt.	37905	5	0,5	—	—	—	5
" " Hemelingen-Bremen	38400	5	0,5	0,1	0,8	0,3	6
Aller bei Celle	4494	—	—	0,4	—	—	0,4
" " Leinemündung ob.	7221	—	—	0,3	—	—	0,3
" " " unt.	13733	—	—	0,2	2	1	3
" " Mündung in die Weser	15594	—	—	0,1	2	1	3
Leine bei Hannover	5330	—	—	—	6	2	8
" " Mündung in die Aller	6512	—	—	—	4,5	1,5	6

Tafel 1. Zusammenstellung der nutzbaren Speicherhöhen der 5 Talsperren. (Speicherwerte)

A. Gewinn an Betriebszeit

bei einer Auslastung von	100	89	76	67	57	46	35	%
= cm a. P. Hann.-Münden	190	175	160	145	130	115	100	cm
Gewinn durch Zuschuß in 35 Jahren	6	5	15	28	24	56	33	Monate
" im Jahresdurchschnitt	0,17	0,14	0,48	0,80	0,69	1,60	0,94	"
Verlust durch Speicherung in 35 Jahren	12	7	5	5	–	3	2	"
" im Jahresdurchschnitt	0,34	0,20	0,14	0,14	–	0,09	0,06	"
Gewinnüberschuß im Jahresdurchschnitt			0,34	0,66	0,69	1,51	0,88	Monat
			10	20	21	46	27	Tage
Verlustüberschuß im Jahresdurchschnitt	0,17	0,06						Monat
	5	2						Tage
Durchschnittliche Betriebszeit unter H.sch.W. ohne Berücksichtigung der Eissperren	140	175	200	235	270	285	330	"
Gewinn an Betriebszeit in %			5	8,5	8	16	8	%
Verlust an " in %	3,5	1						%



B. Gewinn an Abladetiefe

bei Wasserständen von 100 – 190 cm a.P. Hann.-Münden

	cm	cm	cm × Monat
Gewinn in 35 Jahren			2330
" im Durchschnitt in 235 Betriebsmonaten		10	
" " " " 175 Zuschußmonaten	13		
Verlust in 35 Jahren			480
" im Durchschnitt in 235 Betriebsmonaten		2	
" " " in 60 Speichermonaten	8		
Gewinnüberschuß in 35 Jahren			1850
" im Durchschnitt in 235 Betriebsmonaten		8	

Mittlere nutzbare Abladetiefe abzüglich Leertiefgang 90 cm
Durchschnittlicher Gewinn an Abladetiefe in % ~ 9 %

Gesamtgewinn an Betriebszeit (5,8 %) und Abladetiefe (6,7 %) 1,06 × 1,09 = 1,16
Gesamtgewinn: ~ 16 %

Tafel 2. Betriebsergebnisse der Edertalsperre 1914—1948.
Gewinn für die Schiffahrt.

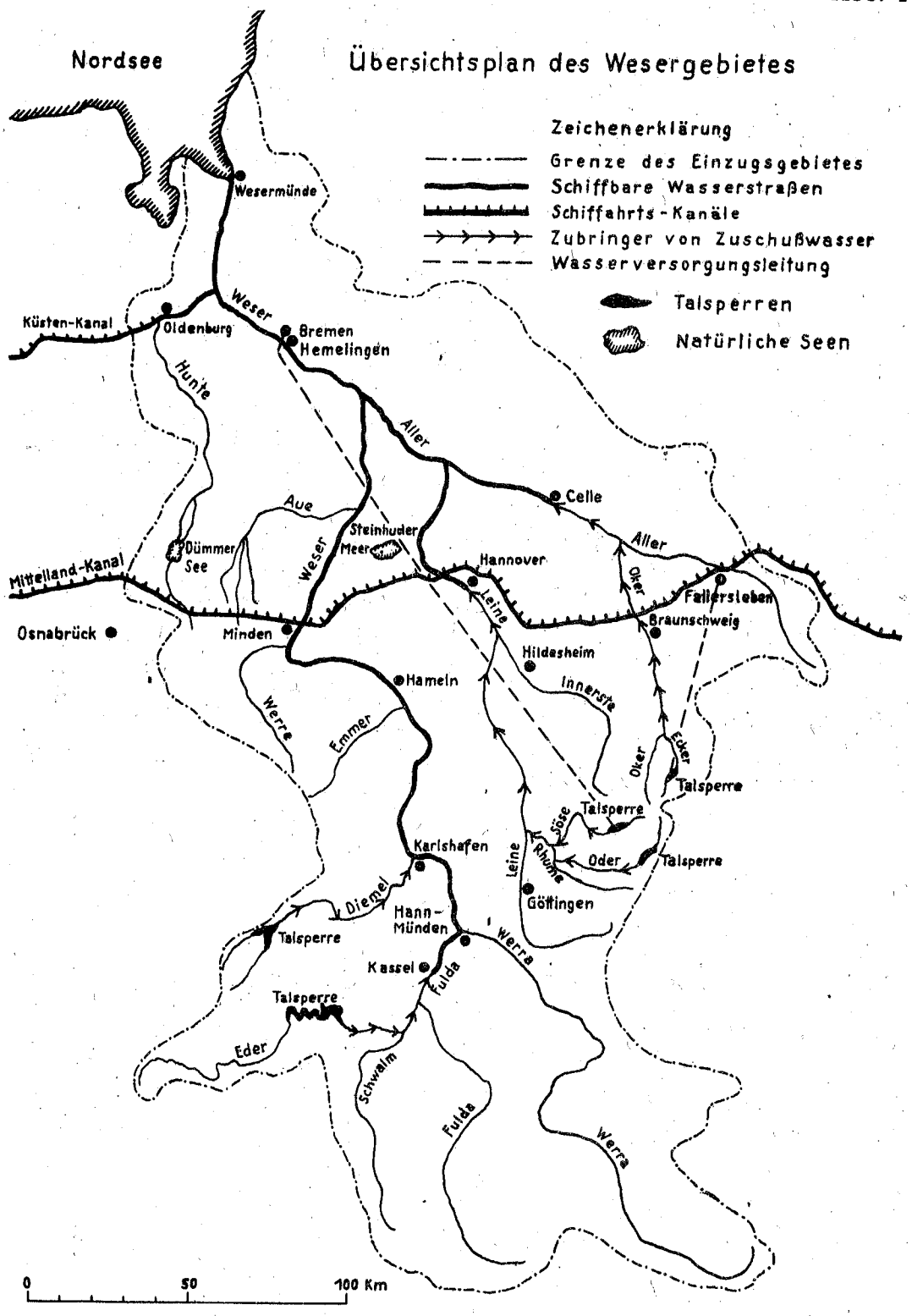


Abb. 1. Übersichtsplan des Wesergebietes.

Abb. 2

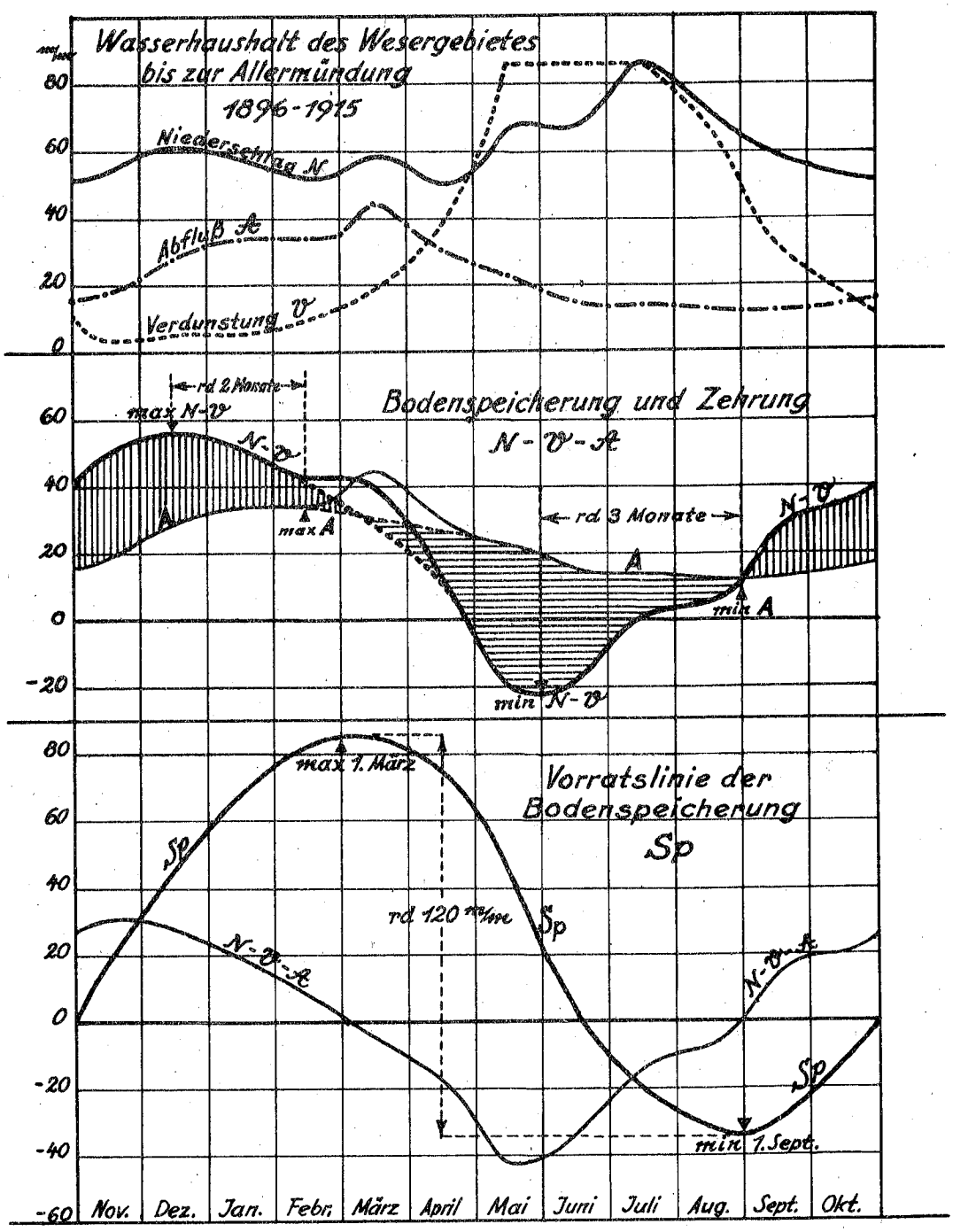


Abb. 2. Wasserhaushalt des Wesergebietes.

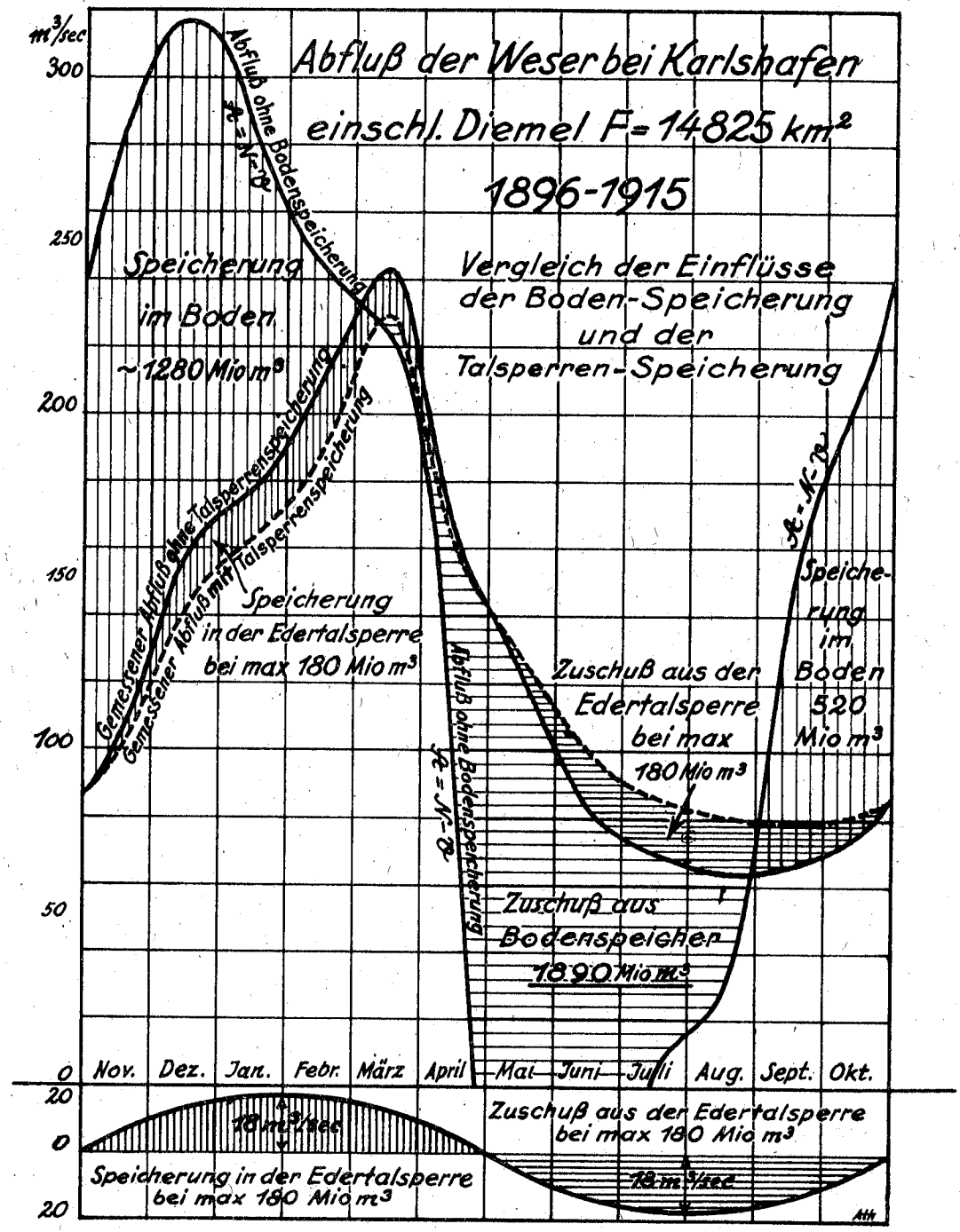
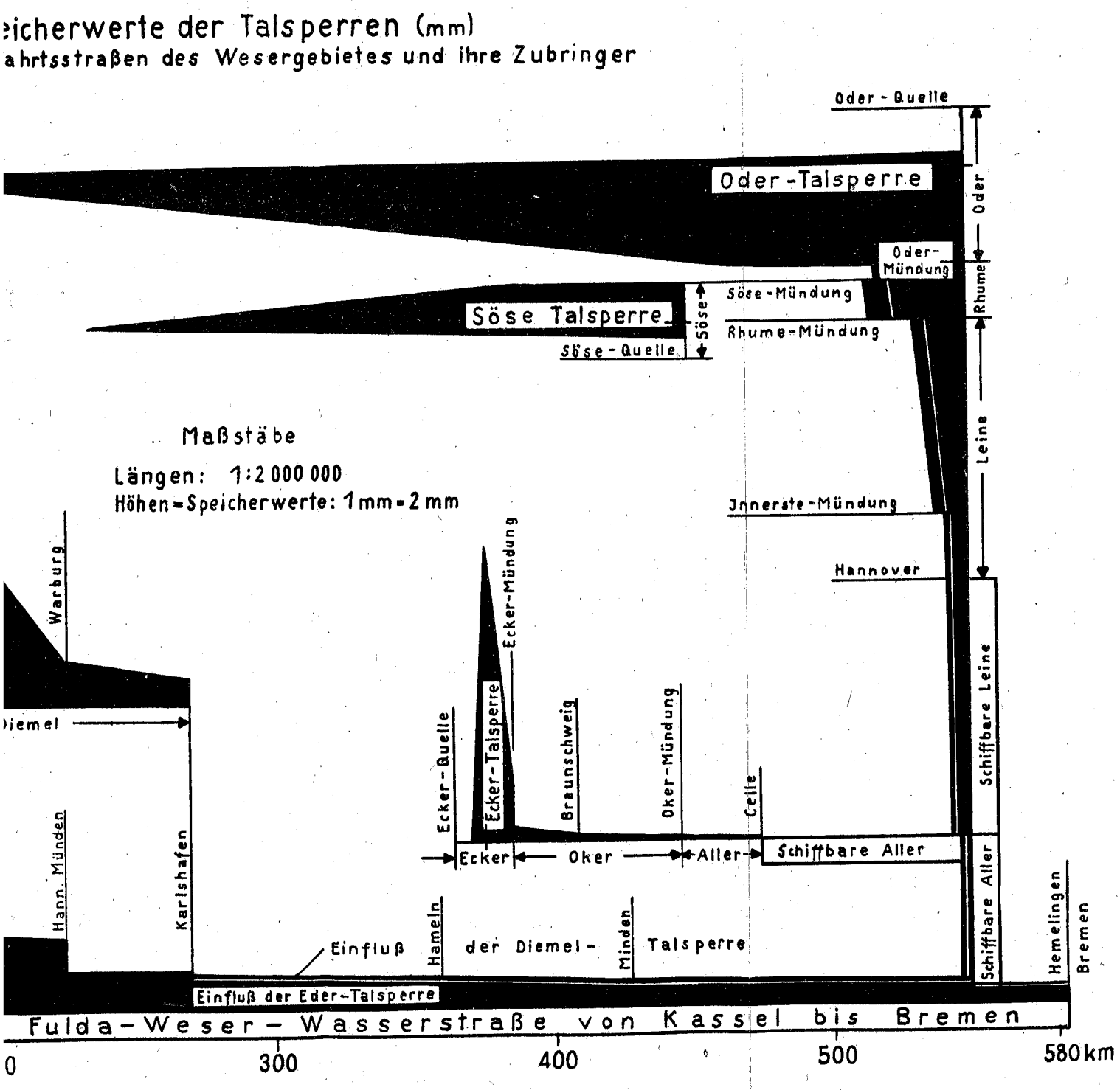


Abb. 3. Einfluß der Boden- und Talsperrenspeicherung auf den Abfluß der Weser.

Nr. 8
Abb. 4



Speicherwerte der Talsperren für die Schiffahrtsstraßen des Wesergebietes und ihre Zubringer.

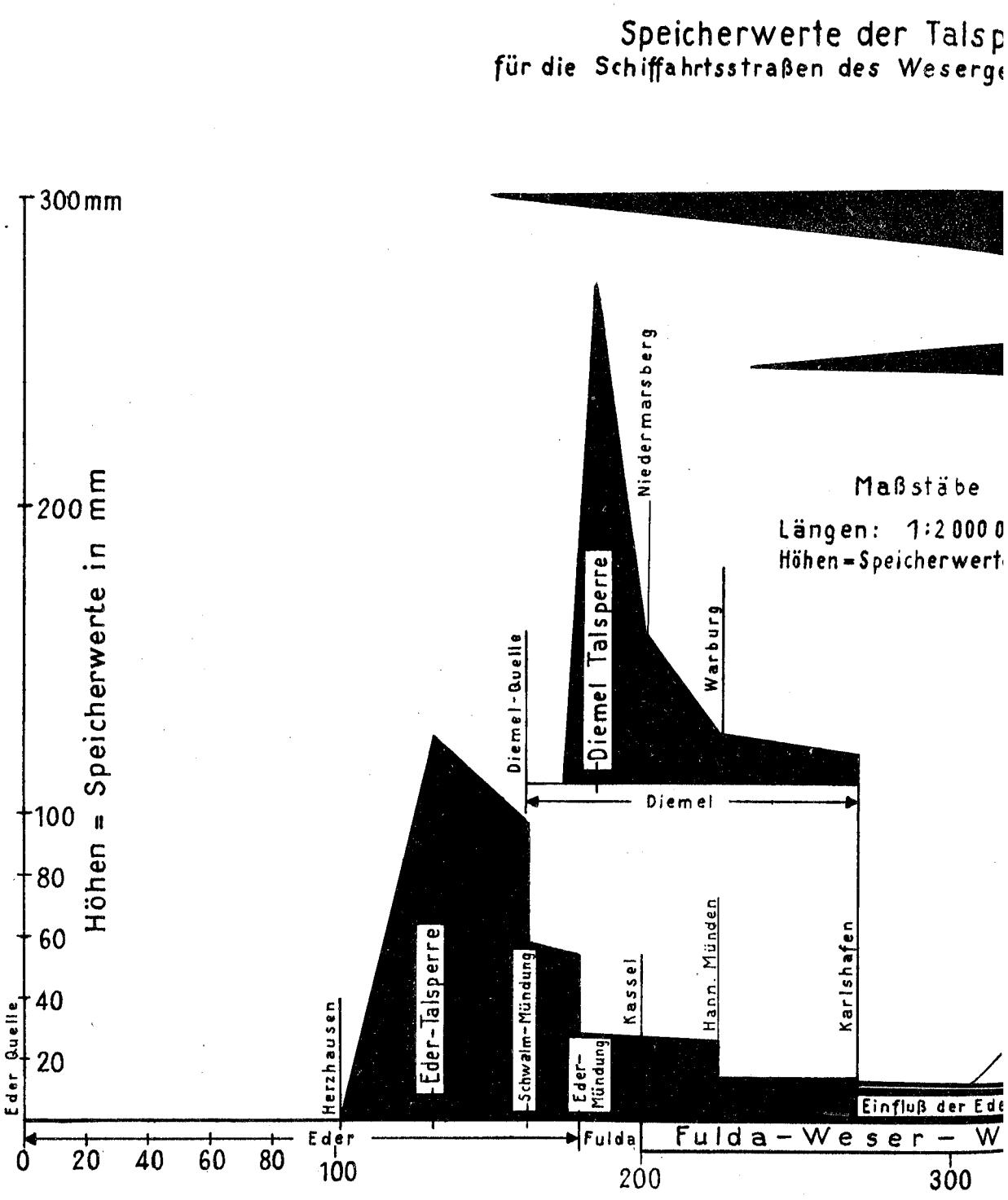


Abb. 4. Speicherwerte der Talsperren für
Wesergebietes und ihre Z

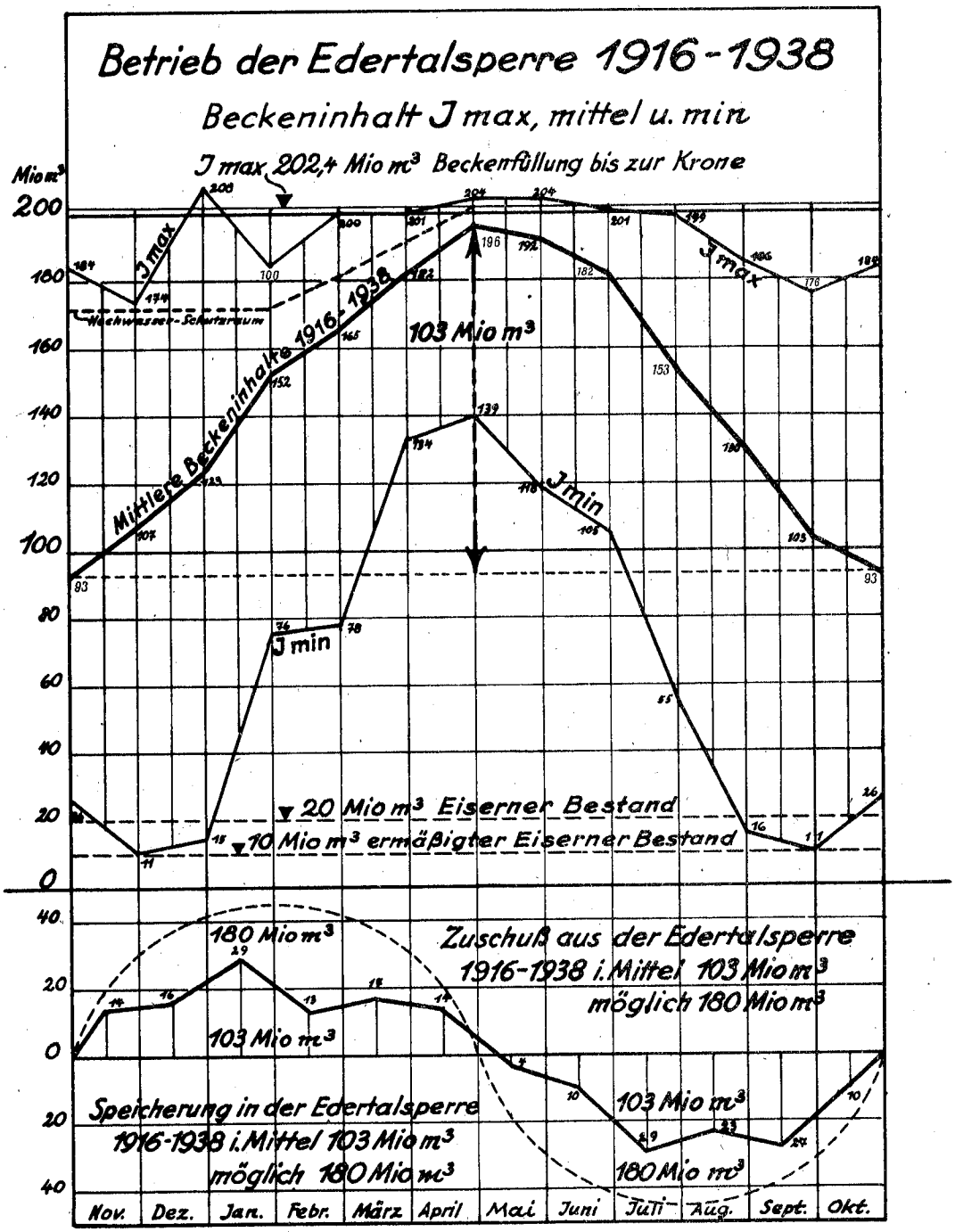


Abb. 5. Betrieb der Edertalsperre 1916—1938. Speicherung und Zuschuß.

8-3

Nr. 8
Abb. 6

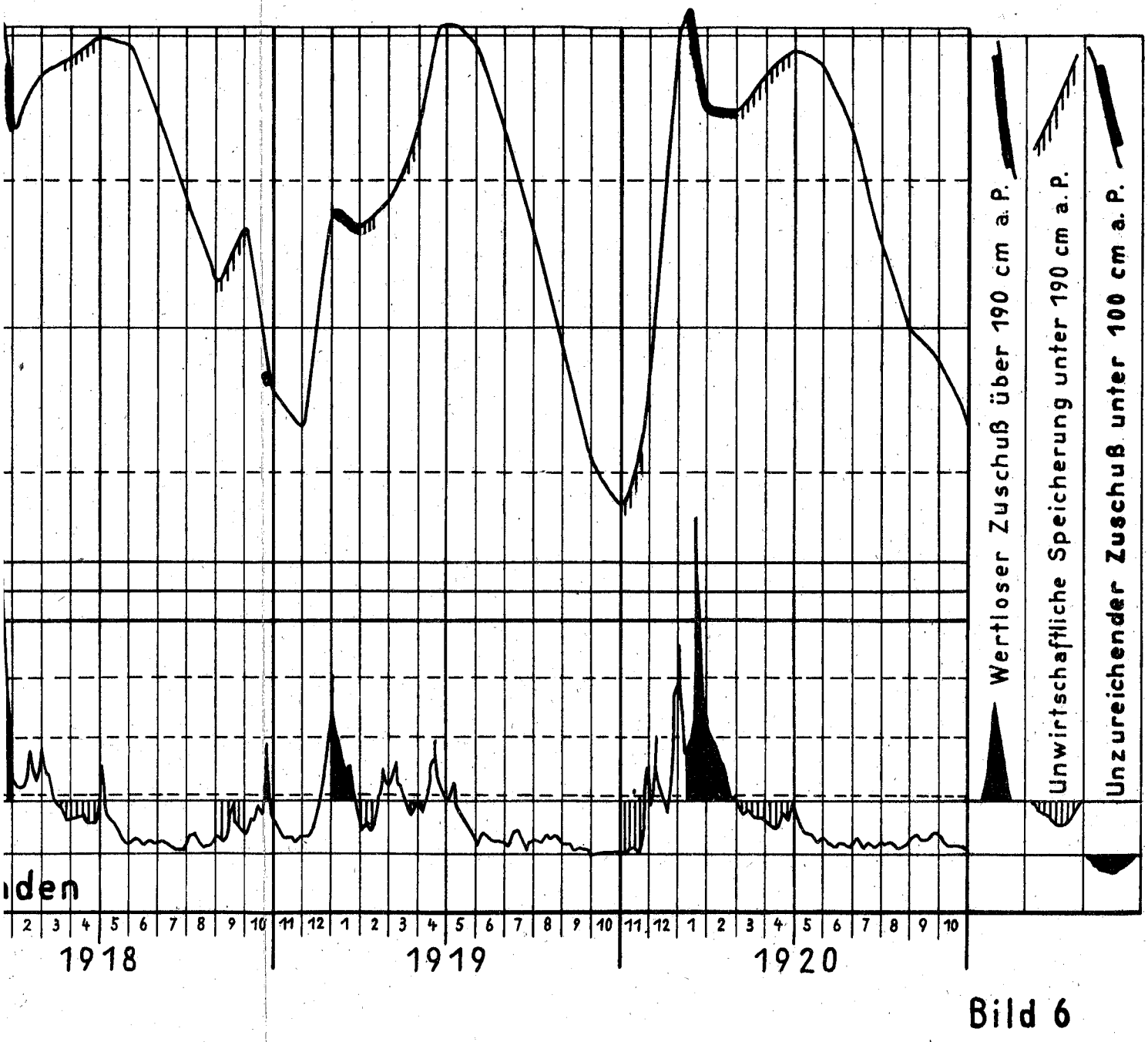


Bild 6

en.

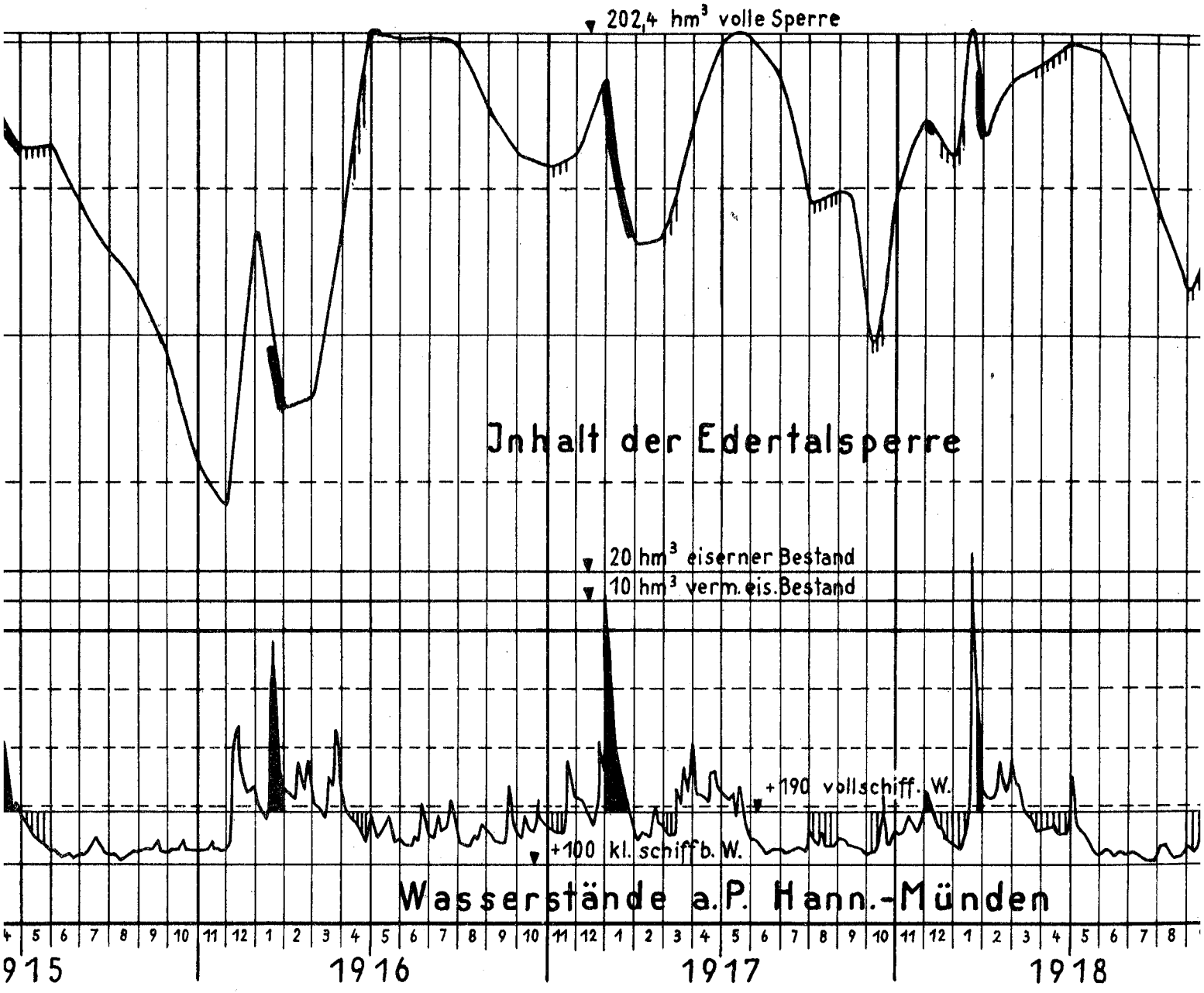
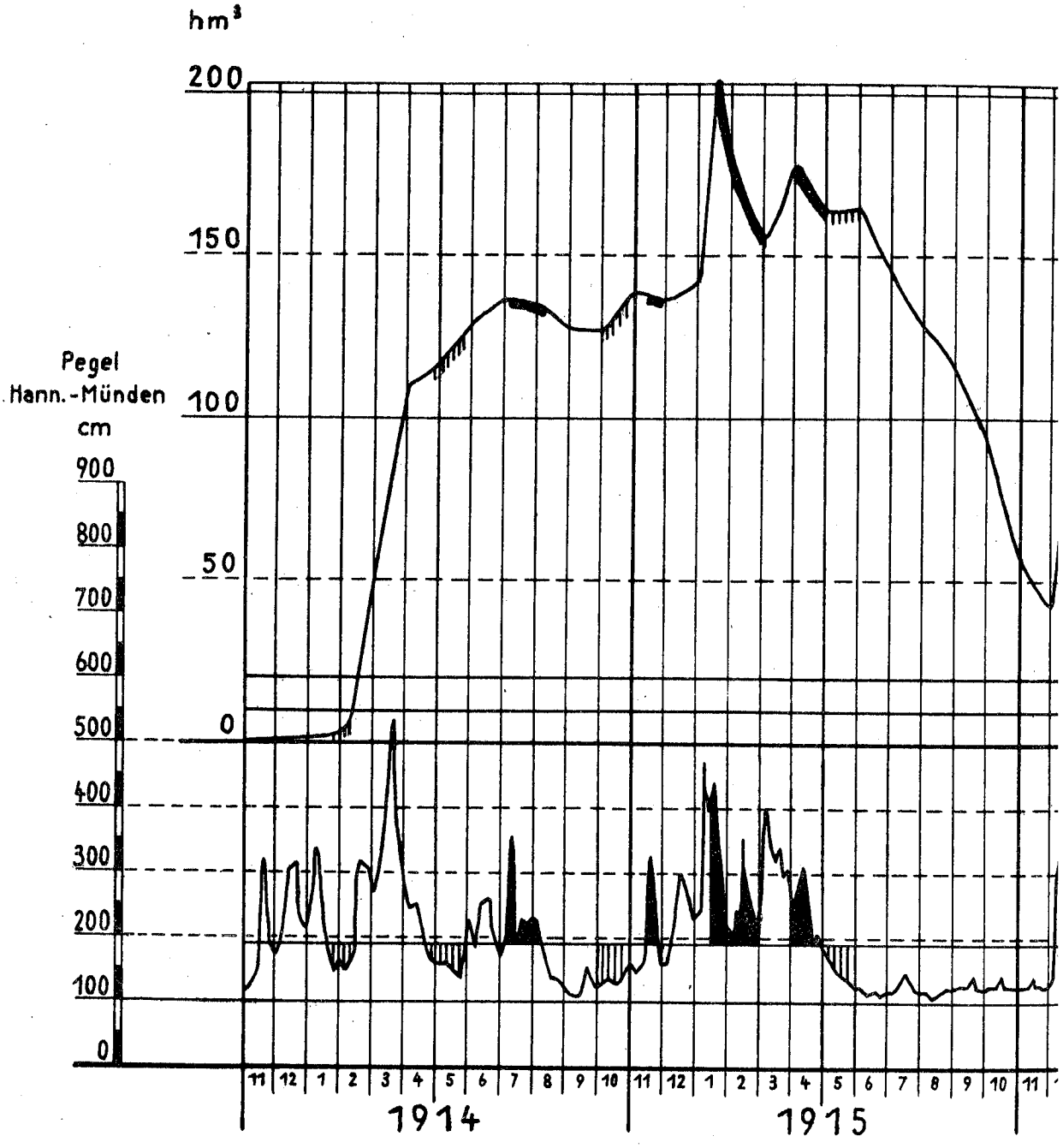


Abb. 6 u. 7. Betrieb der Edertalsperre 1914—1948.
Talsperreninhalt und Wasserstände bei Hann.-Münden.


hm³
200
150
100
50
0
Pegel
Hann.-Münden
cm
900
800
700
600
500
400
300
200
100
0
11 12 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11
1914
1915

Nr. 8
Abb. 7

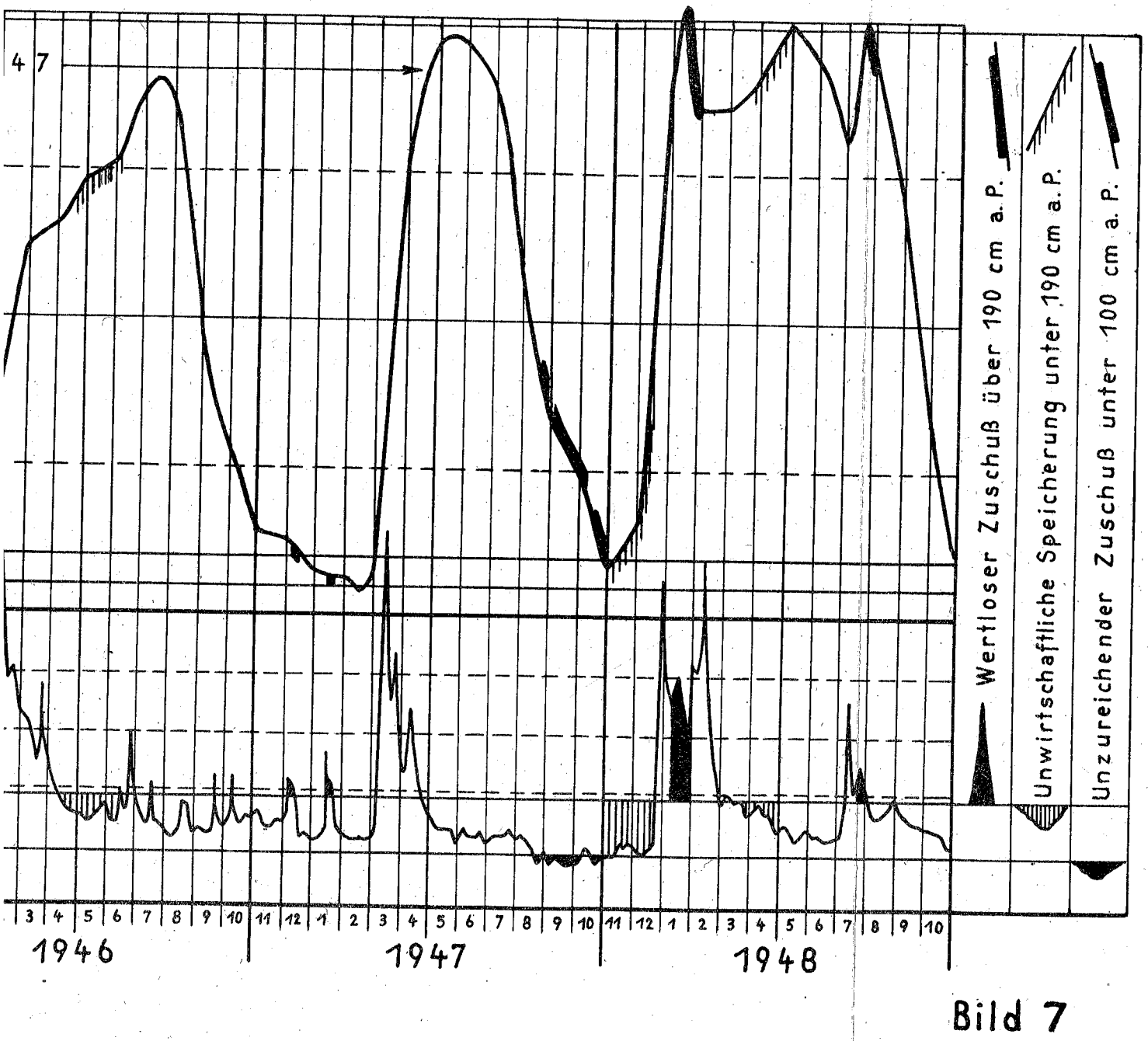
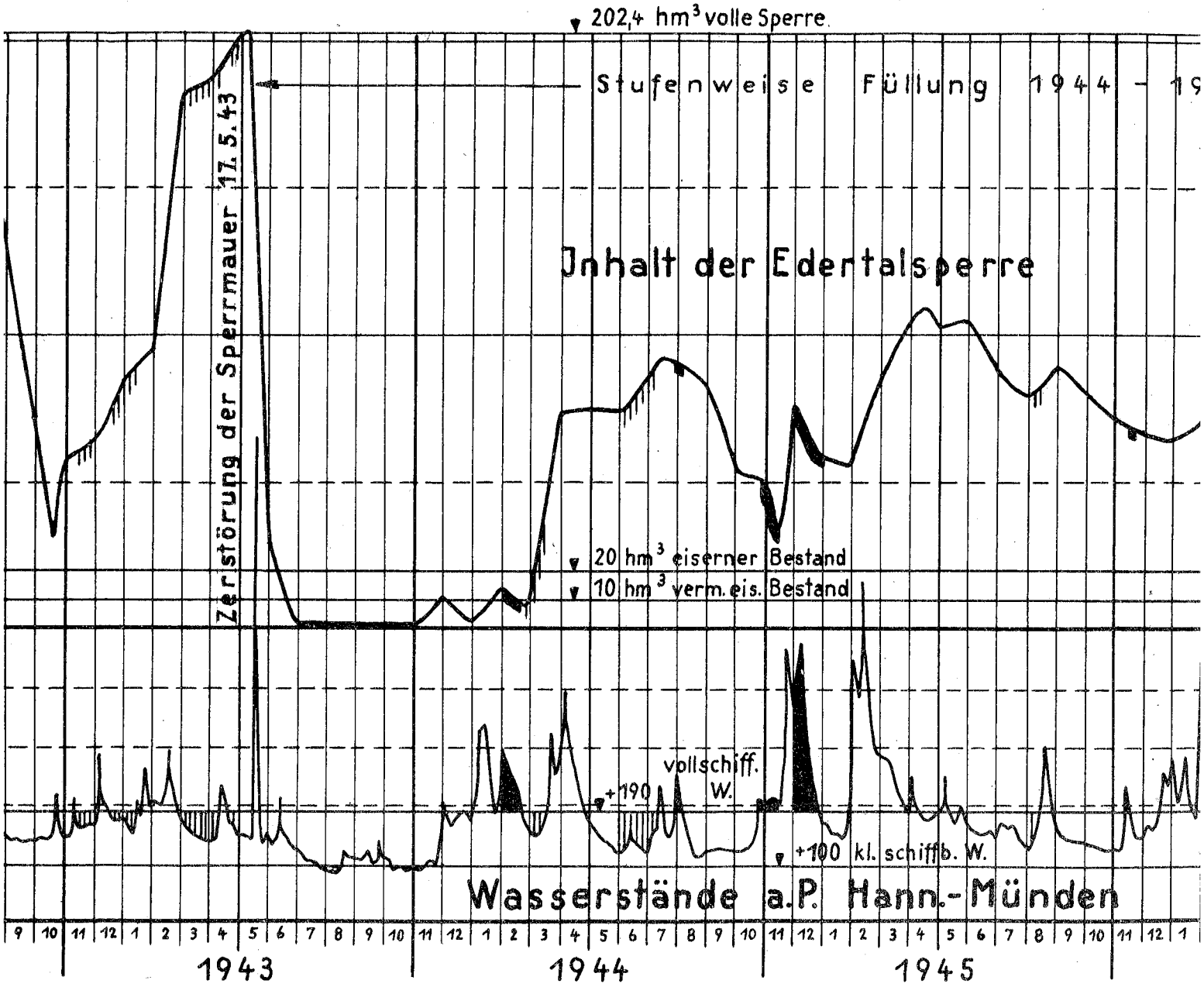
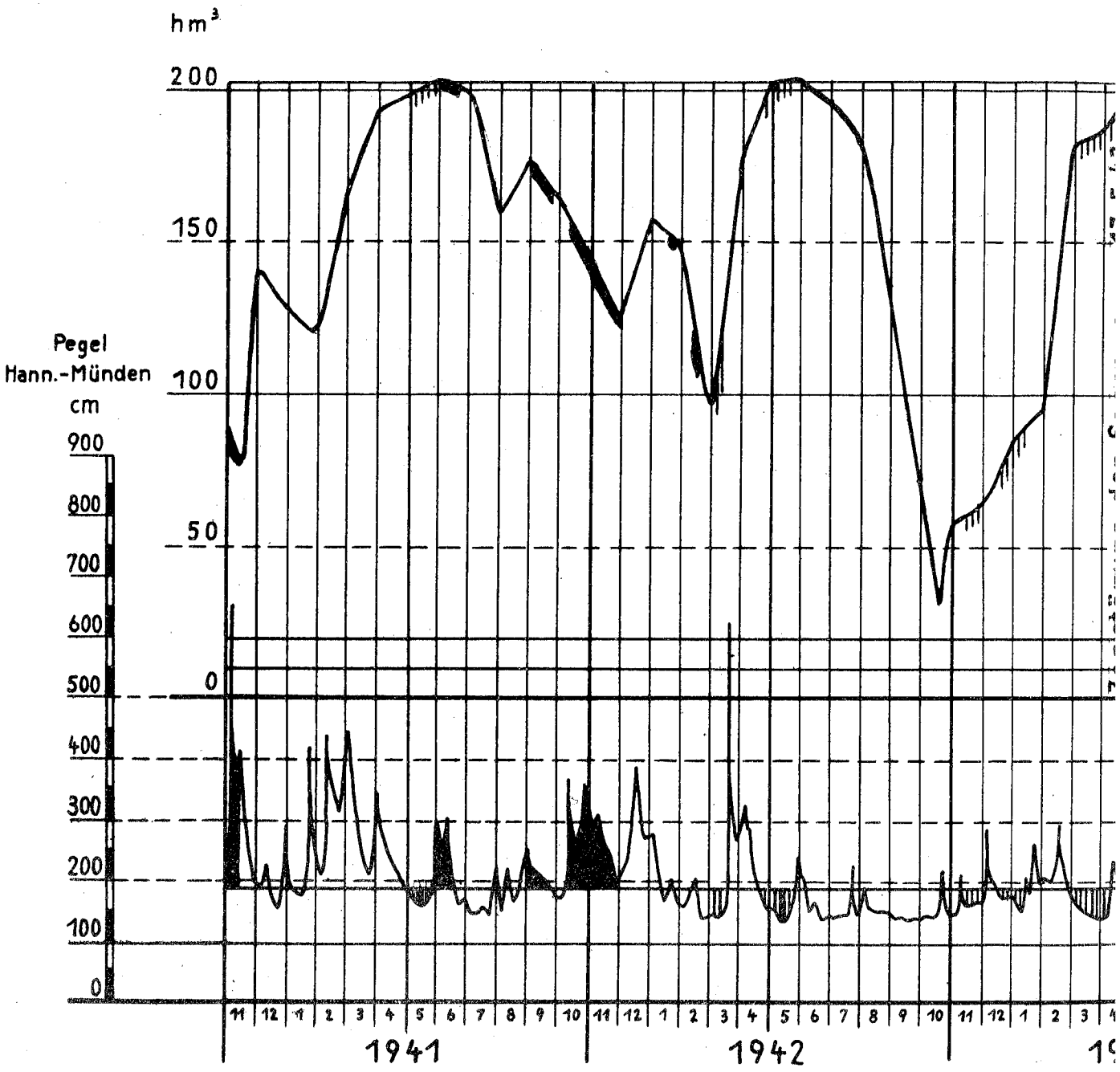
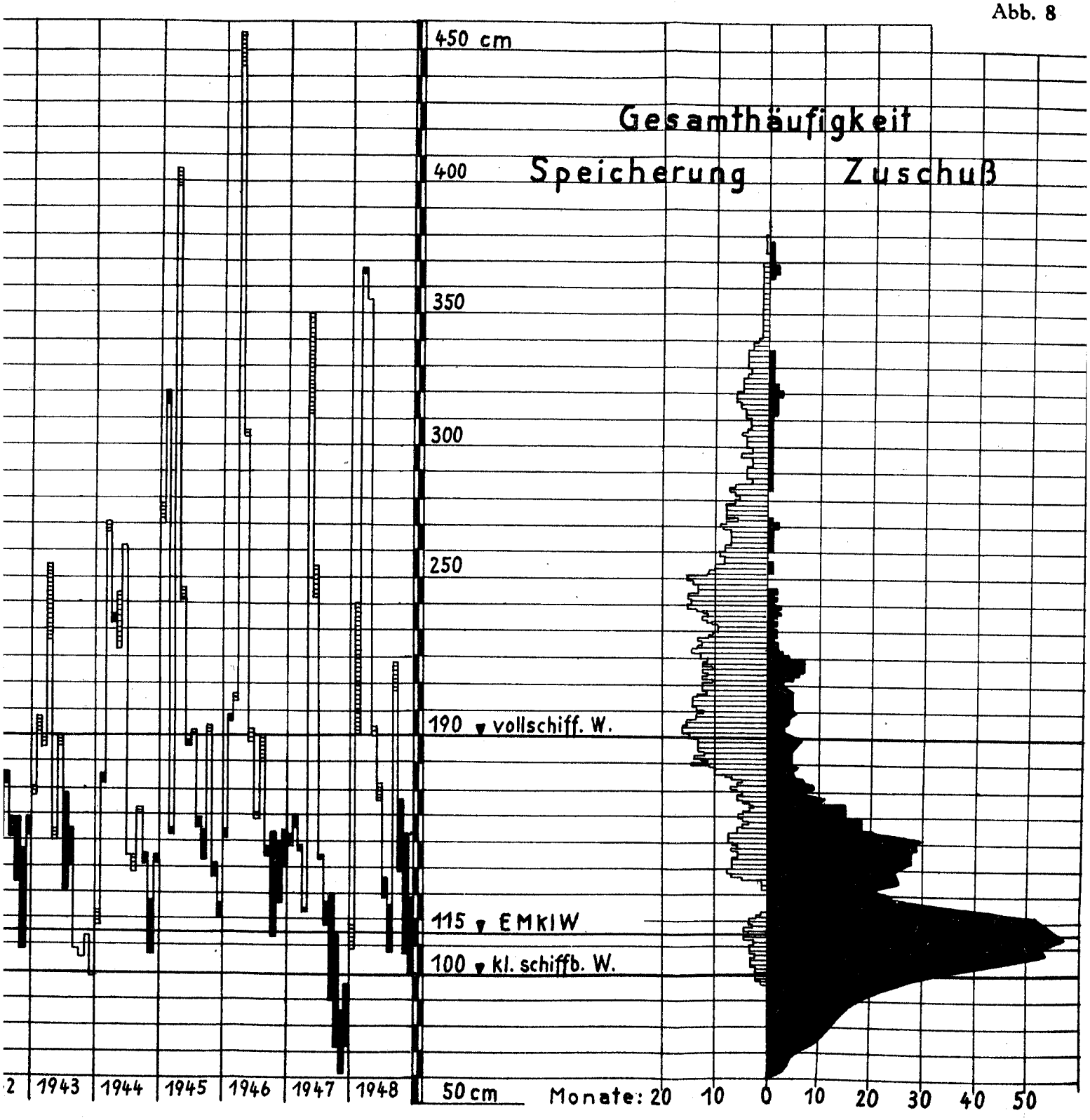


Bild 7


202,4 hm³ volle Sperre
Stufenweise Füllung 1944 – 19
Inhalt der Edertalsperre
Zerstörung der Sperrmauer 17.5.43
20 hm³ eiserner Bestand
10 hm³ verm. eis. Bestand
vollschiff. W.
+190
+100 kl. schiffb. W.
Wasserstände a.P. Hann.-Münden
9 10 11 12 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 1
1943
1944
1945


hm³
200
150
100
50
0
Pegel
Hann.-Münden
cm
900
800
700
600
500
400
300
200
100
0
11 12 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 1 2 3 4
1941
1942

Nr. 8
Abb. 8


450 cm
Gesamthäufigkeit
400
Speicherung
Zuschuß
350
300
250
190 ▼ vollschiff. W.
115 ▼ EMkIW
100 ▼ kl. schiffb. W.
2
1943
1944
1945
1946
1947
1948
50 cm
Monate: 20 10 0 10 20 30 40 50

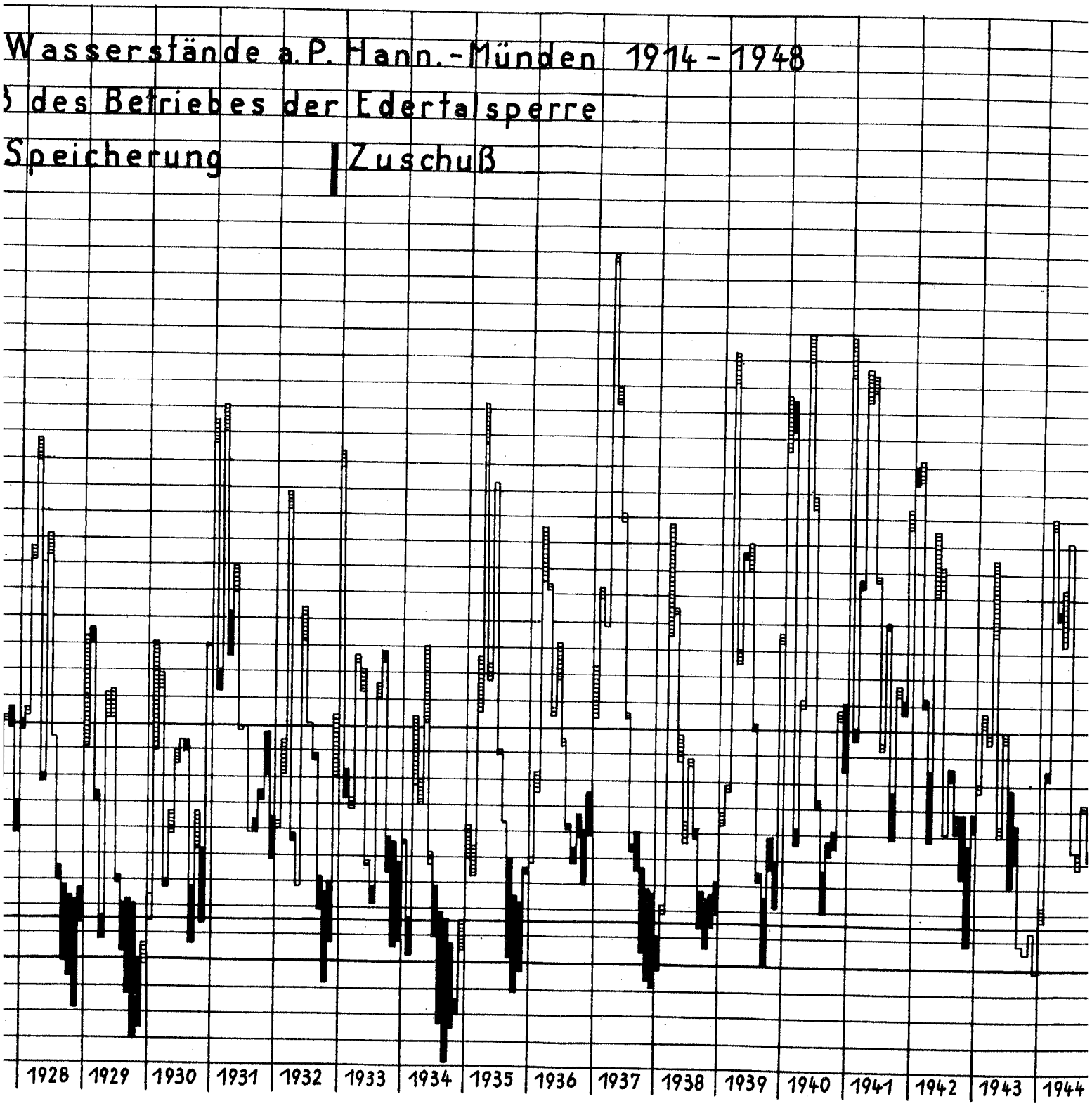
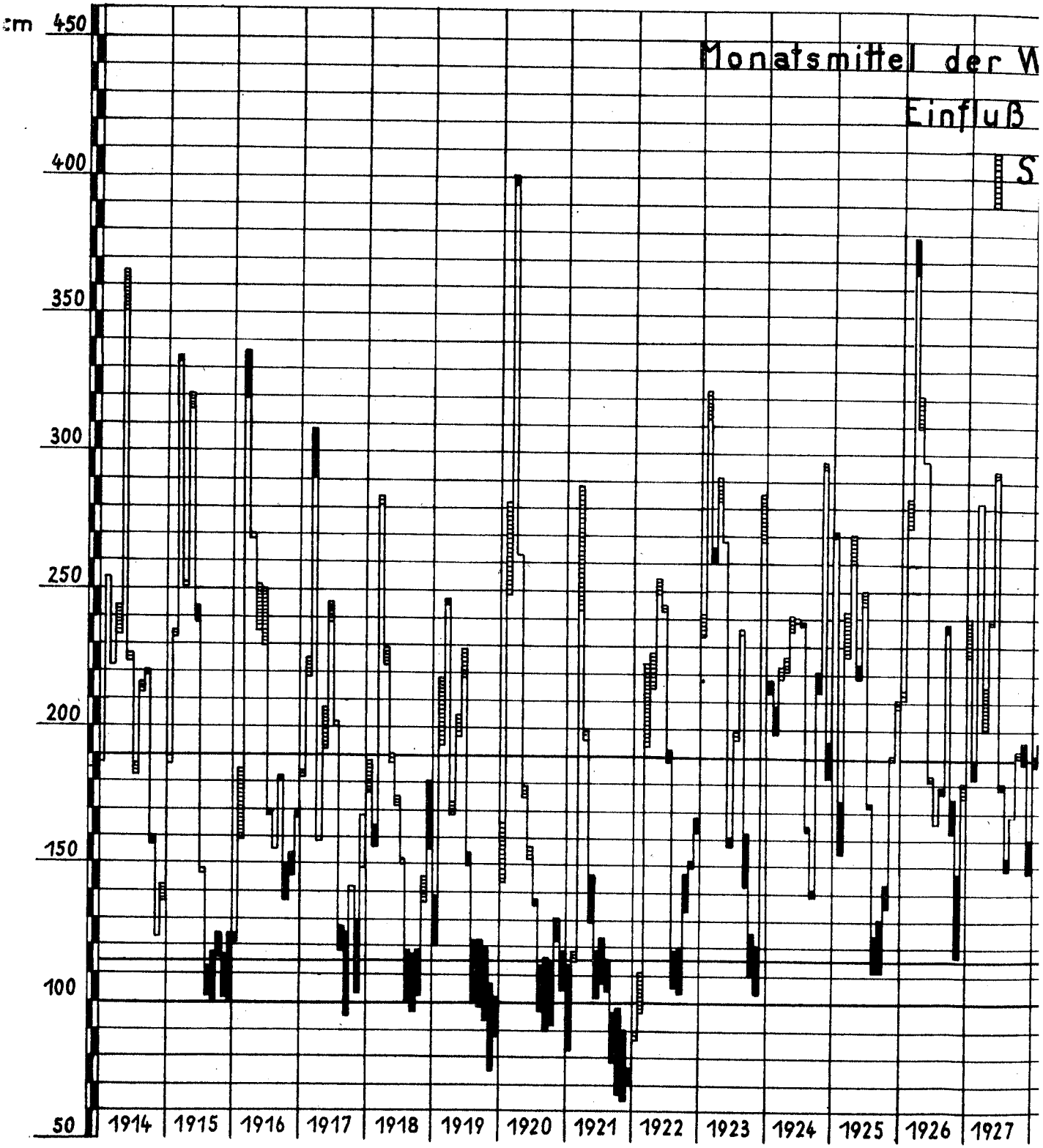


Abb. 8. Einfluß von Speicherung und Zuschuß der Edertalsperre auf die Wasserstände der Weser bei Hann.-Münden. Gesamthäufigkeit von Speicherung und Zuschuß.


cm
450
400
350
300
250
200
150
100
50
Monatsmittel der W
Einfluß
S
1914
1915
1916
1917
1918
1919
1920
1921
1922
1923
1924
1925
1926
1927

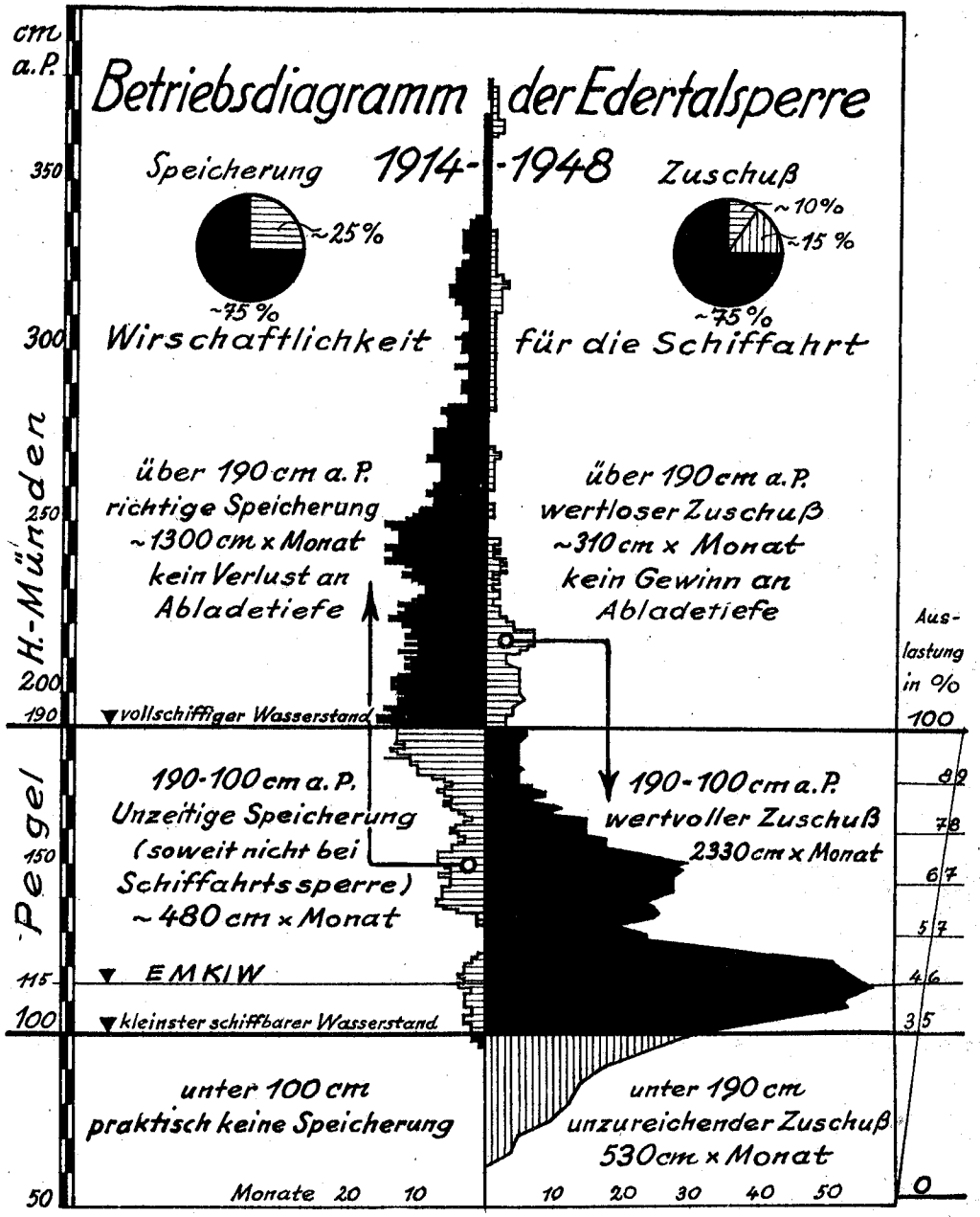


Abb. 9. Betriebsdiagramm der Edertalsperre.

Nr. 8
Abb. 10

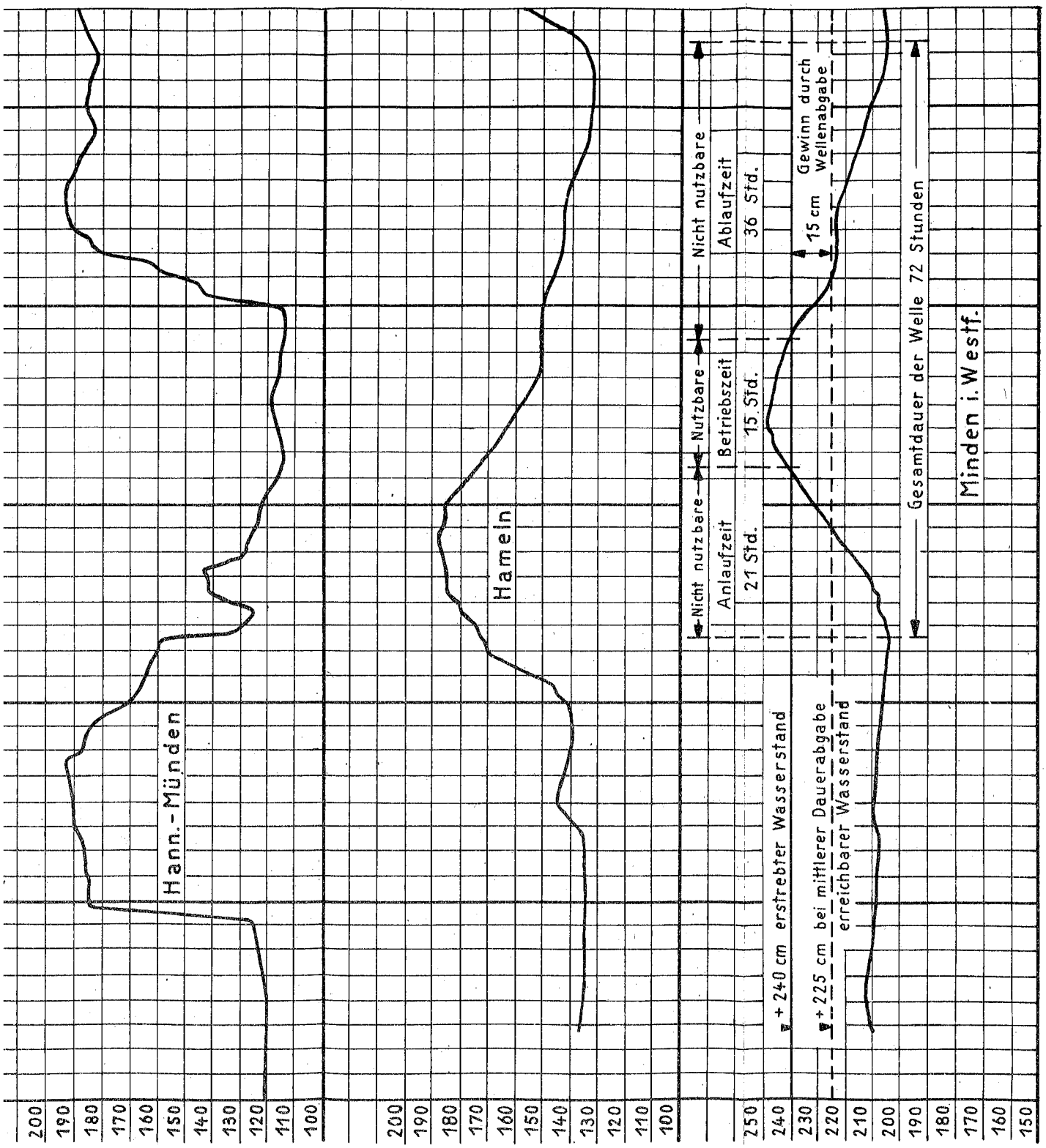
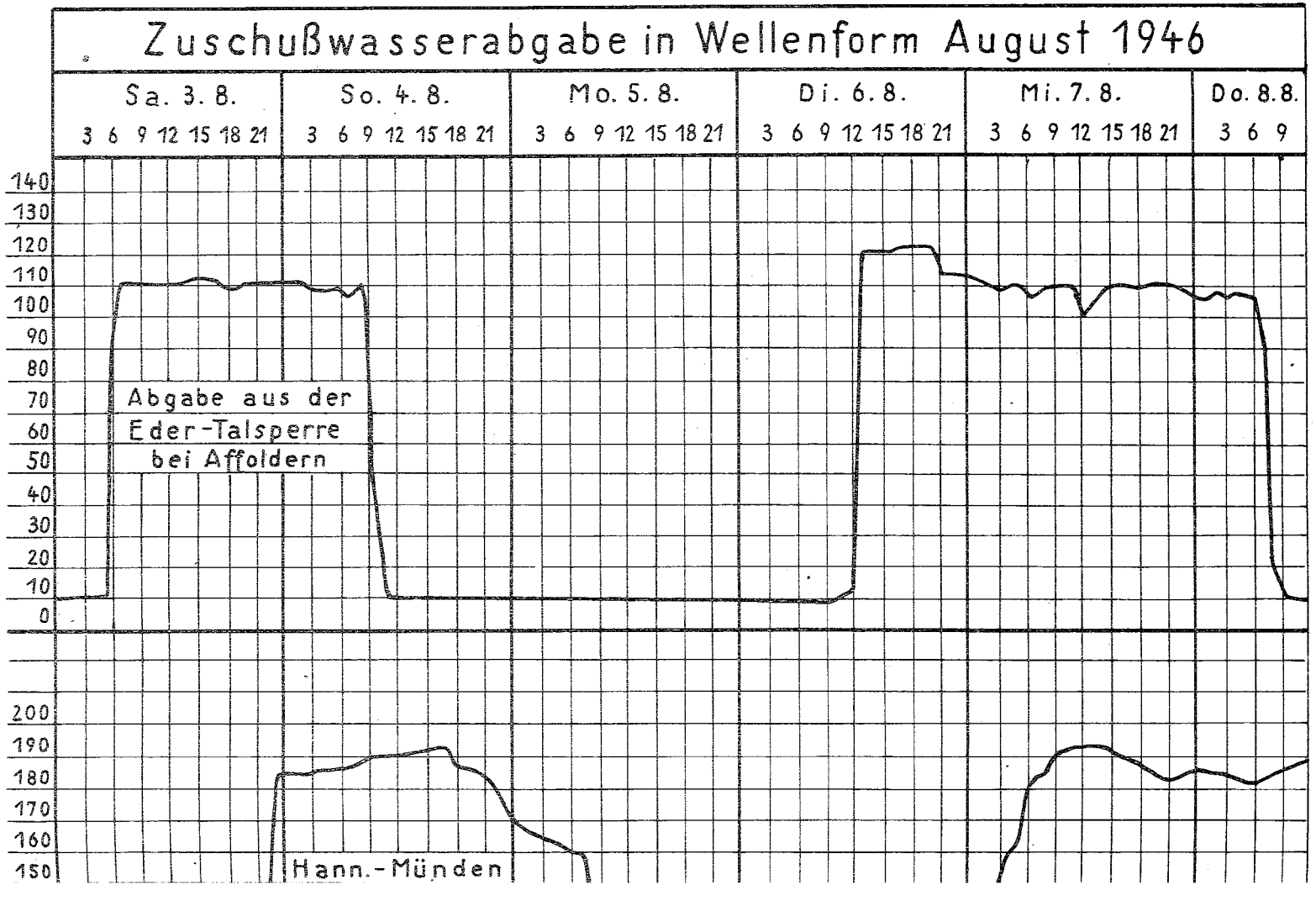


Abb. 10. Zuschußwasserabgabe in Wellenform.


Zuschußwasserabgabe in Wellenform August 1946
Sa. 3. 8.
So. 4. 8.
Mo. 5. 8.
Di. 6. 8.
Mi. 7. 8.
Do. 8. 8.
3 6 9 12 15 18 21
3 6 9 12 15 18 21
3 6 9 12 15 18 21
3 6 9 12 15 18 21
3 6 9 12 15 18 21
3 6 9
140
130
120
110
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
Abgabe aus der
Eder-Talsperre
bei Affoldern
200
190
180
170
160
150
Hann.-Münden

9

Über die Entwicklung im Bau von Binnenschiffahrtsschleusen in Deutschland.

Von P. Vollmer, Oberregierungs- u. -baurat
Zivilingenieur für Wasserbau in Münster i. W.

Entsprechend der starken Entwicklung der Schiffahrt auf den Deutschen Binnenschiffahrtsstraßen ist auch bei dem Bau von Schiffsschleusen eine Entwicklung festzustellen, über die hier auf Grund der Erfahrungen an den westdeutschen Kanälen kurz berichtet werden soll.

I. Zahl und Gefälle der Schleusenstufen.

Im Interesse einer möglichst großen Reisegeschwindigkeit der Schiffe ist das Bestreben zu erkennen, die Zahl der Schleusenstufen weitestgehend zu vermindern und damit das Gefälle der Schleusen zu vergrößern, soweit dies bei den Geländeverhältnissen möglich ist. Dies geht aus folgender Zusammenstellung einiger westdeutschen Kanäle hervor.

Kanalstrecke	Erstes Bau- bzw. Betriebsjahr	Mittleres Schleusengefälle m	Höchstes Schleusengefälle m	Zahl der Schleusenstufen
Dortmund-Ems-Kanal (nördlicher Abstieg)	1899	~ 3,40	8,50	15
Rhein-Herne-Kanal (im Bergsenkungsgelände)	1914	~ 5,00	7,90	7
Wesel-Datteln-Kanal (im Bergsenkungsgelände)	1928	~ 6,70	9,00	6
Seitenkanal Gleesen—Papenburg (Ems)	seit 1935 im Bau	~ 8,00	10,15	4
Mittelland-Kanal (v. DE-Kanal bis Elbe ohne Hebewerk Rothensee)	1938	12,00	15,00	2

Die Zunahme der Schleusengefälle geht sowohl aus den mittleren wie aus den Höchstgefällen hervor. Bei den unterstrichenen Höchstgefällen handelt es sich um Sparschleusen; solche wurden auch bei geringeren Gefällen, etwa von 6,0 m aufwärts angewendet. Im Bergsenkungsgelände wurde von Sparschleusen abgesehen.

Mit Zunahme der Gefälle wuchsen nicht nur die Größe der Bauwerke und die Baukosten, sondern es ergaben sich auch neue Veranlassungen, die Schleusenbetriebseinrichtungen, wie Tore, Schützen und Maschinen weiter zu entwickeln im Interesse der Betriebssicherheit und Schnelligkeit des Schleusungsvorgangs, insbesondere der ruhigen Lage der Schiffe beim Schleusen.

II. Zahl und Größe der Schleusen.

Die zu lösenden Aufgaben wurden auch stark durch den notwendigen Fassungsraum der Schleusen beeinflußt. Während man sich bei älteren Kanälen meist mit einschiffigen Schleusen begnügte, erforderte der stark zunehmende

Schiffahrtsverkehr der neueren Wasserstraßen von vornherein auch Schleppzugschleusen. So hat z. B. der Mittellandkanal an beiden Staustufen je zwei dreischiffige Schleppzugschleusen von 225 m Länge und 12,0 m Breite erhalten (Speicher- bzw. Sparschleusen), während an der Staustufe Münster des Dortmund-Ems-Kanals zunächst (1899) nur eine einschiffige Schleuse von 67 m Länge und 8,6 m Breite gebaut war. Im Laufe der Jahre wurde die Staustufe Münster durch zwei Schleusen so erweitert, daß jetzt neben der einschiffigen, eine zweischiffige (165×10 m) und eine dreischiffige (225×12 m) Schleuse bestehen. Im praktischen Betriebe dieser drei Schleusen nebeneinander hat sich deutlich gezeigt, daß die Schleusungszeiten nur wenig von den Auf- und Abstiegsgeschwindigkeiten, sondern hauptsächlich von den Ein- und Ausfahrzeiten, und diese wieder von der Zahl der gleichzeitig schleusenden Schiffe abhängen. Dies wirkt sich an der Schleuse Münster so aus, daß das Schleusen mit der zweischiffigen Schleuse doppelt und mit der dreischiffigen Schleuse dreimal soviel Zeit erfordert wie an der einschiffigen Schleuse, die vorzugsweise von Selbstfahrern (Motorschiffen) benutzt wird. Deshalb gewinnt bei den Wasserbaufachleuten wie bei den Schiffahrtstreibenden die Ansicht allgemeine Anerkennung, daß man bei dem Bau von neuen Staustufen neben einer für den Verkehr erforderlichen Schleppzugschleuse möglichst auch stets eine einschiffige Schleuse bauen sollte, weil hierdurch eine außerordentliche Beschleunigung der Reisegeschwindigkeit sowohl der größeren Schleppzüge wie auch insbesondere der Selbstfahrer ermöglicht wird.

So wurde z. B. beim Seitenkanal Gleesen—Papenburg von vornherein neben je einer Schleppzugschleuse von 225 m Länge und 12 m Breite eine Schleuse von 115 m Länge und 12 m Breite vorgesehen.

Die B r e i t e n der Binnenschiffsschleusen waren früher je nach der Größe der Schiffe sehr verschieden. Heute beträgt die Normalbreite der Schleusen auf Hauptwasserstraßen in der Regel 12 m, die für Schiffe bis zu 1500 t Tragkraft ausreicht. Nur bei Flußschleusen kommen auch größere Breiten bis zu 25 m vor.

Die genannte L ä n g e der Schleppzugschleusen genügt für das Durchschleusen von drei 600 bis 750-t-Schiffen mit Schlepper wie auch für zwei 1500-t-Schiffe mit Schlepper, die kurze Schleuse von 115 m Länge für ein 1500-t-Schiff nebst Schlepper. Die Länge von 225 m bedingt bei drei 750-t-Schiffen ein sehr dichtes Aufrücken der Kähne, so daß eine Zugabe bis zu 10 m sich beim Einfahren günstig auswirken würde; die kurze Schleuse kann andererseits um 10 m auf 105 m Länge verkürzt werden, wenn nur 1000-t-Schiffe als größtzulässige Schiffe in Frage kommen*).

Die D r e m p e l t i e f e muß so bemessen sein, daß der Einfahrwiderstand nicht zu groß wird; das Flächenverhältnis von Schleuseneinfahrt F zum Schiffs-

*) Ausgehend von den bekannten Schleusen mit versetzten Häuptern wurde bei einer Kanalisierung der Grundriß rhombenförmig gestaltet, derart daß die ein- und ausfahrenden Schiffe quer kaum verholt zu werden brauchen, sondern schräg in ihre Lage in die Schleusenkammer gelangen oder aus ihr ausfahren können. Dies wird besonders dadurch ermöglicht, daß sich die Abstände der Kammer- und Leitwände unmittelbar hinter den Schleusentoren trichterförmig erweitern. Während die Tore 12 m weit sind, beträgt die Lichtweite des mittleren 43 m langen Teiles der Schleusenkammer 20 m und die Gesamtlänge der Kammer nur 105 m. Die Schleuse kann daher gleichzeitig drei 400 t-Kähne, oder zwei 600 t-Kähne oder einen 1000 t-Kahn, jeweils mit Schlepper aufnehmen, aber auch zwei 1000 t-Kähne von 9,20 m Breite ohne Schlepper. Die neue Schleuse hat sich im Betrieb bewährt, aber auch baulich wesentliche Ersparnisse gebracht. (s. Zeitschr. f. Binnenschiffahrt 1944. Ausgeführt an der Saale in Bernburg).

querschnitt f sollte mindestens $n = \frac{F}{f} \geq 2{,}0$ sein. Bei den 12,0 m breiten Normalschleusen ergibt sich

$$\text{für das } 750 \text{ t-Schiff } n = \frac{12 \cdot \underline{3{,}0}}{8{,}2 \cdot 2} = \underline{\underline{2{,}2}}$$

$$\text{für das } 1000\text{-t-Schiff } n = \frac{12 \cdot \underline{3{,}5}}{8{,}2 \cdot 2{,}5} = \underline{\underline{2{,}05}}$$

$$\text{für das } 1500\text{-t-Schiff } n = \frac{12 \cdot \underline{4{,}0}}{9{,}2 \cdot 2{,}5} = \underline{\underline{2{,}08}}$$

Die einfach unterstrichenen Zahlen sind die Drempeltiefen.

III. Die Gründung der Schleusen.

1. Bei gutem, festem Baugrund.

Für die Bauart der Schleusenkammer ist der Untergrund ausschlaggebend. Wenn gut tragfähiger Baugrund (fester Ton, Mergel, Kies, Kiessand usw.) in erreichbarer Tiefe ansteht, so wird im allgemeinen dem Massivbau der Vorzug gegeben. Ob dabei die Gründung innerhalb von Fangedämmen mittels offener Wasserhaltung oder in einer geböschten Baugrube mittels Grundwasserabsenkung gewählt wird, hängt von der Art des Baugrundes und von dem Kostenvergleich ab. Bei annähernder Gleichheit der Kosten wird wohl stets der Gründung mittels Grundwasserabsenkung der Vorzug zu geben sein, denn diese verbürgt im allgemeinen die leichtere und bessere Ausführung.

Außer den früher allgemein gebräuchlichen Grundwassersenkungsanlagen mit einer Reihe von Saugbrunnen-Staffeln werden neuerdings nicht selten Großbrunnen mit Unterwasserpumpen angewandt.

Grundsätzlich müssen die Gründungsblöcke stets (wenn die Blöcke nicht gerade auf Felsen gegründet werden) mit Umfassungsspundwänden umschlossen werden, um eine Umläufigkeit der Schleuse zu vermeiden. Das Rammen dieser Spundwände und das Einbringen der Schutzschichten gegen aggressives Grundwasser an den Betongrundplatten lassen sich besser unter Grundwassersenkung ausführen. Als Umfassungsspundwände kommen heute nur noch eiserne Spundwände in Betracht. Die vier in Deutschland erzeugten Arten von Spundwandprofilen (Hoesch, Klöckner, Krupp, Larssen) werden von der deutschen Wasserbauverwaltung als gleichwertig angesehen. Auf den Schutz gegen Aggressivität des Grundwassers wird man im allgemeinen nicht verzichten dürfen, weil man sich nicht allein auf die Wasserdichtigkeit des Betons verlassen sollte. Bei den deutschen Groß-Wasserbauten wird für die Betonherstellung nur selten reiner Zementmörtel angewendet. Man geht mehr und mehr zu einer Mischung von Zement, Kalk und Traß mit niedrigem Zementanteil über. Ein solcher Wasserbaumörtel bindet langsamer ab, dafür wird aber die Abbindewärme in den großen Massenkörpern so niedrig gehalten, daß eine künstliche Abkühlung durch Kühlwasserleitungen entbehrlich ist.

Infolge der Wasserdichtigkeit und Schleimigkeit des beschriebenen Wasserbaubetons eignet sich dieser auch gut für das Einbringen mittels Betonpumpen und auch für Unterwasserbeton.

Bei tragfähigem Baugrund kann der Schleusenkörper weitgehend aufgeteilt werden. Man wird also in der Regel jedes Schleusenhaupt als einheitlichen Block gründen und die massiven Mauern je für sich in einzelnen, etwa 15 m langen Blöcken herstellen und erst nachträglich die Sohle so einbringen, daß sie sich wie ein Balken auf zwei Stützen oder wie ein umgekehrtes scheitrechtes Gewölbe zwischen die seitlichen Mauerblöcke einspannt.

Ob die Seitenmauern der Schleuse als massive Betonblöcke oder als aufgelöste Eisenbetonmauern hergestellt werden, ist im wesentlichen eine wirtschaftliche Frage. In Deutschland wird der massiven Bauweise im allgemeinen der Vorzug gegeben, weil sie eine einfachere Bauausführung ergibt und sich auch für die Unterbringung der Fugendichtungen besser eignet.

Wenn der Untergrund nicht nur genügend fest ist, sondern außerdem nur geringe Durchlässigkeit hat, kann bei Einzelgründung der Seitenmauern u. U. ganz auf eine massive Sohle verzichtet werden. Oft genügt es dann, zwischen den Seitenmauern in Abständen Spannbalken zu spannen, die den Abstand der Seitenwände sichern und die Zwischenräume mit einem umgekehrten Filter von Sand (unten), Splitt oder Kies (in der Mitte) und Schotter oder Grobkies (oben) gegen Ausspülen von feinen Bodenteilchen auszufüllen.

Bei Felsboden können natürlich die Spundwände u. U. ganz fortfallen oder durch eine Herdmauer ersetzt werden. Die Kammersohle kann dann lediglich aus einer Betonauskleidung von etwa 0,5 m Stärke bestehen, die im wesentlichen den Kammerboden glatt gestaltet und den Felsen vor Verwitterung schützen soll. Sollte aus dem Felsen mit einem geringen Wasserdruck zu rechnen sein, so ist bei wasserdichter Herstellung der Betonverkleidung diese als umgekehrtes Gewölbe so stark auszubilden, daß sie den Wasserdruck (Auftrieb) tragen kann. Will man jedoch den Wasserdruck unter der Sohle entspannen, so müssen Durchbrechungen der Sohle eingebaut werden, die dann auch wieder mit einem umgekehrten Filter auszufüllen sind.

2. Gründung auf lehmigem oder feinsandigem Untergrund.

Bei feinsandigem und lehmigem Untergrund ist die Einzelgründung der Seitenmauern im allgemeinen dann nicht zu empfehlen, wenn der Feinsand oder andere feine Bestandteile des Untergrundes die Neigung zeigen, sich bei Wasserandrang wie Schwimmsand zu verhalten, also bei Wasserbewegungen feine und feinste Teile aus dem Untergrund ausgespült werden können. Dann ist es besser, der Schleuse eine beide Seitenmauern gemeinsam tragende Grundplatte zu geben, weil dann Längsfugen in der Grundplatte vermieden werden. Ganz lassen sich auch hier die Fugen nicht vermeiden, weil die Art der Herstellung, die Längenänderungen infolge verschiedener Temperaturen und das Schwinden des Betons eine größere Zahl von Querfugen erforderlich machen. Die sichere Dichtung dieser Querfugen macht im allgemeinen keine besonderen Schwierigkeiten, weil die Bewegungen in den Querfugen langsam vor sich gehen, sich nicht oft wiederholen und weil die Längenänderungen senkrecht zu den Querfugen nur gering sind. Dagegen müssen bei den Längsfugen bei jeder Belastungsänderung, also bei jedem Spiel von Füllen und Entleeren der Schleusenkammer elastische Bewegungen in den Fugen stattfinden. Diese Längsfugen sind daher auf die Dauer schwer dicht zu halten. Noch schwieriger sind die Kreuzungspunkte von Längs- und Querfugen auf die Dauer sicher abzudichten, obwohl für die Fugendichtungen schon eine Unzahl von technisch gut ausgedachten Lösungen vorgeschlagen und zum Teil auch mit Erfolg ausgeführt wurden. Schließlich zwingt nicht selten auch die beschränkte Tragkraft des Untergrundes dazu, das große Gewicht der Seitenmauern auf eine durchgehende Betonplatte zu verteilen.

Bei Gründung der Kammermauern auf gemeinsamer Grundplatte tritt die Frage auf, in welcher Weise die Berechnung erfolgen soll. Diese Auf-

gabe ist statisch unbestimmt, so lange keine Anhaltspunkte für die Verteilung des Bodendrucks vorhanden sind. Nach den neueren Anschauungen in Deutschland ist es üblich, die Beiwertzahl für das elastische Verhalten einer Schleusensohle für verschiedene Bodenarten etwa wie folgt abzustufen:

Beiwert k = 0,00 für Felsboden
„ k = 0,30 „ Grobkies und festen Ton
„ k = 0,65 „ Kiessand und Sand
„ k = 0,75 „ mittelfesten Boden
„ k = 0,80 „ losen Boden
„ k = 1,00 „ weichen Boden

Das heißt, bei Felsboden wird angenommen, daß die Druckverteilung den örtlich auftretenden Drücken entspricht, daß also keine Durchbiegung eintritt, bei weichem Boden wird eine gleichmäßige Druckverteilung angenommen. Bei mittlerem Boden wird die Bodendruckverteilung so angenommen, daß die Durchbiegung das 0,75fache derjenigen bei weichem Boden ausmacht.

3. Bei wenig tragfähigem Boden.

Bei wenig tragfähigem Boden werden die Schleusenwände in Deutschland meist aus eisernen Spundwänden gebildet. Dadurch kann das Gewicht des Schleusenbauwerks auf einen Mindestwert herabgesetzt werden. Für die Kammersohle gilt das unter 1. Gesagte; sie kann massiv oder auch durchbrochen ausgeführt werden. Die durchbrochene Ausführung mittels Spannbalken und Filter kommt insbesondere dann in Betracht, wenn die Spundwände in festere, dichte Bodenschichten hinabreichen.

4. Gründung im Bergsenkungsgelände.

Einen besonderen Fall bildet die Gründung von Schiffschleusen im Bergsenkungsgelände, wie sie am Rhein-Herne-Kanal und am Lippe-Seiten-Kanal ausgeführt wurden.

Hierbei wurden aus Rücksicht auf die Bergsenkungen die Schleusenbauwerke durch senkrechte Trennfugen von der Fundamentsohle bis zur Mauerkrone in einzelne stark mit Stahl bewehrte Baublöcke zerlegt. Die Kammermauern, die jede für sich gegründet sind, erhielten eine Neigung 30 : 1.

Die Drempel wurden um 1 bis 2 m tiefer gelegt, weil der Wasserspiegel in der Schleuse tiefer zu liegen kommt, wenn die Schleusen langsamer absinken als die Haltungen.

Ferner wurden die Baukörper der Schleusen so bemessen, daß sie auch bis zu 2 m aufgehöht werden können. Schließlich wurden bei Doppelschleusen die beiden Schleusen fußtapfenartig gegeneinander versetzt, damit sie nicht gleichzeitig wegen Bodensenkungen außer Betrieb gesetzt werden und dann aufgehöht werden müssen, wenn dies erforderlich wird.

IV. Allgemeines über die Schleusenbaukörper.

Während früher die Flügel der Häupter zur Kostenersparnis kurz gehalten und dementsprechend der Vorhafen trichterförmig nach der Schleuse zu eingeschränkt wurden, wird es heute vorgezogen, den Kanal in Normalbreite bis an die Häupter zu führen, damit der Wasserschwall vor dem einfahrenden Schiff gut zur Seite abfließen kann und dieses möglichst wenig gebremst wird. Soweit Leitwerke mit durchlaufender Leitwand angeordnet werden, baut man die Leitwände nur in und über der Wasserlinie in geschlossener Form aus, während das Leitwerk unter Wasser offen bleibt. Diese Maßnahme und eine Vertiefung des Vorhafens unmittelbar vor der Schleuse haben auch den Zweck, den Wasserschwall gut zurückfließen zu lassen; die Vertiefung verhindert zugleich das Eintreiben von Schwebestoffen in das Oberhaupt.

Die Schleusenplattform wurde bei älteren Schleusen meist 0,5 m bis 1,00 m über dem Normalwasserstand des Oberwassers angeordnet; heute hält man 1,30 m für zweckmäßig. Diese Höhenlage kommt auch der Ausbildung der Torantriebe bei Stemmtoren und Klapptoren zu Gute, besonders wenn infolge Windstau und Pendelwellen mit einer häufigen Überschreitung des Normalstaues zu rechnen ist. Aufbauten über der Plattform und Brücken über dem Unterhaupt werden möglichst vermieden, weil sie die freie Sicht zu den Vorhäfen stören können. Alle diese Maßnahmen erhöhen zwar die Baukosten, wirken sich aber günstig auf den Betrieb der Schleusen aus. Die früher übliche Verkleidung der Ecken, Kanten, Anschläge und Drempel mit schweren Quadern aus Granit oder Basaltlava ist jetzt meistens verlassen, dafür sind Stahlpanzerungen an ihre Stelle getreten, die sich bei der Herstellung der Betonblöcke in einem Arbeitsgang besser einbauen lassen als das Quadermauerwerk.

Darüber, ob die Antriebsmaschinen alle von einem Zentralstand aus oder örtlich bedient werden sollen, gehen die Ansichten auch heute noch auseinander. Bei den westdeutschen Wasserstraßen mit ihrem sehr starken Verkehr wird der örtlichen Steuerung der Vorzug gegeben, damit der Bedienende den Schleusenvorgang aus unmittelbarer Nähe beobachten kann. Eine Zentralbedienung erfordert mindestens eine Bedienungskraft mehr als die örtliche Steuerung, ohne dabei größere Sicherheit zu bieten oder die Leistung der Schleuse zu steigern. Zur Steigerung der Leistung trägt es dagegen sehr bei, wenn die Schleusen — sofern die Schlepper nicht regelmäßig mitgeschleust werden — mit guten Einschleppvorrichtungen versehen werden (Treidellokomotiven, Seiltreidelanlagen oder bei kurzen Schleusen auch Spills). Eine weitere Steigerung wird erzielt durch gute Beleuchtung der Schleusen und Vorhäfen, damit der Schleusenbetrieb auch noch in der Dunkelheit möglich ist, falls viele Schiffe im Schleusenrang liegen. Schließlich ist auf gute Steige- und Senkgeschwindigkeit Wert zu legen. Im allgemeinen ist für Schleppzugschleusen mit den Abmessungen 225×12 m je nach der zur Verfügung stehenden größten Füllmenge eine höchste Steiggeschwindigkeit von 1,5 bis 2 cm/sec. zulässig; bei kurzen Schleusen kann das $1^1/_2$fache, also 2,5 bis 3 cm/sec. erreicht werden. Die mittlere Steigegeschwindigkeit der Gesamtfüllung wird etwa das 0,7 fache dieser Werte betragen. Die Steigegeschwindigkeit hängt nicht allein von der Ruhelage der Schiffe beim Schleusen ab, sondern es muß auch auf die Wasserbewegung in der anschließenden Kanalhaltung Rücksicht genommen werden (vgl. die Aufsätze von Wittmann und von Wiener).

Die neuere Entwicklung im Schleusenbau neigt dazu, bei den Schleusenhäuptern die Umläufe fortzulassen (vgl. jedoch den Aufsatz von Köhler).

V. Über verschiedene Schleusentorarten.

An den westdeutschen Kanälen kommen Stemmtore und Hubtore sowohl am Oberhaupt wie am Unterhaupt vor, Schiebetore wurden als Unterhaupt- und als Mittelhaupttore verwendet, während Klapptore nur am Oberhaupt in Frage kommen. Sämtliche Tore werden nur noch aus Stahl gebaut.

1. Stemmtore.

Um den Stemmtoren die erforderliche Steifigkeit zu geben, erhalten sie einen Diagonalverband mit einfacher oder doppelter Blechhaut. Nach Biegeversuchen erhöht diese letzte Bauart die Steifigkeit, so daß sie auch für Tore außergewöhnlicher Höhe ausreicht. Die doppelte Torhaut ergibt zugleich einen Schwimmkasten, der das Gewicht des Tores tragen hilft.

Stemmtore in Verbindung mit Umläufen in den Schleusenhäuptern sind bau- und maschinentechnisch einfach und wirtschaftlich und mindestens ebenso betriebssicher wie jede andere Torart. Bei Beschädigungen lassen sie sich infolge des geringen Gewichtes eines Torflügels schnell ausbauen und durch etwa schon vorhandene Reservetore ersetzen. Sind solche nicht vorhanden, so ist auch die Instandsetzung an Ort und Stelle leicht möglich, bei kleineren Schäden können Ausbesserungen u. U. im Schwebezustand ausgeführt werden.

Von Neuerungen an den Toren seien folgende genannt: Die Schlagleisten aus Holz müssen beiderseits mit Winkeleisen so eingefaßt werden, daß bei mangelhaftem Schließen ein Abscheren unmöglich wird. Die Hals- und Spurzapfen der Tore sind zweckmäßig mit einer von der Torbewegung oder vom Antriebswindwerk abhängigen Fettschmierpresse dauernd mit Fett zu schmieren, um die Abnutzungen dieser wichtigen Teile zu verringern. An neueren deutschen Schleusen sind mit bestem Erfolg als Dichtungsleisten Gummileisten verwendet worden, um die oft mangelhafte Dichtung vollkommener zu machen. Die am Tor anliegende Seite der Gummileisten wird vulkanisiert, um sie gut durch Keilpressen befestigen zu können; an der anderen Seite bleibt der Gummi weich, er dichtet auf einer Stahlarmierung der Wendenische und des Drempels.

Für Stemmtore wird heute fast allgemein der Kniehebelantrieb dem Zahnstangenantrieb vorgezogen, weil seine Kraftwirkung dem Kraftbedarf bestens angepaßt ist.

2. Hubtore.

Hubtore sind bei den Schleusen der westdeutschen Kanäle mehrfach verwendet worden.

a) An der Schachtschleuse Henrichenburg ergab sich das Hubtor aus der Höhe des Gefälles (14,00 m) von selbst. Die Entleerung erfolgt hier noch mittels Umlaufschützen.

b) Bei den Schleusen des Wesel-Datteln-Kanals mußten die Schleusenhäupter wegen der Lage im Bergsenkungsgelände und teilweise wegen mangelhaften Baugrundes möglichst klein gehalten werden. Deshalb zog man hier die Hubtore den beim Rhein-Herne-Kanal bewährten Schiebetoren vor und stattete sie mit 6 Schützen aus, um in den Häuptern auch die Umläufe zu vermeiden. Zur Erzielung eines ruhigen Füll- und Entleerungsvorgangs war es erforderlich, die Schützen nach einem bestimmten Gesetz erst ganz langsam zu öffnen und dann die Hubgeschwindigkeit allmählich zu steigern. Diese sorgfältige Steuerung der Schützen war nur durch Einschaltung von Leonard-Aggregaten möglich. Diese Konstruktion hat sich als empfindlich erwiesen. Ferner wurden hinter den Schützen massive Balken zur Energievernichtung erforderlich. Da diese tiefer als der Drempel liegen müssen, mußten die Tore nach unten um ein gewisses Maß vergrößert werden. Diese Konstruktionen: die im Tor eingebauten Schützen mit Leonard-Antrieb, die Stoßbalken sowie die Vergrößerung der Tore haben die Bau- und Betriebskosten nicht unwesentlich erhöht. Den erhöhten Baukosten stehen aber entsprechende Ersparnisse an den Häuptern gegenüber. Die außerordentlich hohen Aufbauten passen nicht in jede Umgebung, doch hat man gelernt ihnen ansprechende Formen zu geben, wie z. B. an der Schachtschleuse Henrichenburg und an den Schachtschleusen des Gleiwitzkanals in Oberschlesien.

Im ganzen betrachtet bedeutet die Bauweise der Hubtore am Wesel-Datteln-Kanal einen vollen Erfolg insofern, als die Schiffe in seinen Schleusen besonders ruhig liegen, obwohl es sich hier um 225 m lange Schleppzug-

schleusen handelt, bei denen sich bei schneller Füllung sonst leicht starke Schwalle und Pendelwellen in der Kammer bilden.

Ein Übelstand der älteren Hubtore, daß nämlich von dem frisch gehobenen Tor sich ein Regen auf die unter ihm durchfahrenden Schiffe ergoß, ist durch Auffangen des Traufwassers in Rinnen beseitigt worden, die es mittels Heber in die Tornischen entleeren.

c) Neuerdings ist man bei Hubtoren zur Verminderung der Kosten und zur Vereinfachung des Betriebes dazu übergegangen, die Schützen in den Toren fortzulassen und die Schleuse durch langsames Anheben der Tore zu füllen oder zu entleeren. Dieses ist z. B. am Untertor der Schleuse in Herbrun a. d. Ems einwandfrei gelungen, ohne daß bei dem nachträglichen Einbau die erforderlichen Energievernichtungs-Anlagen größeren Umfang hätten.

3. Schiebetore.

Am Rhein-Herne-Kanal, der auch im Bergsenkungsgebiet liegt, wurden als Untertore Schiebetore verwendet, die mittels Seilen und Rollwagen an Torbrücken aufgehängt sind. Sie wurden damals den Stemmtoren vorgezogen, weil befürchtet wurde, daß Stemmtore bei Schiefstellungen und Verbiegungen der Häupter Schwierigkeiten bezüglich des Betriebes und der Dichtung machen könnten. Diese Befürchtungen bestanden und bestehen bei Schiebetoren ebenso wie bei den oben besprochenen Hubtoren bei guter Führung nicht. Die Schiebetore des Rhein-Herne-Kanals haben sich in angestrengtem Betriebe bewährt. Sie haben wegen des Fehlens der Gegengewichte, die bei Hubtoren die zu bewegenden Massen verdoppeln, nicht so hohe Betriebs- und Unterhaltungskosten. Ihre Torbrücken sind unauffälliger und behindern nicht den Blick von der Schleusenplattform zum Unterhafen. Auch der Antrieb ist einfach, da nur der auf Schienen laufende Rollwagen auf der Torbrücke in Bewegung gesetzt zu werden braucht.

Es empfiehlt sich, die Schiebetorkammer mit einem Dammbalkenverschluß zu versehen und sie so breit und lang zu machen, daß das Tor in der Kammer nachgesehen und in Stand gesetzt werden kann. Die Öffnung der Schiebetorkammer ist indes möglichst eng zu halten, damit Schwimmstoffe (Holz, Eis) aus der Kammer ferngehalten werden.

Abgesehen von gewaltsamen Beschädigungen können die Schiebetore gewissermaßen als unverwüstlich bezeichnet werden, denn kein beweglicher Teil liegt unter Wasser. Auch bei starkem Treibeis haben sich die Schiebetore in langjährigem Betrieb bestens bewährt. Füll- und Entleerungsschützen können natürlich bei Schiebetoren ebenso eingebaut werden wie bei Hubtoren.

4. Klapptore.

An den Oberhäuptern des Rhein-Herne-Kanals wurden ebenso wie am Hohenzollern-Kanal und an zahlreichen Einzelschleusen Klapptore mit Luftkästen (Schwimmern) eingebaut. Sie haben gegenüber Stemmtoren den Vorteil, daß sie nur aus einem Verschlußkörper bestehen und nur einen einseitigen Antrieb benötigen. Da sie in geöffnetem Zustande unter Wasser liegen, also der Sicht entzogen sind, muß die Antriebsmaschine mit einem Stellungszeiger versehen sein, der die Lage des Tores genau anzeigt. Zur größeren Sicherung des Öffnungsvorgangs sind daher Kettenzüge als Antrieb, wie sie anfangs angewendet wurden, zu vermeiden. Der Antrieb muß vielmehr mittels Zahnstange und Triebstange erfolgen.

Die Lager der Klapptore sind wiederholt so ausgeführt worden, daß Fremdkörper, die sich etwa beim Schließen des Tores einklemmen, möglichst keinen Bruch des Lagers herbeiführen. Dies kann z. B. durch das Buchholzsche

Pendellager oder derart geschehen, daß die Lager sich wie ein Schlitten in einem Lagerschuh bewegen und mittels einer Feder nachgeben können. Trotz solcher Vorsichtsmaßnahmen ist es erforderlich, die Lager von Zeit zu Zeit durch Taucher zu überwachen. Bei Treibeis sind die Eisschollen so weit zu beseitigen, daß sie sich nicht einklemmen können. Außerdem ist in den Antrieb eine Rutschkupplung einzubauen, um Brüche zu vermeiden. Mit diesen Maßnahmen haben sich die Klapptore seit Jahrzehnten bewährt. Sie werden stets mit Umläufen ausgeführt und sind nur als Oberhaupttore wirtschaftlich. Als solche sind sie den Stemmtoren gleichwertig; der Einbau ist zwar etwas schwieriger, dafür ist aber die Einteiligkeit ein Vorteil. Die robuste Betriebssicherheit wie die vorher erörterten Schleusentore haben sie allerdings nicht.

5. Andere Schleusentore.

Außer diesen gebräuchlichen Toren gibt es noch eine weitere Zahl von seltener ausgeführten oder von vorgeschlagenen und im Modell ausgeprobten Torarten, wie das Segmenttor, das Versenktor (Hub- und Senktor), das Drehtor, das Hakentor*). Segmenttore wurden am Gleiwitzkanal eingebaut, um die Schleusen zugleich zur Hochwasserabführung zu benutzen.

VI. Über die Umlaufverschlüsse.

Als Abschlüsse der Umläufe kommen nach den an den westdeutschen Kanälen gemachten Erfahrungen Zylinderschützen (Ventile) und Rollkeilschützen in Frage. Dabei gibt die Formel

$$2\,f = 3{,}0 + \frac{F_s}{250}\ (\text{in m}^2)$$

die Größe für die beiderseitigen Umläufe (2 Querschnitte f) an, wenn F_s die Grundfläche der Schleusenkammer ist. Bei starkem Gefälle ist es u. U. erforderlich, in den Abfallschacht der Umläufe im Oberhaupt Energievernichtungsanlagen einzubauen (Schleusen des Masurischen Kanals).

1. Zylinderschützen.

Zylinderschützen eignen sich am besten für das Oberhaupt, weil ein Abfall des Wassers unter dem Schütz erforderlich ist. Die Kammer, in der das Schütz sich bewegt, muß im Grundriß eine Form erhalten, die das Kreiseln des Wassers verhindert. Der Durchmesser d des Schützes ergibt sich aus dem obigen Wert für f. Wegen der starken Einschnürung des Wasser im Ringflächenquerschnitt muß die Hubhöhe des Zylinderschützes etwa $h_s = 0{,}45$ d sein. Bei dieser Hubhöhe reichen indes die oben offenen Zylinderschützen des Oberhauptes meistens über die Schleusenplattform hinaus. Wenn man dieses vermeiden will, kommt man zu oben geschlossenen Schützen, seien es Glockenschützen oder Schützen mit je einer oberen und unteren Dichtung. Die Hubhöhe der Schützen muß über das oben angegebene Maß hinaus noch vergrößert werden, wenn man die Schützen zur langsamen Einleitung der Wasserfüllung mit einem Zackenkranz versieht, da dieser die Durchflußmenge um etwa 5 v. H. vermindert.

Eine besondere Form der Zylinderschütze sind die Ringschieberschützen, die sich in geschlossenem Zustande auf eine Prallplatte setzen und in geöffnetem Zustande vom Wasser so durchströmt werden, daß es von der Prallplatte nach außen geschleudert wird. Diese Schützen arbeiten also mit Energievernichtung. Trotzdem haben sie keinen ungünstigeren Durchflußbeiwert als Zylinderschützen ohne solche Prallplatte.

*) Vgl. den Aufsatz von Welt.

Zylinderschützen sind auch in Unterhäuptern eingebaut; sie bedingen hier aber schwierige, mehrfach gekrümmte Führung des Umlaufkanals und sind daher hier weniger geeignet als Rollkeilschützen.

2. Rollkeilschützen.

Diese verdienen als Umlaufverschlüsse betrieblich unbedingt den Vorzug vor Zylinderschützen, weil sie weniger Instandsetzungen erfordern. Sie müssen so gebaut werden, daß sich zwischen Schütz und Schützschacht, zwischen den Rollen und zwischen Gegengewicht, Schütz und Schachtwand keine Fremdkörper einklemmen können. Wenn man bei Rollkeilschützen erreichen will, daß die Entleerungs- (bzw. Füll-) Bewegung zur Verhinderung zu großer Trossenkräfte langsam eingeleitet werden soll, empfiehlt es sich, die Sohle des Umlaufs — in Fließrichtung gesehen — oberhalb des Schützes als dreieckförmige Rinne herzustellen. Wird das Schütz gehoben, so öffnet sich der Umlauf wie ein auf die Spitze gestelltes Dreieck (Winklersches Dreieck), so daß die Wasserbewegung ganz allmählich eingeleitet wird.

Rollkeilschützen laufen auf Rädern und Schienen, um sie unter Wasserdruck leicht öffnen zu können; der Druck des Wassers kann sehr erheblich sein, z. B. bei der Hindenburg-Schleuse in Anderten rund 105 t. Damit die teilweise geöffneten Schützen nicht in Schwingungen geraten, müssen außer den Tragrollen noch abgefederte Gegenrollen angeordnet werden, die das Schütz gegen die Schienen drücken. Diese Federn müssen einen kräftigen Druck ausüben, bei der Hindenburg-Schleuse z. B. rund 3 t. Dabei müssen sie mindestens 20 mm Spiel haben, damit die Hauptrollen über kleine Hindernisse hinüberlaufen können. Größere Hindernisse werden durch Bahnräumer zur Seite geschoben.

Bei großem Schleusengefälle erhalten die Rollkeilschützen auf der Rückseite zweckmäßig eine Holzausfutterung zwischen den Trägern, damit die sich dort bei teilweiser Öffnung des Schützes aus dem Sog ergebenden Wirbel möglichst wenig Angriffsflächen am Schütz finden.

Die so ausgebildeten Rollkeilschützen haben sich in jahrzehntelangem Betrieb bewährt.

Wegen Raummangel konnte hier nur das wichtigste aus der Entwicklung des Schleusenbaues an den westdeutschen Kanälen berichtet werden. Hinsichtlich der hydromechanischen Vorgänge und ihrer Einwirkungen auf die Schiffe beim Füllen und Entleeren von Schleusen, die meistens im voraus durch Modellversuche geklärt wurden, wird auf den Aufsatz von Wittmann verwiesen.

10

Hydromechanische Vorgänge bei der Schleusenfüllung.

Von Prof. Dr.-Ing. H. Wittmann und Dr.-Ing. W. Bleines, Karlsruhe.

I. Berechnung der Schleusenfüllung.

Das Füllen einer Schleusenkammer ist ein nichtstationärer Strömungsvorgang. Zu seiner Berechnung kann zunächst ein gleichbleibender Oberwasserspiegel (OW) angenommen werden. Die Hebung des Wasserspiegels in der Kammer ist abhängig von der Schleusengrundfläche F (m²), der Füllhöhe x (m), dem Beiwert der Eintrittsöffnungen μ, der Durchflußfläche der Umläufe (m²) und der Hubhöhe H (m). Diese Größen bestimmen die Füllzeit t aus der allgemeinen Gleichung

$$- F\, dx = \mu\, v\, f\, dt \qquad (1)$$

Von wesentlichem Einfluß ist die Öffnungszeit t_1 des Füllorgans, in der die Durchflußfläche f freigegeben wird. Ist sie sofort voll durchflossen und f_0, dann kann die Öffnungszeit des Verschlusses t_1 gegenüber der Füllzeit t vernachlässigt werden, und die Füllzeit t beträgt

$$t = \frac{2\, F\, \sqrt{H}}{\mu \sqrt{2g}\, f_o} \qquad (2)$$

Da diese Annahme jedoch im allgemeinen nicht zutrifft, muß die Veränderlichkeit von f berücksichtigt werden

$$f = \varphi\,(t) \text{ und } \mu = \psi\,(t).$$

Der Beiwert μ kann wegen der geringen Schwankungen unveränderlich angenommen werden und Gl. (1) wird

$$- F\, dx = \mu\, v \cdot \varphi\,(t)\, dt.$$

Bei gleichmäßiger Hebung des Füllorgans und stetiger Freigabe der Öffnung ($\frac{df}{dt}$ = constant) kann angenähert gesetzt werden, was aber streng genommen nur für den rechteckigen Füllquerschnitt gültig ist:

$$f = \varphi\,(t) = \frac{f_o}{t_1}\, t = C \cdot t$$

worin die Öffnungszeit t_1 unverändert ist.

$$C = \frac{f_o}{t_1}\ (m^2/s)$$

entspricht einer Zunahme der Durchflußfläche.

Aus Gl. (1) und (2) wird

$$- F\, dx = \mu\, v\, C \cdot t\, dt$$

oder mit $v = \sqrt{2gx}$ und den Bezeichnungen der Abb. 1

$$\int_{H}^{H_1} \frac{- F\, dx}{\mu \sqrt{2gx}} = \int_{o}^{t_1} C \cdot t\, dt$$

t_1 ist in diesem Falle die Zeit der stetigen Öffnung bis zur Freigabe des vollen Durchflußquerschnitts. Es wird dann

$$\frac{-2F\sqrt{x}\Big|_{H_1}^{H}}{\mu\sqrt{2g}} = C\frac{t_1^2}{2} \quad \text{und} \quad t_1^2 = \frac{4F(\sqrt{H}-\sqrt{H_1})}{\mu\sqrt{2g}\,C}$$

Aus einer gegebenen oder angenommenen Öffnungszeit t_1 errechnet sich die zur Zeit t_1 noch verbleibende Füllhöhe H_1 (Abb. 1) zu:

$$H_1 = \left(\sqrt{H} - \frac{t_1\,\mu\sqrt{2g}\,f_o}{4F}\right)^2$$

und die gesamte Füllzeit zu:

$$t = t_1 + t_2 = t_1 + \frac{2F\sqrt{H_1}}{\mu\sqrt{2g}\cdot f_o}$$

Öffnungszeit t_1 und Füllzeit t fallen zusammen, wenn $H_1 = o$ und $C = \frac{f_o}{t_1} = \frac{f_o}{t}$ gesetzt wird. Man erhält dann:

$$t^2 = \frac{4F\sqrt{H}}{\mu\sqrt{2g}\,\frac{f_o}{t}} \quad \text{oder} \quad t = \frac{4F\sqrt{H}}{\mu\sqrt{2g}\,f_o} \qquad (3)$$

d. h. den doppelten Wert der Füllzeit wie bei plötzlicher vollständiger Freigabe der Füllöffnungen.

Für eine 300 m lange Schleuse mit H = 4,60 m, B = 12 m, f_0 = 10 m² sind die Füllzeiten bei verschiedenen Öffnungszeiten und stetiger Hebung des Füllschützes berechnet und in Abb. 2 aufgetragen. Wird $t_1 = 0$, die ganze Öffnung der Füllschütze also plötzlich freigegeben, so wird die überhaupt mögliche kürzeste Füllzeit der Schleuse 9′ 2″. Bei 18′ 4″ werden Öffnungszeit t_1 und Füllzeit t gleich. Modellversuche haben die Rechnung bestätigt. Als μ-Wert war der des Modells mit 0,70 eingesetzt. Bei der für die Vergleichsversuche herangezogenen Naturschleuse ergab sich ein μ-Wert von 0,75. Die Füllzeit liegt entsprechend niedriger (8′ 26″ und 16′ 52″) (Abb. 2).

Werden die Füllöffnungen nicht stetig freigegeben, ist also die Zeitweglinie nicht eine Gerade, sondern ein gebrochener Linienzug, so kann auch hierfür die Füllzeit mit den genannten Gleichungen berechnet werden. Für alle Steigungsverhältnisse ist jeweils $H - \Sigma\triangle H$ zu berechnen und als Ausgangswert für das nächste Steigungsverhältnis einzusetzen. Für den Restteil der Füllung ist Gl. (2) zu verwenden.

An einem Modell im Maßstab 1 : 25 der natürlichen Größe wurden die Längs- und Seitenkräfte gemessen, die bei voller Belegung der 300 m langen Schleuse mit einem Schlepper und drei 1350 t Kähnen, auf den in 36 m vom Oberhaupt entfernt liegenden Meßkahn wirken (Abb. 2). Werden Längskräfte von 1/600 bis 1/750 der Verdrängung des 1350 t Kahnes mit V = 1665 m³, also etwa 2,2 t zugelassen, so könnte bei stetiger Hebung der Füllschütze eine Füllzeit von rd. 12′ erreicht werden. Es ist also äußerstenfalls eine Füllzeit von $t_{min} + {}^1/_3\, t_{min} = 1{,}33\, t_{min}$ möglich. Der Wert entspricht den bekannten Annahmen, ist aber aus Sicherheitsgründen auf 1,5 t_{min} zu vergrößern.

II. Bewegungen des Kammerwasserspiegels beim Schleusen.

Die Längskräfte bei der Füllung werden entscheidend beeinflußt vom ersten Füllschwall, der abhängig ist von der Größe der freigegebenen Schützöffnung, vom freien Wasserquerschnitt in der Kammer sowie vom Zusammentreffen des zurückgeworfenen Schwalles mit dem erneuten Füllschwall. Die

Belegung der Kammer durch ein bis drei Kähne in dem genannten Beispiel macht sich insofern bemerkbar, als der Einzelkahn größere Längskräfte wie ein Schleppzug mit drei Kähnen erreicht, der den Verlauf der Kraftlinien dämpft. Aus Messungen des Wasserspiegelverlaufs in der 300 m langen Schleuse Erlabrunn der Mainkanalisierung und Vergleichen mit Modellversuchen ließen sich diese Einflüsse feststellen (Abb. 3).

Als Öffnungsart wurde hierbei die bei einem schwachen Verkehr genügende, stufenförmige Hebung der Füllschütze beibehalten. Gemessen sind die Bewegungen des Wasserspiegels in Natur und im Modell in 30 m Abstand vom Scheitel des Oberhauptdrempels und dargestellt die Füllungslinien dH/dt für die drei ersten, die Schwallbewegung in der Schleuse hauptsächlich erzeugenden Öffnungsstufen. Während bei den leeren Schleusen (Fall A) die Füllungslinien völlig übereinstimmen, die Ähnlichkeit der Füllvorgänge im Modell mit denen der Natur also nachgewiesen ist, verschieben sie sich bei B wenig, im Falle C jedoch soweit, daß die Punkte 2 nach 2*, 3 nach 3* verschoben und die Laufzeit des Schwalles von a_1 auf a_1' verlängert werden. Bei Punkt 4 (3*) ist ein Schwall überhaupt ausgefallen. Die Geschwindigkeit der Schwalle wird aus $C = \sqrt{gT}$ mit zunehmender Tiefe T größer ($a_2 < a_1$).

III. Analyse der Schwingungen in der Schleusenkammer.

Die genannten Beobachtungen waren Anlaß zu eingehenderen Feststellungen über die Schwingungen der Wassermasse in einer Schleusenkammer während der Füllung. An den 8 Pegeln der Schleuse Erlabrunn der Mainkanalisierung (Abb. 4) wurde die Höhenlage des Wasserspiegels in kurzen zeitlichen Intervallen festgestellt (Abb. 5). Die Schleuse war während der Messungen leer, so daß die beobachteten Schwingungen des Wasserspiegels durch eine Belegung nicht gestört sind. Die Schütze der Torumläufe wurden in 85 sec. stetig gehoben. Die Füllung war nach etwa 8 Minuten beendet. Sie ist wesentlich kürzer als eine normale Betriebsschleusung, so daß Schiffe in der Kammer nicht liegen können.

Nach der zeitlichen Folge der Wasserspiegellängsschnitte (Abb. 5) beginnt der Füllvorgang mit einer Schwallwelle, die durch die Schleuse wandert. Die weitere Füllung erzeugt immer neue Hebungen des Wasserspiegels, die als ein System fortschreitender Wellen durch die Kammer wandern. Haben die ersten Schwallwellen das Untertor erreicht und werden dort reflektiert, so verschwindet das äußere Bild der Schwallwellen. Es bleibt ein periodischer Gefällewechsel des gesamten Wasserspiegels zwischen Ober- und Unterhaupt sowie die ansteigende und wieder abklingende Zunahme der Spiegelhöhen, besonders ausdrücklich an den Häuptern, bestehen.

Die Ganglinien der Wasserstände im oberen Vorhafen (Abb. 6) tragen die allgemeinen Kennzeichen einer gedämpften Schwingung, deren Amplituden im zeitlichen Ablauf und mit der Entfernung der Pegelstelle vom Oberhaupt erheblich kleiner werden. Sie rührt daher, daß mit dem Beginn der Wasserentnahme aus dem oberen Vorhafen sich der Wasserspiegel an der Entnahmestelle senkt und die Senkung als Sunkwelle durch den oberen Vorhafen bis in den gestauten Fluß wandert. Das dabei zwischen Stauhaltung und Oberhaupt auftretende Gefälle des Wasserspiegels führt dem Oberhaupt bald mehr Wasser zu als durch die Umläufe in die Schleuse fließen kann. Der entstehende Aufstau am Oberhaupt erzeugt ein Gegengefälle vom Oberhaupt zum Fluß, wodurch Wasser von der Schleuse weggeführt wird. Die nachfolgende Senkung mit ihrem größeren Gefälle bedingt einen vergrößerten Zufluß zur Schleuse, dem eine erneute Spiegelhebung folgt. Damit ist in der Schleusenkammer die

ansteigende und wieder abklingende Zunahme der Spiegelhöhen in Abb. 5 verbunden.

Aus den Wasserspiegellängsschnitten der Abb. 5 entwickelte Ganglinien an den Pegeln in der Schleusenkammer haben die Form der Füllungslinien in Abb. 3. Sie lassen den Schwingungsvorgang nur mittelbar erkennen, da er der allgemeinen Aufwärtsbewegung des Wasserspiegels beim Füllen überlagert wird. Er wird erst sichtbar, wenn die Füllungslinien auf eine zeitlich veränderliche Ebene bezogen werden, die die allgemeine Hubbewegung des Wasserspiegels mitmacht. Als eine derartige Ebene kann die aus den Spiegellängsschnitten gewonnene gemittelte Ganglinie des Kammerwasserspiegels angesehen werden. Die Höhenunterschiede zu den Ganglinien der einzelnen Pegel ergeben die Schwingungslinien für die einzelnen Pegelstellen in der Kammer (Abb. 7).

Solche Schwingungslinien sind für den am Oberhaupt und den in Kammermitte gelegenen Pegel in Abb. 8 bei der stetigen Freigabe in 85 sec. dargestellt. Die Schwingungslinie des Pegels am Unterhaupt verläuft zeitlich verschoben, aber ähnlich wie die Linie am Oberhaupt. Werden die Umläufe stufenweise geöffnet (Abb. 2) so zeigen die Schwingungslinien von Beginn der Füllung an einen fast regelmäßigen, periodischen Verlauf, der erst durch die zweite Öffnungsstufe gestört wird, sich aber im weiteren Ablauf wieder ausbilden kann. Bei einem Füllvorgang mit fünf Öffnungsstufen traten die größten Schwingweiten erst nach der vierten Stufe auf, ein Vorgang, der bei der Messung von Trossenkräften geschleuster Schiffe wiederholt beobachtet wurde.

Sieht man von den Besonderheiten der einzelnen Betriebsvorgänge ab, so läßt sich allgemein feststellen, daß die Amplituden der Wasserspiegelschwingungen im zeitlichen Ablauf der Füllung abnehmen. Diese Dämpfung erklärt sich aus der abnehmenden Höhe der neu in die Kammer tretenden Schwalle und aus der Abschwächung der wiederholt reflektierten alten Schwalle. Die zeitliche Abnahme der Länge der Schwingungsperioden ist durch die größere Schwallschnelligkeit bei größer werdender Kammerwassertiefe bedingt. Außerdem ergibt sich aus allen Schwingungslinien, daß die Amplituden an den beiden Häuptern erheblich größer sind als in Kammermitte und daß die Schwingungsperioden an den Häuptern etwa doppelt so lang sind wie in Kammermitte.

Diese Erscheinung kann aus dem Verhalten eines Einzelschwalles, der mehrfach durch die Kammer wandert, erklärt werden.

Ein Einzelschwall mit lotrechtem Kopf von der Höhe h hebt bei seinem Eintritt in die Kammer (Zeitpunkt 0) den Wasserspiegel am Oberhaupt um den Betrag h über den horizontalen Ausgangskammerspiegel. Die Anfangsamplitude der Wasserspiegelschwingung hat also am Oberhaupt die Größe h. Die Kopfhöhe h des Einzelschwalles soll für die weitere Betrachtung unveränderlich sein, und der Wasserspiegel soll vor und hinter dem Schwallkopf immer horizontal liegen. Der Einfluß der Reibung auf die Schwallform wird also zunächst vernachlässigt. Während der Schwall durch die Kammer wandert, bleibt also der Wasserspiegel am Oberhaupt zunächst konstant, die mittlere Kammerspiegelhöhe nimmt jedoch stetig zu. Wenn der Schwallkopf das Unterhaupt erreicht hat (Zeitpunkt π), liegt der gesamte Kammerspiegel horizontal. Die Amplituden der Schwingung sind also für alle Punkte der Kammer gleich Null. Beim Rücklauf des Schwalls liegt der Wasserspiegel am Oberhaupt unter dem mittleren Spiegel der gesamten Kammer, die Amplituden sind in diesem Zeitraum also negativ. Sie erreichen ihren größten negativen Wert h kurz vor der Rückkehr des Schwallkopfes zum Oberhaupt (Zeitpunkt 2π). Bei der Reflexion am Oberhaupt hebt sich der Wasserspiegel in kurzer Zeit um den

Betrag 2 h zur Amplitude + h, um dann mit der Schwallhöhe h erneut in die Kammer zu wandern. Der Wasserspiegelverlauf wiederholt sich von diesem Zeitpunkt ab periodisch. Dabei wurde zunächst vereinfachend angenommen, daß jeder Schwalldurchgang durch die Kammer die gleiche Zeit π beansprucht, die Schwingungsperiode also die doppelte Zeit $2\,\pi$ beträgt.

Die Zeit, die ein Schwall von einem der Häupter zur Kammermitte braucht, beträgt dann nur $\pi/2$. Nach $2 \cdot \pi/2 = \pi$ wiederholt sich jeweils der Schwingungsvorgang des Wasserspiegels in Kammermitte. Die Schwingungsperiode ist also in Kammermitte halb so lang wie an den beiden Häuptern. In Kammermitte kann die Hebung des Wasserspiegels beim Durchgang des Einzelschwalles daher immer nur um die Kopfhöhe h erfolgen, da hier keine Reflexion mit Verdoppelung des Wasserspiegelanstieges stattfindet. Die Amplituden in Kammermitte betragen bei einem Schwall mit lotrechtem Kopf also immer nur die Hälfte der Werte an den Häuptern.

Ein solcher Schwall darf bei betrieblich richtigen Schleusungen aber nicht auftreten, da er plötzliche und heftige Bewegungen der geschleusten Schiffe hervorrufen würde. Bei einem Schwall mit stetig ansteigender Schwallfront verläuft die Wasserspiegelschwingung jedoch ähnlich wie beim lotrechten Schwallkopf. Eine schematisch vereinfachte Betrachtung in der eben genannten Art ergibt, daß beim stetig ansteigenden Schwall die Längen der Schwingungsperioden an den Häuptern und in Kammermitte sich wieder wie 2 : 1, die Amplituden aber wie 4 : 1 verhalten. Die gleichen Verhältnisse ergeben sich im Mittel der Erlabrunner Versuche (Abb. 8), so daß die Besonderheiten der Wasserspiegelschwingung in der Schleusenkammer ausreichend erklärt sind.

Bei wirklichen Schleusenfüllungen entsteht immer eine Vielzahl von Einzelschwallen, die als positiv bezeichnet werden, wenn sie durch eine Zunahme der Zuflußmenge, als negativ, wenn sie durch eine Abnahme hervorgerufen werden. Den einfachen Schwingungslinien beim Einzelschwall entsprechen bei einem Schwallsystem die aus Überlagerung von Einzelschwingungen gewonnenen Schwingungslinien des gesamten Füllvorganges.

Bei der Konstruktion wirklicher Schwingungslinien ist jedoch außer dem zeitlichen Verlauf des Zuflusses auch die Dämpfung der Schwingungsamplituden durch Verminderung der Schwallhöhen und die Verkürzung der Schwingungsperioden bei Zunahme der Wassertiefe in der Kammer zu berücksichtigen. Da diese Erscheinungen schon wiederholt, vor allem an Kraftwerkkanälen beobachtet und gemessen wurden, konnte ein konstruktives Verfahren entwickelt werden, um zu jeden Füllvorgang einer Schleuse die Wasserspiegelschwingung an irgendeinem Punkt der Kammer zu ermitteln. Hierbei wurde für jede untersuchte Schleusenfüllung das entstehende Schwallsystem aus der berechneten Zuflußmengenlinie analysiert. Die Schwingungen der Einzelschwalle wurden auf zeichnerischem und mathematischem Wege unter Berücksichtigung der Dämpfung ermittelt und aus ihnen durch Überlagerung die Schwingungslinien des Schwallsystems gewonnen. Untersucht wurden die Schleusenfüllungen an der Schleuse Erlabrunn der Mainkanalisierung, Schleusenfüllungen an Modellen des Flußbaulaboratoriums Karlsruhe und Messungen von mehrfach reflektierten Schwallwellen in einer Kanalhaltung. Die Übereinstimmung zwischen gemessenen und konstruierten Linien war in allen untersuchten Fällen in Bezug auf Schwingungsamplituden und -perioden gut.

IV. Beurteilung von Betriebsvorgängen mit Hilfe von Schwingungslinien.

Die Konstruktion der Schwingungslinien erfolgt, um die Kräfte in den Trossen eines in der Kammer liegenden Schiffes, die bei dem geplanten Betriebsvorgang einer Füllung zu erwarten sind, im voraus beurteilen zu können.

Die Bewegungen des Wasserspiegels sind zwar nicht die einzigen Ursachen der Trossenkräfte. Bei langen, schmalen Flußschleusen begründen sie jedoch im wesentlichen ihr Auftreten. Denn während in Nähe der Füllstelle (Oberhaupt) die Ausbildung der Fülleinrichtungen von Bedeutung für die Trossenkräfte ist, wird der weitaus größere Teil der Schleusenkammer fast ausschließlich von den Schwallen, also vom Verlauf der Zuflußmengenlinie, beherrscht.

Die Zusammenhänge, die zwischen Zuflußmengen, Schwallhöhen und Trossenkräften grundsätzlich bestehen, werden im Folgenden wieder mit Hilfe der schematischen Schwalldarstellung erläutert (siehe Abb. 9):

Bei einem Schwall mit lotrechtem Kopf und horizontalem Rücken (Abb. 9, Schwallform 1), der bei plötzlicher Zunahme der Wassermenge um den Betrag $\triangle$ Q entsteht, kommt ein Schiff in der Schleusenkammer in Bewegung, sobald die Schwallwelle seinen Bug oder sein Heck erreicht. Die Trossenkräfte, die zur Aufnahme dieser Bewegung erforderlich sind, wachsen mit dem jeweiligen Spiegelunterschied zwischen Bug und Heck, also hier mit der Schwallhöhe an. Vernachlässigt man die Trägheit des Schiffes und die Wirkung der Nebenwellen, die durch die teilweise Reflexion des Schwalls am Schiff entstehen, so gleicht der Verlauf der Trossenkräfte den in Abb. 8 am Pegel 1 gezeigten Wasserspiegelunterschieden. Die Zugkräfte in den Trossen sollen als positiv bezeichnet werden, wenn das Schiff zum Unterhaupt hin bewegt wird und negativ, wenn der am Unterhaupt reflektierte Schwall wieder am Heck ankommt und das Schiff zum Oberhaupt treibt. Negative Kräfte sind in jedem Falle unerwünscht. Ein Schiff, das durch die vorhergehende Bewegung nach dem Unterhaupt fest in den gespannten Trossen liegt, wird durch sie plötzlich gegen das Obertor gedrängt und kann dabei das Tor oder andere Schiffe rammen.

Der Schwall, dessen Höhe von Null aus linear zunimmt (Abb. 9, Schwallform 2) ruft völlig andere Spiegelunterschiede hervor. Sie nehmen linear zu, solange die Schwallspitze das Schiff passiert, bleiben dann konstant, bis die zurückkehrende Schwallspitze am Heck ankommt, um schließlich bis auf den Wert Null abzusinken. Da sich bei dieser Schwallform der durchlaufende und rücklaufende Schwall wie zwei Keile mit gleichem Winkel an der Spitze aufeinanderschieben, tritt höchstens eine waagerechte Spiegellage aber kein negatives Gefälle ein. Beim wirklichen Schwall können jedoch auch dann, wenn die eintretende Schwallhöhe linear anwächst, kleine negative Gefälle auftreten, da die Schwallfront die Neigung hat, allmählich steiler zu werden.

Dieser Erscheinung kann dadurch begegnet werden, daß der stetig anwachsende Schwall durch einen nachfolgenden zweiten positiven Schwall verstärkt wird (Abb. 9, Schwallform 3). Der Wasserspiegel am Oberhaupt liegt dann zu jedem Zeitpunkt der Füllung höher als in der übrigen Kammer. Die Spiegelunterschiede sind also immer positiv oder werden höchstens gleich Null.

Um dies erkennen zu können, ist es nicht erforderlich, die Wasserspiegelganglinien an zwei oder mehreren Stellen der Kammer zu ermitteln. Da die Spiegelunterschiedlinien periodisch verlaufen, also Schwingungslinien darstellen, können sie wie andere Schwingungslinien überlagert werden. Die Unterschiedslinien bei Schwallform 3 lassen sich demnach unmittelbar durch Überlagerung zweier positiver Schwingungslinien der Schwallform 2 erhalten.

Wird einer positiven Schwingung der Spiegelunterschiede eine nachfolgende negative überlagert, so ergeben sich die Spiegelunterschiede der Schwallform 4 (Abb. 9). Sie entsteht dann, wenn ein linear größer werdender Schwall etwas abgeschwächt wird, aber dennoch weiter zunimmt. Hierbei treten negative Gefälle auf, da der Wasserspiegel infolge der Abnahme oder verminderten

Zunahme der Zuflußmengen und Schwallhöhen am Oberhaupt zeitweise tiefer liegt als in der übrigen Kammer.

Aus der Betrachtung der Spiegelunterschiedslinien lassen sich folgende praktische Lehren ziehen:

Solange die Schwallhöhen nicht sprunghaft, sondern stetig zunehmen, sind nur Schiffsbewegungen vom Oberhaupt zum Unterhaupt der Schleuse zu erwarten. Sobald jedoch ein Nachlassen der stetigen Zunahme oder gar eine Abnahme der Schwallhöhen erfolgt, muß mit negativen Trossenkräften gerechnet werden. Eine Zunahme der Schwallhöhe beim Schleusenbetrieb kann aber nur durch eine Vermehrung der Zuflußmenge erreicht werden. Da dieser Vermehrung durch den kleiner werdenden Spiegelunterschied am Oberhaupt Grenzen gesetzt sind, muß das Bestreben dahin gehen, den Zeitpunkt, an dem die Zuflußmenge abzunehmen beginnt, durch raschere Freigabe der Füllöffnung solange hinauszuzögern, bis infolge der Dämpfung der Schwallhöhen große Trossenkräfte nicht mehr zu erwarten sind. Praktische Schleusenversuche im Karlsruher Flußbaulaboratorium ergaben schon früher die Zweckmäßigkeit solcher Maßnahmen. Die theoretische Untersuchung der Schwingungsprobleme zeigt nunmehr die Gründe hierfür auf.

V. Maßnahmen zur Verminderung der Schwalle und Schwingungen.

Die Größe des Füllschwalles und die Ausbildung der Schwingungen sind von der Zunahme der Füllwassermenge in der Zeiteinheit abhängig ($\triangle Q / \triangle t$). Anstelle der geradlinigen oder der stufenförmigen Öffnung der Füllschütze müßte eine unstetige Öffnungslinie angewendet werden, um die stetige Zunahme der Schwallhöhen zu sichern. An ihre Stelle kann aber eine Form der Schützöffnung oder des Füllspaltes treten, die bei gleicher Hub- oder Drehgeschwindigkeit des Füllorgans die Zunahme der Füllwassermenge regelt. Da zur Vermeidung eines übermäßigen Schwallkopfes das Füllwasser möglichst gleichmäßig verteilt in die Kammer eintreten soll, wird der Füllspalt bei neueren Toren auf die ganze Breite der oberwasserseitigen Wand des Tores eingelassen. Konstruktive und statische Bedingungen setzen den Abmessungen des Füllspaltes und damit dem Eintrittsquerschnitt und der größten Füllwassermenge ein Ziel.

Die Abb. 10 zeigt die Prüfung eines Segmenttores mit Füllspalt. Das Segmenttor hat den unbestreitbaren Vorzug einer einfachen Überwachung sämtlicher Bauteile während des Betriebes. Die Form des Füllspaltes und des Drempels sind voneinander abhängig. Der unterschnittene Drempel bildet die Rückwand eines Tosbeckens, in das der Füllstrahl, um mehr als 90° gedreht, eingelenkt werden muß. Ohne Rücksicht auf die ruhige Lage der Schiffe und bei plötzlicher Freigabe der größten Füllspaltweite würden 11′ 07″ zur Füllung genügen. Für einen am Obertor liegenden Seitenradschlepper von 412 t Verdrängung sind 0,59 bis 0,69 t als Trossenkräfte zulässig. Dementsprechend war das Tosbecken auszubilden.

Die Lösung x unterschneidet kräftig den Drempel und unterteilt den Raum durch Wände. Im Tosbecken sind außer einer Stoßschwelle, die den Verlauf der Trossenkräfte entscheidend beeinflußt, Einbauten vermieden. Die Ausbildung der Schwelle steht im Zusammenhang mit der Unterteilung der Drempelwand und erzeugt mit dieser ein System von energieverbrauchenden Wirbeln mit lotrechten und waagerechten Achsen. Die Freispülung des Tosbeckens von Ablagerungen wird durch die Schwelle nicht verhindert. Die stufenförmige Ausbildung des Übergangs vom Tosbecken in die Kammer ist von geringerer Bedeutung für den Verlauf der Trossenkräfte. Maßgebend war

hierbei die Rücksicht auf das umgelegte Tor, das an der unteren Tosbeckenwand einen Anschlag finden sollte, und das Bestreben, eingedrungenes Geschiebe leicht abzuspülen.

Bei der Lösung y ist der Drempel weniger unterschnitten und ein Bremsbalken eingesetzt. Schwelle und Tosbeckenform sind wie bei der Lösung x beibehalten.

Der Einfluß der Lösungen x und y ist aus den Kraftlinien des Längszuges nach dem Untertor erkennbar. Der Bremsbalken übt eine beruhigende Wirkung aus. Nachteilig ist die Möglichkeit, daß sich zwischen Bremsbalken, Füllspalt und Drempelwand Fremdkörper einklemmen und die Bewegung des Tores hemmen können. Das Tor wird mit gleichbleibender Geschwindigkeit gedreht und erst in der letzten Phase rascher umgelegt, wobei zur Einfahrt der Schiffe in die Schleuse am Oberhaupt nur 3 m Tiefe freizugeben sind. Die Füllzeiten betrugen 18′ 30″ und 16′ 25″, also das 1,8- bis 1,4-fache der Füllung bei plötzlicher Freigabe des Füllspaltes auf 800 mm. Es werden zwar in keinem Falle die zulässigen Trossenkräfte überschritten, aber die Verkürzung der Füllzeit um zwei Minuten ergibt eine wesentlich größere Unruhe im Verlauf der Kraftlinien, bei der besonders der Wechsel der Kraftrichtung vom Obertor nach dem Untertor schädlich ist.

Eine noch weitergehende Verminderung der Schwalle und Schwingungen, gleichbedeutend mit wesentlich kürzeren Füllzeiten, kann erreicht werden, wenn die Verringerung der Füllwassermenge infolge Abnahme der Druckhöhe durch eine weitere Vergrößerung des Füllquerschnittes wettgemacht wird. Im Tor allein läßt sich diese Erweiterung nicht unterbringen. Die gleichzeitige oder zusätzliche Füllung durch Längs- und Stichkanäle gibt aber die Möglichkeit zu einer optimalen Lösung, so daß durch eine rhythmisch abgestimmte Verwendung beider Füllarten die kleinsten Füllzeiten erreicht werden können.

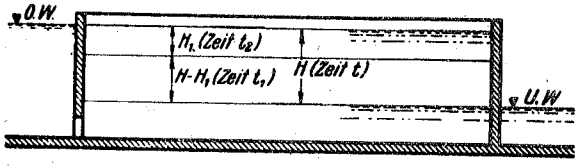


Abb. 1 Bezeichnungen der hydromechanischen Rechnung.

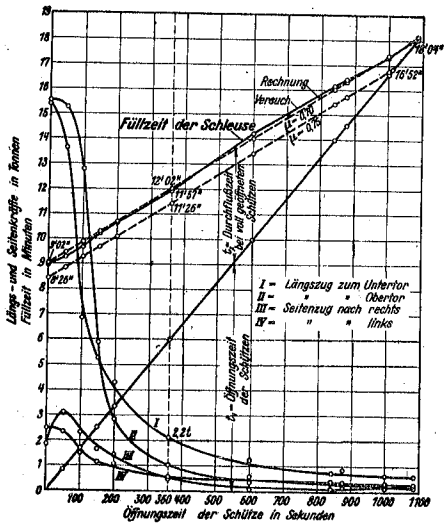


Abb. 2 Füllzeiten, Längs- und Seitenkräfte für einen Schleppzug in einer Schleuse mit L = 300 m, B = 12 m, H = 4.60 m. Abhängigkeit von den Oeffnungszeiten bei stetiger Hebung der Füllschütze.

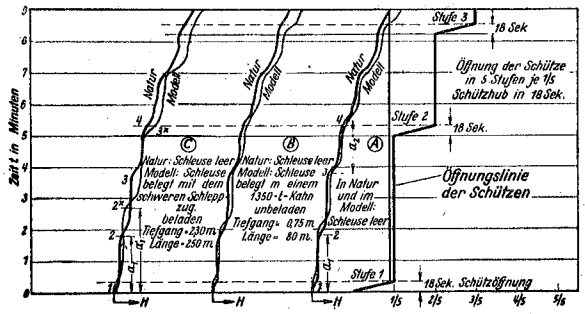


Abb. 3 Füllungslinien bei stufenweiser Oeffnung der Füllschütze mit verschiedener Belegung der Schleuse. Vergleich der Naturbeobachtungen mit Modellergebnissen.

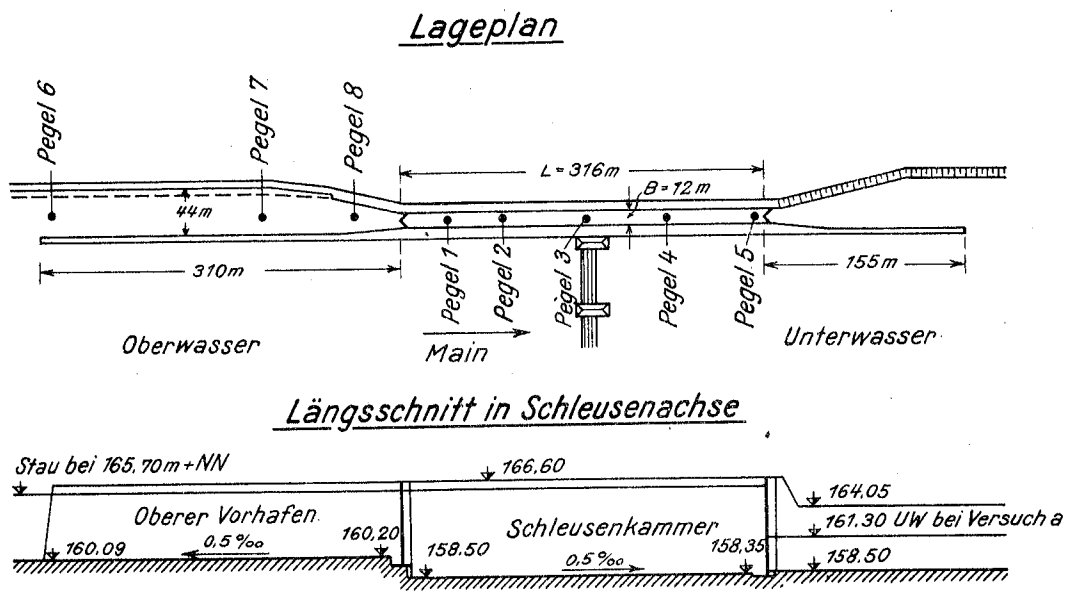


Abb. 4. Schleuse Erlabrunn, Lage der Pegelstellen.

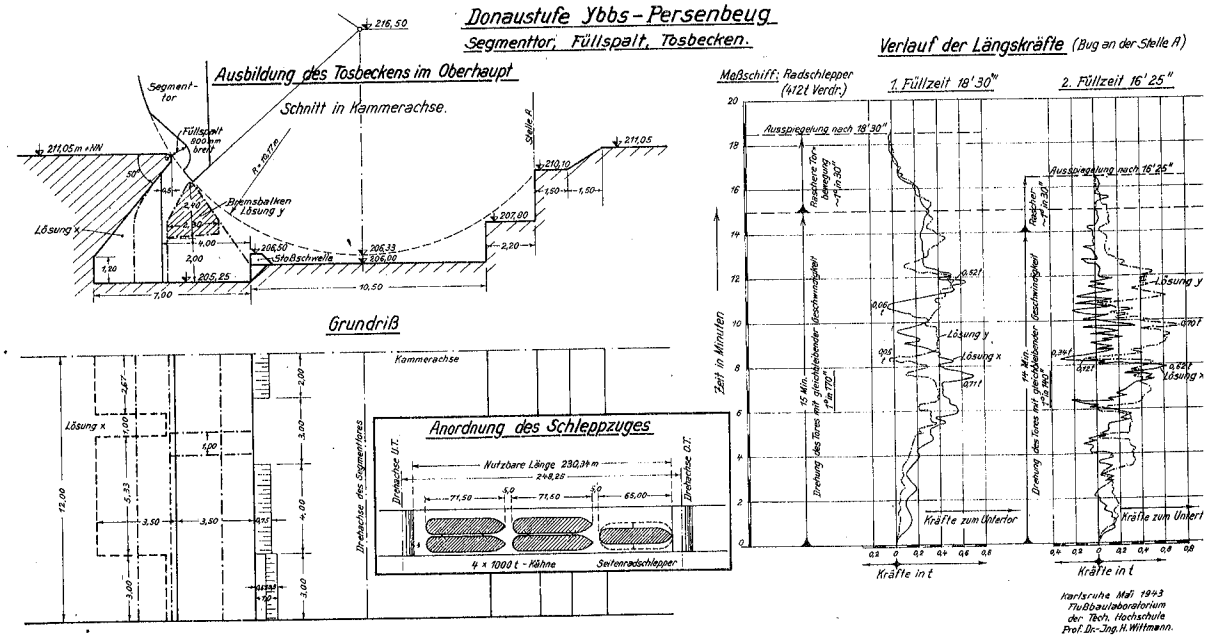


Abb. 10. Maßnahmen zur Verminderung der Schwalle und Schwingungen.
Prüfung eines Segmenttores mit Füllspalt.

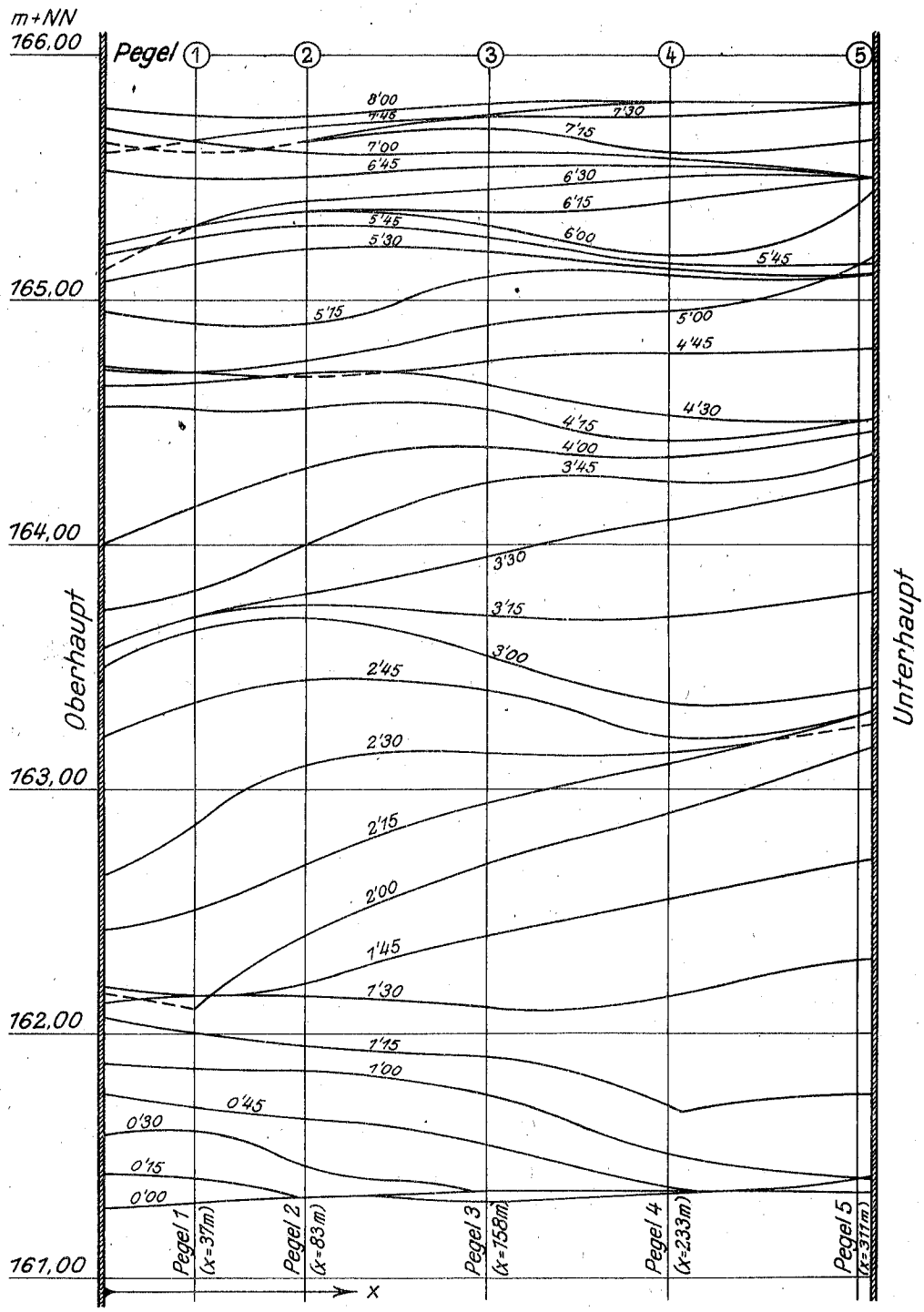


Abb. 5. Wasserspiegellängsschnitte in der Schleusenkammer Erlabrunn bei Füllung mit stetiger Hebung d. Schütze.

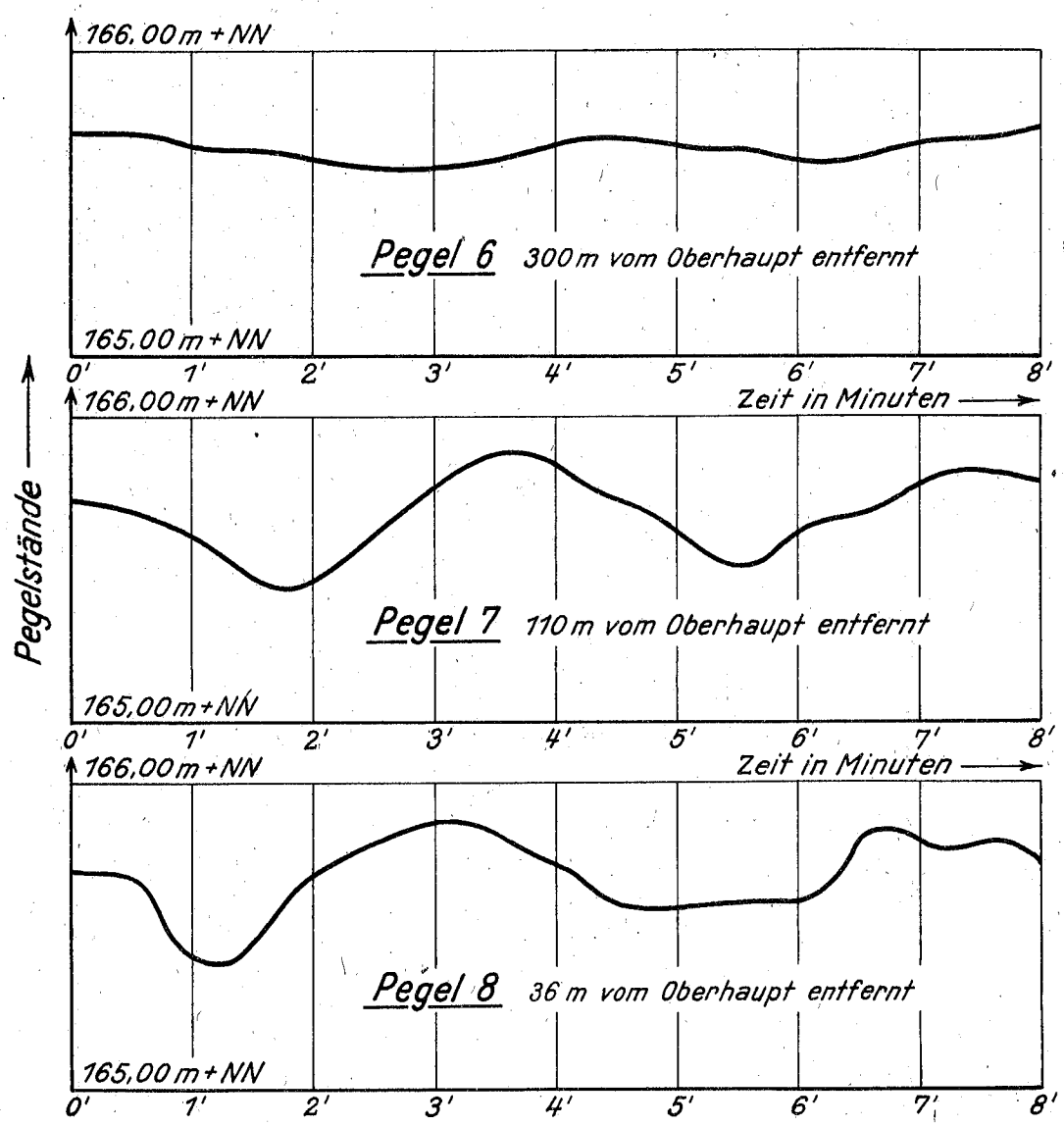


Abb. 6. Ganglinien der Wasserstände im Vorhafen der Schleuse Erlabrunn.

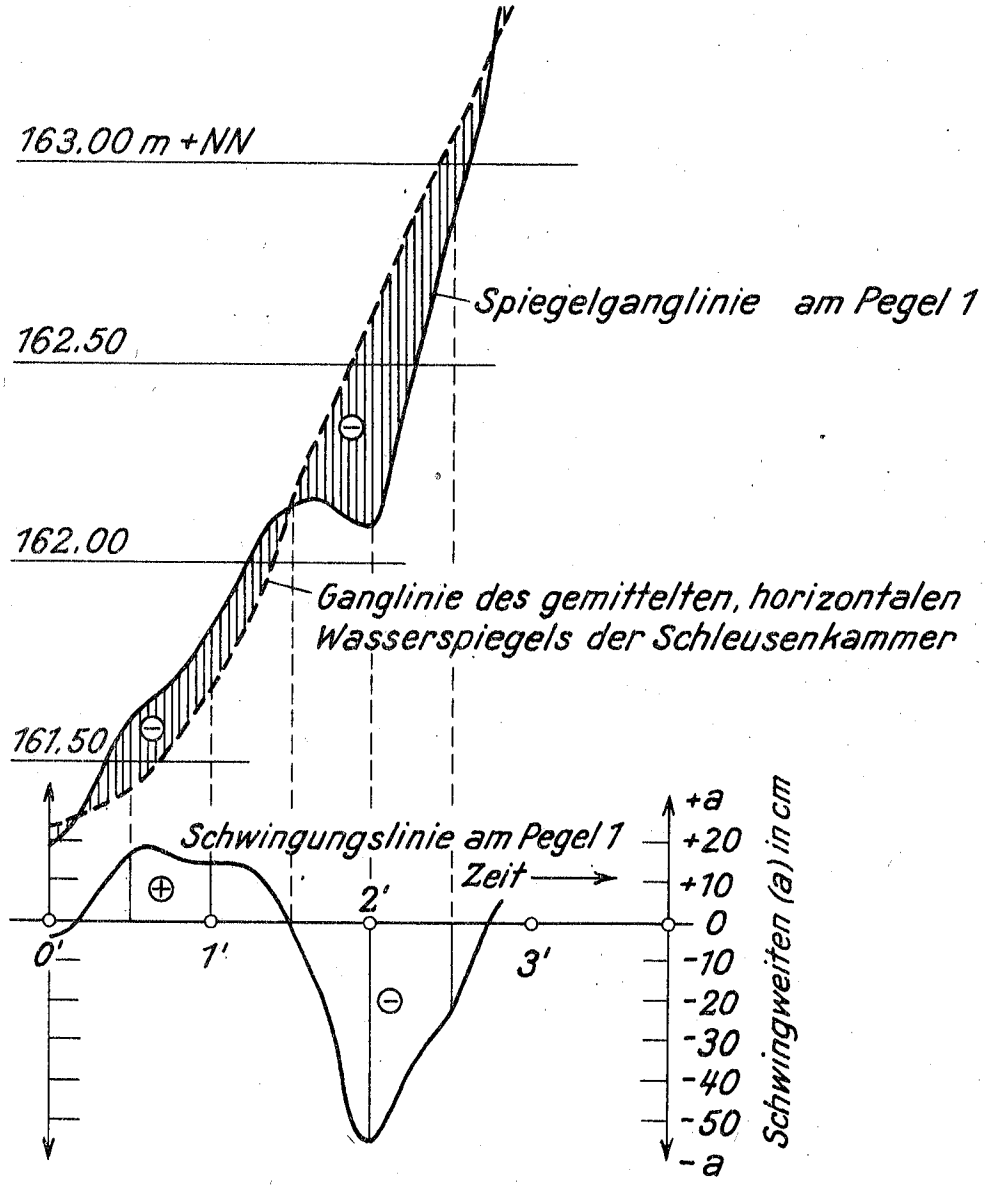


Abb. 7. Ermittlung einer Schwingungslinie aus der Ganglinie des Wasserspiegels.

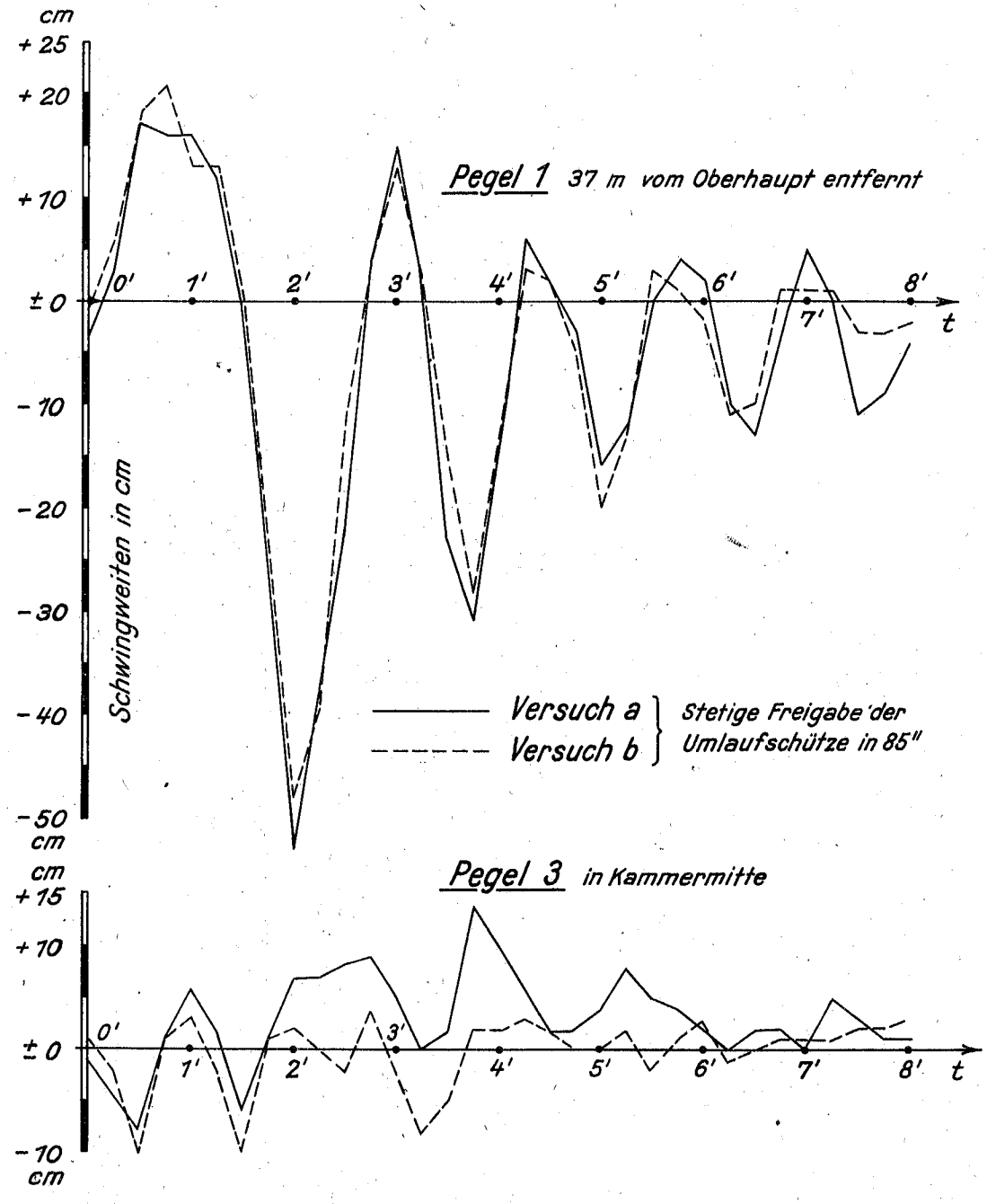


Abb. 8. Schwingungslinien bei stetiger Freigabe der Füllschütze an einem Pegel in der Nähe des Ober= hauptes und an einem Pegel in Kammermitte.

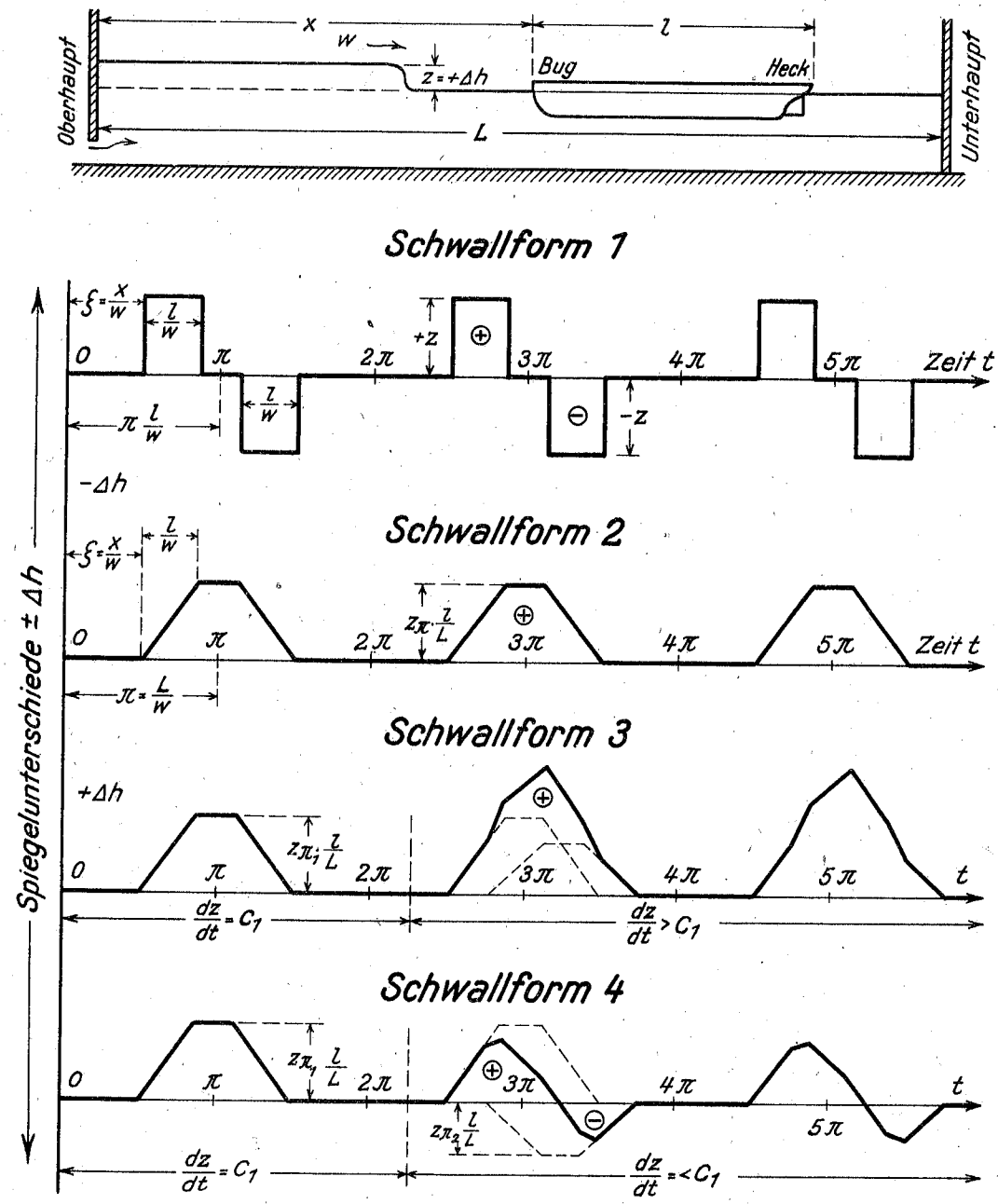


Abb. 9. Wasserspiegelunterschiede zwischen Bug und Heck bei verschiedenen Formen des Füllschwalls in schematischer Darstellung.

11

Einrichtungen zum Füllen und Entleeren von Schleusenkammern, insbesondere bei großen Flußschleusen in Kraftwasserstraßen.

Von Dipl.-Ing. F. Köhler, Rhein-Main-Donau-A.-G. München.

Eine der vielfältigen Aufgaben, die bei der Planung wie beim Bau neuzeitlicher Schiffahrtsanlagen im Zuge einer Flußkanalisierung besondere Beachtung verdienen, ist die Füllung und Entleerung von Schleusen. Mit der Steigerung des Verkehrs auf den Schiffahrtsstraßen wurde das Füll- und Entleerungsproblem in den Vordergrund gerückt. Die Entwicklung auf diesem Gebiete ist heute noch im Fluß. Wissenschaft wie Praxis sind bemüht, zweckentsprechende Lösungen unter Zuhilfenahme von Modellversuchen zu finden. In nachfolgenden Ausführungen, die sich in erster Linie auf den Ausbau der Großschiffahrtsstraße Rhein-Mai-Donau beziehen, werden die bei der Wahl und Ausbildung der betreffenden Einrichtungen zu beachtenden Gesichtspunkte behandelt.

I. Analysierung des Füll- und Entleerungsvorganges.

1. Jede Schleuse bedeutet für die Schiffahrt einen Aufenthalt. Mit der Zunahme des Schiffsverkehrs mußte auch die Leistungsfähigkeit der Schleusen Schritt halten. Dem möglichst raschen Füllen und Entleerung mußte daher neben der Verkürzung der Zeiten für das Ein- und Ausfahren erhöhte Bedeutung zugemessen werden.
2. Die beim Durchschleusen zu gewährleistende Sicherheit der Fahrzeuge gebot Maßnahmen, die ein weitgehend gefahrloses Füllen und Entleeren gestatten sollen.
3. Die für die Schleusenfüllung erforderliche Wassermenge mußte auf jenes Maß beschränkt bleiben, das mit Rücksicht auf den Wasserhaushalt des Flusses und die gleichzeitig betriebene Kraftausnutzung zulässig erschien.
4. Im Zusammenhang mit Schwankungen in der Wasserversorgung war den bei der Schleusung entstehenden Wellenbewegungen und Längsströmungen in den Haltungen besonderes Augenmerk zu schenken.
5. Auf der Suche nach besten Fülleinrichtungen und zweckmäßigen baulichen Maßnahmen, insbesondere Antriebsvorrichtungen, mußte die Kostenfrage und Wirtschaftlichkeit entsprechende Berücksichtigung finden.

Hiermit gleichlaufend mußte die Schleuse baulich und betrieblich auf eine Form gebracht werden, die die größtmögliche Betriebssicherheit der Anlage gewährleistete.

Für die nachfolgenden Ausführungen darf die Theorie der hydromechanischen Vorgänge beim Füllen und Entleeren als bekannt vorausgesetzt werden*).

Die an den fertiggestellten Anlagen der Großschiffahrtsstraße Rhein-Main-Donau in den letzten 20 Jahren gewonnenen Erfahrungen wie die Tatsache, daß Schleppzugschleusen mit 300 m Nutzlänge und zwischen 4 und 6 m schwankenden Hubhöhen viel rascher und sorgloser gefüllt werden können, als kleinere Schleusen mit geringerer Nutzlänge und hohem Gefälle, geben keinen Anlaß, grundsätzlich von den bewährten Stemmtoren mit gesonderten Tor-Umläufen abzugehen. Zum Füll- und Entleerungsproblem wird daher im Nachfolgenden ausschließlich unter dem Gesichtswinkel Stellung genommen, daß die gleiche Füllart auch für den Ausbau neuer Schleusen grundsätzlich beibehalten wird, selbstredend in dem Bestreben, den Füllvorgang weitgehend zu verbessern und ihn in seinen Auswirkungen den Vorteilen umlaufloser Schleusen möglichst anzupassen.

II. Stellungnahme zu den die Füllung und Entleerung beeinflussenden Faktoren.

Zu 1. Verkürzung der Füll- und Entleerungszeit.

Die Zusammensetzung der für die Rhein-Mai-Donau-Verbindung maßgebenden Rhein- und Donauflotte hat sich nach dem 1. Weltkrieg dahingehend verändert, daß die in kurzer Zeit zu beladenden, schnellfahrenden Motorkähne bis zu 600 t einen zunehmenden Anteil an der Verkehrsleistung aufweisen. Die Rentabilität dieses Schiffstyps erfordert rasche Abfertigung und möglichst kurze Umlaufzeit, was bei den Schleusen Abkürzung des Aufenthalts bedingt.

Die Rhein-Main-Donau-A.-G. hat dieser Entwicklung durch Einbau von Mittelhäuptern für die nach dem 2. Weltkrieg auszubauende Kanalisierungsstrecke Rechnung getragen. Die Schleppzug-Schleusen mit 300 m Nutzlänge werden also künftig in eine große und eine kleine Kammer unterteilt, obwohl es für den Schleusenverkehr und damit für die Schleusungszeit dienlicher wäre, die Selbstfahrer aus der Fahrstraße des Schleppzuges in den Vorhäfen herauszunehmen und ihnen eine besondere Schleuse neben der Schleppzugschleuse zuzuweisen.

Es besteht kein Zweifel, daß die Organisation des Schiffahrtbetriebes im großen wie im einzelnen an vielen kanalisierten Flüssen der anderer Verkehrsarten noch nachhinkt und von dieser Seite noch vieles zur besseren Leistung beigesteuert werden kann. Dies zeigt sich z. B. in dem straff geregelten Betrieb des Rhein-Herne-Kanals, des Dortmund-Ems-Kanals und auf einigen französischen Wasserstraßen.

Wenn daher die Leistung der Schleusenkammer durch kurze Füll- und Entleerungszeiten gesteigert wird, so wird dadurch die Leistung der ganzen Schleusenanlage gefördert und für die Unzulänglichkeiten des Betriebes in den Vorhäfen eine Zeitreserve geschaffen.

Die Leistung der Schleusenkammer ist ziemlich eindeutig von der Füll- und Entleerungszeit abhängig. Sie ist auch durch bau- und maschinentechnische Einrichtungen eher zu beherrschen, als es die weniger zwangsläufigen Betriebsvorgänge in den Vorhäfen sind.

Verkürzungen der Füllzeit sind jedoch (bei niederen Gefällen von 4 bis 6 m) nur dann entscheidend, wenn es gelingt, die Zeit auf weniger als 10 Minuten herabzudrücken.

*) Vgl. den Aufsatz von Wittmann u. Bleines über hydromechanische Vorgänge bei der Schleusenfüllung.

Bisher vorgenommene Untersuchungen, empirische Berechnungsmethoden wie Modellversuche haben ergeben, daß einer weitgehenden Verkürzung der Füll- und Entleerungszeiten verhältnismäßig enge Grenzen gezogen sind. Auch die Streitfrage, ob Schleusen mit oder solche ohne Umläufe wesentliche Vorteile bieten, spielt dabei nur eine untergeordnete Rolle. Die Praxis hat jedenfalls gezeigt, daß eine wesentliche Kürzung der Füllzeiten mit der Füllart durch das Oberhaupt allein nicht erreicht werden kann, auch nicht mit noch so raffinierten Verschlüssen in den Häuptern, komplizierten Antriebsvorrichtungen und den unvermeidlichen Energievernichtern. Dazu kommt, daß alle Bemühungen, dem ebenso wichtigen Problem der ruhigen Lage der Fahrzeuge während des Schleusungsvorganges durch entsprechende Maßnahmen gerecht zu werden, meist nur auf Kosten der Füllzeit und damit der Leistungsfähigkeit erfüllbar sind.

Inwieweit sich jedoch gegenüber den seither ausgebauten Schleusen Fortschritte erzielen ließen, möge nachfolgende Gegenüberstellung vermitteln:

	Hub	mittl. Hubgeschwindigkeit	Füllzeit
Mainschleuse alt	4,60	0,27 m/min.	18 min.
„ neu	4,60	0,37 m/min.	12½ min.

Auch in neuerer Zeit durchgeführte Untersuchungen zeigten bei Hubhöhen zwischen 4 und 6 m Füllzeiten, die zwischen 11 und 14½ min. liegen. Verkürzungen derselben, wie sie z. B. durch vorzeitige Öffnung der Tore, Einschaltung verschiedener Öffnungsgeschwindigkeiten, Vergrößerung der Umlaufquerschnitte, Wahl anderer Verschlußsysteme und Antriebsvorrichtungen ermöglicht werden könnten, brachten nur Zeitgewinne, die zwischen ½ bis 1 min. liegen und daher den baulichen wie kostenmäßigen Aufwand nicht rechtfertigen.

Eine weitere Verkürzung ist durch die Füllung vom Oberhaupt aus schon deswegen nicht mehr möglich, weil die beim Füllen entstehenden Schwalle und die sich daraus ergebende ungünstige Beanspruchung der geschleusten Schiffe diese nicht zulassen.

Nach dem gegenwärtigen Stand der technischen Entwicklung kann wohl gesagt werden, daß eine wirklich gewinn- und nutzbringende Verkürzung der Füllzeit nur durch eine andere Schleusenbauweise erreicht werden kann, bei welcher das Füllwasser nicht vom Haupt aus unmittelbar, sondern auf die ganze Kammerlänge verteilt zugeführt wird.

Zu 2. Gefahrloses Füllen und Entleeren.

Dem nicht minder wichtigen Gesichtspunkt des gefahrlosen Füllens und Entleerens gilt besonderes Interesse.

Für die Beurteilung dieses Vorganges sind im allgemeinen die Kräfte maßgebend, die auf die Schiffe ausgeübt werden, welche während der Schleusung in der Schleusenkammer liegen. Mit Rücksicht auf die gebotene Betriebssicherheit war es daher erforderlich, Bedingungen zu finden, die die ruhige Lage der Schiffe während des Füllvorganges gewährleisteten.

Bei Schleusen, deren Länge, wie im vorliegenden Fall, sehr viel größer ist, als ihre Breite und die von einem der Häupter aus gefüllt werden, wird der ganze Füllvorgang im wesentlichen von den Füllschwallen, welche die Schleusenkammer mehrfach durchlaufen, bestimmt. Für die Schnelligkeit der Schleusung sind daher in erster Linie die auftretenden Trossenkräfte ausschlaggebend. Sie sollen nach einem Erfahrungswert $^1/_{750}$ bis $^1/_{600}$ des Schiffsgewichtes nicht überschreiten, das sind beim 1350-t-Kahn mit 1665 m³ Verdrängung = 2,22 bis 2,77 t.

Der Füllvorgang wird von der e r s t e n Schwallbildung entscheidend beeinflußt. Schwallbewegung und Schwingungsvorgang in der Schleuse sind vom Zuwachs der Wassermenge in der Zeiteinheit abhängig. Die nachteiligen Erscheinungen des vor- und rücklaufenden Schwalles müssen dadurch vermindert werden, daß, wie bereits erwähnt, bei Beginn der Füllung, also beim größten Druckunterschied, die Zuflußmenge klein gehalten wird. Nun kann zwar die Schwallbildung durch den Einbau von Energieumlenkern und Energievernichtern gedämpft werden, aber ein wesentlicher Zeitgewinn ist auch durch diese Maßnahme nicht zu erreichen. Als einziger Ausweg verbleibt vielmehr, kurz vor der Ausspiegelung durch Einschalten einer größeren Öffnungsgeschwindigkeit im Füllorgan diesen anfänglichen Zeitverlust aufzuholen. Unter dem Zwang, die Schwalle zu beherrschen, geht also die Möglichkeit, die Zeit des größten Druckunterschiedes für rasche Füllung auszunützen, nahezu verloren.

Das Bestreben, die Füllzeiten so kurz wie möglich zu halten, ist also auch unter vorgenannten Gesichtspunkten beschränkt. Die Sicherheit des Betriebes gestattet nicht, die Füllzeit auf Kosten der ruhigen Lage der Schiffe in der Schleuse herabzumindern. Es sind also alle jene Füllzeiten auszuschalten, bei denen nennenswerte, nach dem Obertor zu gerichtete Kräfte und ein häufiger Wechsel der Kraftwirkung auftreten sowie die Längskräfte das zulässige Maß wesentlich überschreiten.

Für die Verbesserung der Strömungsvorgänge sind ausschlaggebend die Abhängigkeit des ersten Füllschwalles von der Größe der freigegebenen Schützöffnung und Öffnungsart, der freie Wasserquerschnitt in der Kammer, sowie das Zusammentreffen von zurückgeworfenem Schwall und erneutem Füllschwall. Bereits früher ausgeführte Versuche haben eine Betriebsform ergeben, die diese maßgeblichen Faktoren unter Berücksichtigung einer verschiedenartigen Schleusenbelegung weitgehend berücksichtigt.

Die rund 5,04 m² großen und kurzen Torumläufe sollten danach in folgenden Stufen freigegeben werden:

1. Freigabe von $^2/_{10}$ des Füllquerschnittes in 100 Sekunden.
2. Freigabe von weiteren $^3/_{10}$ des Füllquerschnittes in 120 Sekunden.
3. Freigabe der restlichen $^5/_{10}$ des Füllquerschnittes in 140 Sekunden.

Die gesamte Öffnungszeit betrug also 360 Sekunden oder 6 Minuten. Die gesamte Füllzeit für die ganze, große Schleusenkammer ermittelte sich zu $12^1/_2$ Minuten.

Die einzelnen Öffnungsquerschnitte werden stetig mit linearer Flächenzunahme freigegeben. Der Übergang von einer Öffnungsgeschwindigkeit zur nächsten sollte pausenlos erfolgen. Den Versuchen lag eine Hubhöhe von 4,60 m zugrunde. Bei Änderungen der Hubhöhe, z. B. bei höheren Unterwasserständen im Fluß, die eine Verminderung der Anfangshubhöhe bedingen, kann die Freigabe rascher erfolgen. Die vorgenannte Betriebsform gestattet dies insofern, als in diesem Fall die Stufe 1 und 2 abgeschaltet werden konnte und lediglich mit der Stufe 3 geöffnet werden sollte.

Die Einführung dieser Betriebsform machte den Einbau von besonderen Getrieben und Schaltvorrichtungen notwendig, die eine nicht unwesentliche Komplizierung der Antriebe und des ganzen Betriebes bedingten und deren Beschaffung darüber hinaus mit nicht unwesentlichen Mehrkosten verbunden waren. Bevor nicht erwiesen war, welche Zeitvergrößerung bei der Beibehaltung e i n e r stetigen Öffnungsgeschwindigkeit tatsächlich in Frage kam, sollte aus vorgenannten Gründen von der empfohlenen Betriebsform mit veränderlichen Öffnungsgeschwindigkeiten abgesehen werden.

Neuerdings vorgenommene Untersuchungen mit der langsamsten Geschwindigkeit von $^{2}/_{10}$ in 100 Sekunden oder $^{10}/_{10}$ in 500 Sekunden ergaben eine Füllzeit von $13^{1}/_{2}$ Minuten. Der Zeitgewinn beträgt also nur 1 Minute. Auch die gleichzeitig gegebene Möglichkeit, den Umlaufquerschnitt auf $2 \times 6{,}0$ m² zu vergrößern, ergab nur Zeitverkürzungen, die annähernd 1 Minute erreichten. Praktisch wäre also eine um insgesamt 2 Minuten schnellere Füllzeit erzielbar gewesen. Der durch die Querschnittsvergrößerung ermöglichte Gewinn war insofern illusorisch, als er bei kleineren Hubhöhen als 4,60 m sehr stark absank (auf 4 v. H.), andererseits jedoch eine Vergrößerung der Schützfläche um 20 v. H. bedingt hätte. Ferner kam hinzu, daß nach Einschaltung von Mittelhäuptern bei der kleineren Schleusenkammer die völlige Ausspiegelung bereits eintritt, bevor die Schützquerschnitte vollständig freigegeben sind. Letztere könnten also im Hinblick auf die kleine Schleusenkammer noch kleiner als 5,0 m² gewählt werden. Es empfahl sich daher, bei den kleineren Querschnitten von 5,0 m² zu verbleiben.

In Anbetracht der nur unwesentlichen und kleinen Verbesserungen der Füllzeiten läßt sich der für eine stufenförmig veränderliche Geschwindigkeitsregelung erforderliche Aufwand nicht vertreten, zumal deren voller Erfolg nur dann gewährleistet ist, wenn sie in weiten Grenzen variable Öffnungsgeschwindigkeiten zuläßt, die die Veränderlichkeit der Schleusenbelegung wie der Hubhöhe berücksichtigen lassen. Umgekehrt wird hierdurch jedoch eine wesentliche Erschwerung und Komplizierung des Schleusenbetriebes verursacht, die unerwünscht ist. Wir haben demgegenüber vorgezogen, Hubhöhen, Querschnittsgrößen und Öffnungsgeschwindigkeiten auf einander abzustimmen und die Öffnungsgeschwindigkeit bei jeder künftigen Schleuse an die größte Hubhöhe anzupassen.

Die anfänglich großen Druckhöhen und kleinen Füllquerschnitte lassen das Füllwasser mit großer Geschwindigkeit in die Schleuse eintreten. Zur gleichmäßigen Einführung werden besondere bauliche Maßnahmen notwendig. Durch Energievernichter und durch besondere Ausbildung der Füllöffnungen, wie sie auch für die Mainschleusen in Aussicht genommen sind, kann nur die Verteilung des ausströmenden Wassers über den Kammerquerschnitt erreicht oder verbessert werden, die Schwallbildung jedoch läßt sich hierdurch nicht beeinflussen. Verzichtet man auf die Energievernichter oder werden diese ungünstig ausgebildet, so verstärken sich die regellosen Schwankungen und Pulsationen des Wasserspiegels in der Nähe des Oberhauptes beträchtlich. Die ziemlich regelmäßigen Wasserspiegelschwingungen, die etwa $^{3}/_{4}$ der Kammer beherrschen und nur von den Schwallen herrühren, werden dagegen nicht verändert. Nur die Betriebsweise der Füllöffnungen hat einen erheblichen Einfluß auf die Schwallbildung. Da die im Verhältnis zu langen Stauhaltungen kurzen, aber meist tiefen Schleusenkammern besonders schwingungsempfindlich sind, muß der Füllschwall als Hauptursache der Schwingung klein gehalten und gedämpft werden.

Diese Erkenntnis ist als hauptsächlicher Faktor für die gefahrlose Füllung und Entleerung zu betrachten. Er wird daher maßgeblich mitbestimmend für die Größe der Füll- und Entleerungszeit für welche die Gesichtspunkte bereits aufgezeigt wurden. Beide Erfordernisse auf einen gemeinsamen Nenner zu bringen, muß daher bei der Lösung aller mit diesem Problem zusammenhängenden Fragen oberster Grundsatz sein. Da das alte System der Torumläufe hydrodynamisch der Füllung unmittelbar vom Obertor aus gleich zu achten ist, kann es zweifellos, wenn es strömungstechnisch so durchgebildet wird, daß der Eintritt des Füllstrahles keine schädlichen

Strömungen in der Kammer erzeugt, als geeignetes Mittel für eine gefahrlose Füllung der Schleuse herangezogen werden.

Zu 3. Beschränkung der Füllwassermenge.

Selbst wenn man einer völlig ruhigen Einströmung keinen entscheidenden Wert beimessen und kurze, nicht allzu häufig auftretende Längskräfte nach dem Obertor als nicht betriebsgefährdend zulassen wollte, darf nicht vergessen werden, daß das Füllwasser in vielen Fällen nicht in unbeschränkter Menge dem Oberkanal entnommen werden kann. Dabei ist nicht nur ausschlaggebend, ob die Größtwassermenge unter dem Maß bleibt, das mit Rücksicht auf die Lage der Schiffe in den Vorhäfen zulässig ist.

Die Rücksichtnahme auf die Kraftgewinnung an den Mainstaustufen gebietet vielmehr die Beschränkung der Größtwassermenge auf den für die niedrigste Wasserführung maßgeblichen Wert von 40 bis 50 m³/sec. Die Größe des Umlaufquerschnittes ist bei den Mainschleusen somit mehr zwangsläufig bestimmt. Die Größe der Maximalwassermenge ist jedoch außer vom Umlaufquerschnitt auch vom größten Spiegelunterschied zwischen Oberwasser und Kammer und von der Öffnungsgeschwindigkeit der Schützen abhängig. Damit ist vorgezeichnet, daß auch die Wassermengenzunahme in einem kritischen Zeitraum der Füllung von ihrem Beginn bis zum Größtwert einen bestimmten Wert nicht überschreiten darf. Dementsprechend kann auch die Freigabegeschwindigkeit des Füllquerschnittes nur so groß gewählt werden, daß bei den Mainschleusen 0,10 m³/sec. als Wassermengenzunahme gewährleistet bleiben.

Wenn man bei in neuerer Zeit ausgeführten Schleusen die rasche Füllung mit einer etwa 7- bis 8mal größeren Hubgeschwindigkeit als bei den Mainschleusen rühmt, so darf man nicht übersehen, daß dort unbeschränkte Füllmengen zur Verfügung stehen, die in unserem Fall auch dann nicht gegeben sind, wenn ein Teil der Füllwassermengen unmittelbar aus dem Oberwasser des Wehres entnommen wird.

Zu 4. Beeinflussung der Strömungsvorgänge außerhalb der Schleusen.

Die beim Füllen der Schleusen festgestellten Einwirkungen auf die Wasserspiegellage im Ober- und Unterwasser der Stauhaltungen äußern sich in pendelnden Wellenbewegungen und Längsströmungen. Nach unseren Beobachtungen sinkt bei plötzlichem Öffnen der Umläufe das Oberwasser in Nähe der Umläufe um etwa 0,20 m ab. Diese Absenkung pflanzt sich über den Oberkanal hinaus fort, erzeugt ein starkes Spiegelgefälle und bringt dadurch die Wassermassen gegen das Oberhaupt zu in Bewegung. Da aber die Umläufe das zuströmende Wasser nicht verarbeiten können, staut es sich am Obertor bis 0,20 m über Regelstau auf, erzeugt höheres Druckgefälle im Umlauf und begünstigt die Schwallbildung in der Kammer. Die am Obertor angestaute Welle fließt, da sie jetzt entgegengesetztes Spiegelgefälle hat, wieder zurück. Der Wasserspiegel am Oberhaupt wird erneut unter Regelstau abgesenkt, erhält Spiegelgefälle zum Obertor und verursacht dadurch die nächste Welle. Dieses Spiel setzt sich fort und ebbt langsam bis zur völligen Ruhe ab.

Bei wenig bewegtem Oberwasser und geringer Wasserführung lassen sich die Schwankungen auch oberhalb des Oberkanals im freien Fluß beobachten, nur sind sie wegen des großen Wasserquerschnittes wesentlich abgeschwächt.

Der gleiche Vorgang setzt auch beim Entleeren der Kammer mit plötzlich geöffneten Umläufen ein. Das Unterwasser außerhalb der Tore steigt etwa

um 0,30 m an und bildet eine Welle stromabwärts. Erst bei nahezu ausgeglichenem Wasserspiegel kommt eine Welle gegen das Tor, die dasselbe aufdrückt.

Die Wellenbewegungen vorbeschriebener Art erzeugen in den einzelnen Haltungen zeitlich pendelnde Berge und Täler im Wasserspiegel, d. h. Sunk- und Schwallwellen, die bei dichtem Schiffsverkehr und öfteren Schleusungen über eine größere Länge der Stauregelungsstrecke fortschreiten*). Ihre Höhe ist abhängig von der Größe der in der Sekunde abfließenden Wassermengen. Je kleiner im Anfang der Füllung die Wasserentnahme aus dem Oberkanal ist, um so niedriger wird die Sunkwelle. Praktisch führt diese Erkenntnis dazu, die Fülleinrichtungen bei Beginn langsam zu öffnen und die Öffnungsgeschwindigkeit nur allmählich zu steigern. Wir haben es also hier mit den gleichen Folgerungen zu tun, wie bei der Erzeugung und Dämpfung des primären Schwalles in der Schleusenkammer.

Weiter erscheint es erforderlich, daß die dem Oberkanal zu entnehmende Wassermenge ein gewisses zulässiges Maß nicht übersteigt und daß die Schiffe im oberen Vorhafen genügend weit von der Schleuse entfernt anlegen.

Bei den Maßnahmen für das Entleeren der Schleusenkammer ist wichtig zu wissen, daß einmal eine Schwallwelle erzeugt wird und daß andererseits die Schiffe in der Schleuse infolge der größeren Wassertiefe ruhiger liegen als beim Füllen und daher die Entleerung rascher durchgeführt werden kann. Es ist anzustreben, die lebendige Kraft des ausströmenden Wassers möglichst weitgehend zu vernichten, damit im Unterkanal schädlichen Angriffen auf Sohle und Böschungen vorgebeugt wird.

Die rasche Entnahme des Füllwassers aus der Haltung wirkt sich auf den Schiffahrtsbetrieb weniger ungünstig aus, da die Schiffsliegeplätze weit außerhalb der Schleuse angelegt wurden, so daß auch bei starken Wasserspiegelabsenkungen die im Vorhafen liegenden Fahrzeuge nicht leicht nach der Schleuse abgetrieben werden können. Von Nachteil kann die Wasserspiegelabsenkung jedoch am Ende längerer Haltungen, d. h. im Unterwasser der nächst oberhalb gelegenen Staustufe sein, wenn dort die Fahrwassertiefe nur dem vorgeschriebenen Normalmaß entspricht. Bei starker Sunkwelle können die Schiffe zeitweise Bodenberührung erleiden oder auf Grund geraten.

Besonders nachteilige Folgen hat der fortschreitende Wechsel der Wasserspiegellage jedoch auf den Kraftwerksbetrieb. Wird diesem bei der Beaufschlagung der Turbinen nicht Rechnung getragen, so erfolgt eine neuerliche Anfachung der Pendelbewegung, die sich insbesondere bei geringer Wasserführung auf weite Haltungstrecken fortpflanzt und zu unangenehmen Leistungsschwankungen der Kraftwerke führen kann.

Es erscheint also auch aus vorgenannten Gründen notwendig, das Füllen und Entleeren von Schleusen auf ein richtiges Zeitmaß abzustellen und insbesondere das allzu rasche Füllen zu vermeiden.

Zu 5. Wirtschaftlichkeit, Gestaltung und Betriebssicherheit baulicher Maßnahmen.

Der von den Verfechtern der umlauflosen Schleusen allgemein aufgestellten Behauptung, daß Schleusenumläufe die bauliche Ausführung und den Betrieb erschweren und verteuern und darüber hinaus Abschlußvorrichtungen erfordern würden, die häufigen Anlaß zu Betriebsstörungen geben, muß im Rahmen dieser Ausführungen widersprochen werden. Es mag

*) Vgl. den Aufsatz von Wiener über Schleusungs- u. Kraftwerkswellen in Schifffahrtskanälen.

zutreffen, daß nach den an Schleusen mit höheren Gefällen gemachten Erfahrungen die Umläufe hydraulisch nicht befriedigen. Dies hat seine Ursache darin, daß sie den bei höheren Gefällen auftretenden Erscheinungen und strömungstechnischen Erfordernissen nicht genügend angepaßt sind. In allen übrigen Fällen, insbesondere bei Hubhöhen unter 6 m ist es jedoch sehr wohl möglich, die nur als Zu- und Abführungskanäle gedachten kurzen Umläufe als Kopfumläufe den Bedürfnissen der Energievernichtung weitgehend anzupassen.

Umlauflose Schleusen haben die Vernichtung der lebendigen Kraft des in Richtung der Schleusenachse ein- und abströmenden Wassers zur unbedingten Voraussetzung. Dies wird je nach Verwendung besonderer Verschlußarten nur durch verhältnismäßig aufwendige und tiefreichende Energievernichtungsanlagen bewirkt, deren bauliche Ausführung teuer kommt und oft eine Verlängerung der Häupter bedingt. Kostenvergleiche haben ergeben, daß derartige Einbauten unter Berücksichtigung des bei den Anlagen des Maingebietes fast überall hoch anstehenden Felsuntergrundes kostspielige Gründungsarbeiten erfordern, welche die durch Weglassen der Umläufe erhofften Ersparnisse illusorisch machen. Der Entfall besonderer Umlaufverschlüsse spielt keine ausschlaggebende Rolle, da auch bei umlauflosen Schleusen die Füll- und Entleerungsvorrichtungen samt komplizierten Antrieben einen nicht geringen Kostenaufwand erfordern.

Ferner kommt hinzu, daß auf Grund der inzwischen an umlauflosen Schleusen gemachten Erfahrungen den Toren der Vorzug zu geben ist, die ganz aus dem Wasser gehoben werden können. Alle anderen Verschlußarten weisen mehr oder weniger betriebliche Nachteile auf, die den, den Umlaufverschlüssen nachgesagten Mängeln die Waage halten. Hubtore kommen jedoch aus mannigfachen Gründen für die Anlagen im Bereich der Rhein-Main-Donau-Großschiffahrtsstraße mit mittleren Hubhöhen nicht in Frage.

So wie sich die Verhältnisse im Schleusenbau bis jetzt entwickelt haben, kann von einer Verteuerung der Bauausführung bei Schleusen mit Umläufen gegenüber solchen ohne Umläufe keine Rede sein, da dabei Kosten mitbestimmend sind, deren Zusammensetzung auf Grund der örtlichen Verhältnisse nicht verallgemeinert werden kann. Wenn zudem durch einen in Grenzen bleibenden Mehraufwand die Leistungsfähigkeit einer Schleuse verbessert und gesteigert werden kann, so handelt es sich hierbei um das gleiche Argument, das auch als bestechender Vorteil der umlauflosen Schleusen vielfach herausgestellt wird.

Im Hinblick auf die Betriebssicherheit können den Häuptern mit Umläufen ebenfalls keine schwerwiegenden Nachteile unterschoben werden. Grundsätzlich erfordert die Betriebssicherheit einfache, robuste und in der Unterhaltung billige Verschlußeinrichtungen. Sowohl bei den altbewährten Stemmtoren wie bei mit Rollkeilschützen versehenen Umläufen ist diesem Grunderfordernis weitgehend Rechnung getragen. Verschlüsse für umlauflose Schleusen, deren Zahl und Bauart sich stetig weiterentwickelt hat, weisen wesentlich kompliziertere Antriebsorgane auf, die störungsanfälliger sind. Der unschätzbare Vorteil doppelter Umläufe, auch im Störungsfall mit einem Umlauf füllen oder entleeren zu können, wird jedenfalls bei umlauflosen Schleusen bisher noch nicht erreicht. Klemmen der Füllorgane im Tor oder Schäden im gemeinsamen Antrieb bedingen den Ausfall des gesamten Verschlusses und legen die Schiffahrt lahm, es sei denn, man sieht gleich von vornherein eine 2. Schleuse vor.

Vorstehende Gesichtspunkte wie die Tatsache, daß nach mehr als 20jährigem Betrieb kein einziger Fall bekannt geworden ist, der zu nachhaltigen und schwerwiegenden Folgen geführt hätte, veranlaßten uns, bei Schleusen mit Hubhöhen von 4—6 m die Umläufe in der bewährten Ausführung beizubehalten, zumal es sich gerade in neuerer Zeit gezeigt hat, daß auch die durch das Füll- und Entleerungsproblem aufgeworfenen Fragen und neugewonnene Erkenntnisse bei ihnen in weitreichendem Maße Berücksichtigung finden können. Die Fortschritte neuzeitlichen Schleusenbaues lassen erkennen, daß zweckentsprechendere Lösungen auf anderem Wege gefunden werden können, als solche bisher auf dem Umweg über die umlauflose Schleuse vorgezeichnet waren. Bei ihnen entfällt jedenfalls der Zwang zur Füllung vom Oberhaupt aus und die Notwendigkeit, Schwalle zuerst zu erzeugen und dann wieder dämpfen zu müssen. Erst wenn erwiesen ist, daß die während des Krieges im Ausland rasch vorwärts getriebene Weiterentwicklung neuer Typen bei großen Flußschleusen mit bestechend kurzen Hubgeschwindigkeiten als nachahmenswerte Beispiele anzusehen sind, kann darüber entschieden werden, ob die Beibehaltung von Schleusen mit Umläufen als unvorteilhaft aufgegeben werden muß.

III. Bisherige und künftige Betriebsform sowie bauliche Gestaltung der Füll- und Entleerungsorgane an den Schleusen.

Das Öffnen der Umlaufverschlüsse an den Schleusen der bisher fertiggestellten Kanalisierungsstrecke erfordert bei ununterbrochenem Hub 90 Sekunden. Praktisch kommt die volle und plötzliche Freigabe des Umlaufquerschnittes jedoch nie in Frage, da durch den hohen Überdruck am Beginn der Füllung derartige Schwalle erzeugt werden, daß die ruhige und sichere Lage der Fahrzeuge während der Schleusung nicht gewährleistet erscheint. Neben unzulässigen Trossenzügen nach dem Oberhaupt treten auch Querströmungen auf, die das Festmachen der Schiffe erschweren. Diese unangenehmen Auswirkungen werden erheblich gemildert, wenn die Oberhaupt-Umläufe stufenweise geöffnet werden. Es hat sich daher eine Betriebsform herausgebildet, bei welcher die Verschlüsse anfänglich nur rund 0,30 m angehoben werden. In dieser Stellung werden sie alsdann mindestens 5 Minuten belassen und dann um weitere 0,50 m geöffnet. Diese Öffnungsbegrenzung entspricht etwa einem Drittel der vollen Querschnitthöhe. Erst bei halbgefüllter Schleuse wird der volle Umlaufquerschnitt freigegeben. Je nach Belegung der Kammer und wechselndem Unterschied zwischen Ober- und Unterwasser kann diese Betriebsform geändert werden. Diese bisherige Betriebsform befriedigte jedoch weder in hydraulischer noch in betrieblicher Hinsicht. Die durch sie begünstigte Schwallbildung hat eine dauernde Änderung der Längskräfte und häufige Wechsel der Kraftgrößen je nach Lage der Fahrzeuge in der Kammer zur Folge. Es bleibt ferner dem Geschick und der Erfahrung der Schleusenwärter überlassen, jeweils das richtige Zeitmaß für das Öffnen der Verschlüsse abzuschätzen, damit die Wasserbewegung in der Kammer auf ein erträgliches Maß begrenzt bleibt. Zudem gestattet diese Betriebsform eine Betätigungsweise, die trotz entsprechender Bedienungsanweisungen willkürlich gehandhabt werden kann.

Die unzulässigen Längskräfte sind bedingt durch den geschlossenen Schwallkopf, der am Obertor in Schleusenmitte beim Öffnen der Umläufe zu beobachten ist. Er entsteht durch das Zusammentreffen des aus den gegenüberliegenden Auslaufteilen austretenden Strahles und wird dadurch verstärkt, daß beim Beginn des Füllvorganges, also bei großem Druckunterschied das Wasser nicht über den Auslaufquerschnitt verteilt und mit

überall gleichmäßiger Geschwindigkeit abströmt, sondern sich infolge der Umlenkung um 90° an die Außenwand des Umlaufes anschmiegt wie auch durch den ersten Öffnungsspalt der Füllschütze mit großer Geschwindigkeit und kleiner Fläche in den Auslauf eintritt. Der Strahl hat bei der bisherigen Bauform der Umläufe eine zu kleine Breiten- und Höhenausdehnung und trifft auf eine zu geringe Wasserüberlagerung in der Schleuse. Zur Vergrößerung der letzteren müßte der Querschnitt im Auslauf breiter und niedriger gehalten werden. Ferner macht sich auf der ganzen Länge des Auslaufes das Fehlen von Leitwänden nachteilig bemerkbar, die den Strahl über die Breite des Auslaufquerschnittes verteilen und in der Krümmung entsprechend führen sollten. Die bisher gebräuchliche Form des alten Torumlaufes geht aus Abb. 1 hervor.

Die aus Versuchen und auf Grund von Erfahrungen gewonnene Erkenntnis, daß nur die Betriebsweise der Füllöffnungen einen erheblichen Einfluß auf die Schwallbildung ausüben kann, hat für den Bau weiterer Schleusen zu einer neuen Betriebsform geführt. Grundsätzlich soll ihr die als wichtiges Hilfsmittel erkannte Veränderlichkeit der Hubgeschwindigkeit in Form von stufenweise regelbaren Getrieben zugrundegelegt werden. Da deren Beschaffung in der benötigten Sonderausführung derzeit noch mit gewissen Schwierigkeiten verbunden ist, die jedoch ihren nachträglichen Einbau keineswegs ausschließen, soll die Füllung vorerst mit e i n e r Öffnungsgeschwindigkeit und stetig erfolgen. Die bisherige intermittierende Öffnungsform wurde damit endgültig aufgegeben. Bei der neuen Betriebsform wird die aus früheren Versuchen gewonnene langsamste Öffnungsgeschwindigkeit bei Schleusen mit Hubhöhen von 4,60 m zu etwa 500 sec. gewählt. Auf Grund theoretisch-empirischen Berechnungsverfahrens wurde für jede Hubhöhe die zulässige Öffnungs- und Füllzeit ermittelt. Da, wie bereits erwähnt, die Vergrößerung der Füllquerschnitte auf Grund neuerer Untersuchnugen keine nennenswerten Verbesserungen der Füllzeiten brachte, wurde der früher festgelegte Umlaufquerschnitt mit 5,0 m² beibehalten. Die Füllung und Entleerung wird in der gleichen Betriebsform vorgenommen. Füll- und Entleerungszeiten sind bei gleichen Öffnungszeiten gleichgroß. Die neue Betriebsform wird unveränderlich beim Ober-, Mittel- und Unterhaupt verwendet. Eine willkürliche Bedienung ist bei ihr künftig unmöglich. Die Öffnung des Füllquerschnittes wird mit einer rund 6fach langsameren Geschwindigkeit als seither erfolgen.

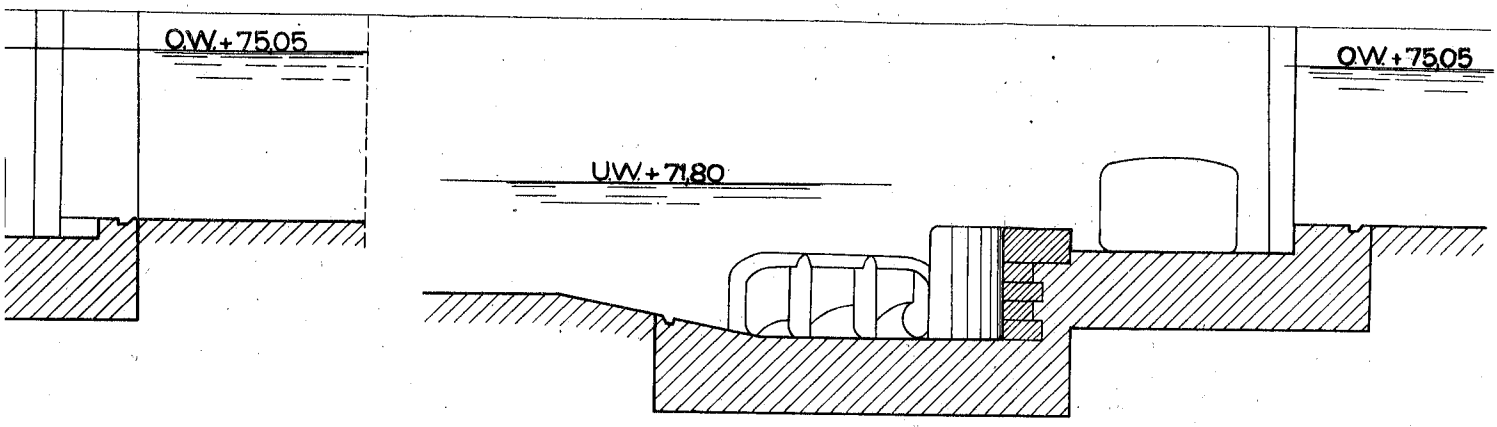
Auf Grund von Versuchen wurde der alte Torumlauf im Auslauf von dem hohen, schmalen in einen niedrigen breiten Querschnitt umgewandelt. Gleichzeitig erhielt der Auslauf Leitwände sowie eine Querschwelle hinter dem Füllschütz, die eine bessere Verteilung des einströmenden Wassers über die Höhe des Querschnittes und die Ablenkung des Strahles von der Sohle gewährleistet.

Bei allen Torumläufen mündet der Auslaufteil in ein Tosbecken, dessen Sohle 1 m unter der Kammersohle liegt. In dem flachen Tosbecken sind Energievernichter angeordnet, die die gleichmäßige Verteilung des zuströmenden Wassers über den Kammerquerschnitt erleichtern. Die nach vorstehenden Gesichtspunkten zur Ausführung bestimmte neue Umlauf-Form ist aus Abb. 2 erkennbar. Es ist anzunehmen, daß die vorerst für Hubhöhen zwischen 4 und 6 m festgelegte bauliche Ausführung der Tor-Umläufe in Verbindung mit der neuen Betriebsform Ergebnisse zeitigt, die den für das Füll- und Entleerungsproblem maßgeblichen Erfordernissen in strömungstechnischer wie betrieblicher Hinsicht gerecht wird.

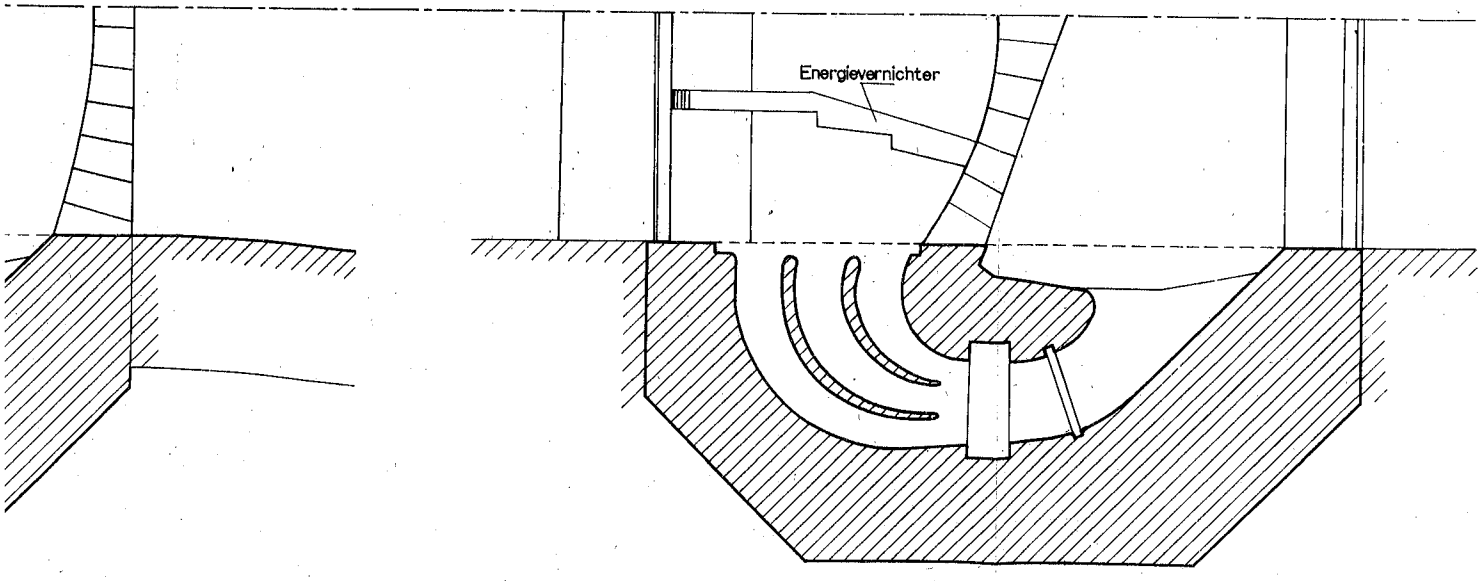
Nr. 11
Abb. 1+2

Schnitt in Schleusenachse

Abb.2
künftige Ausführung

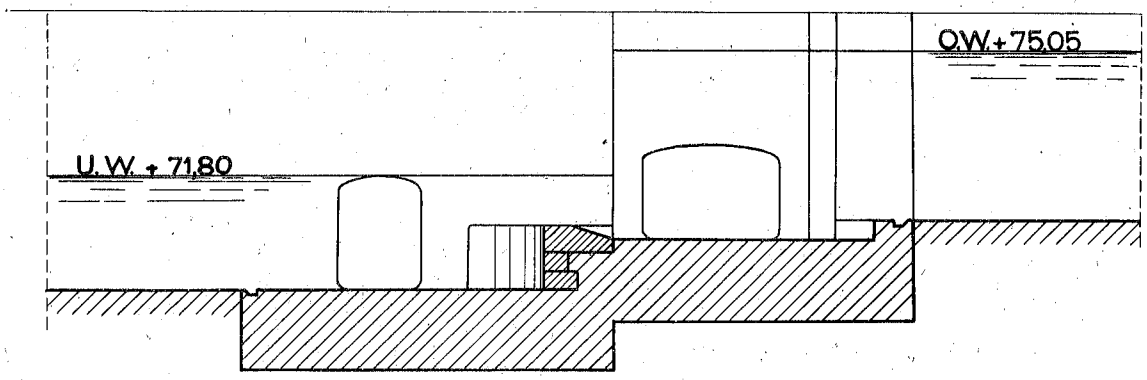


Grundriß

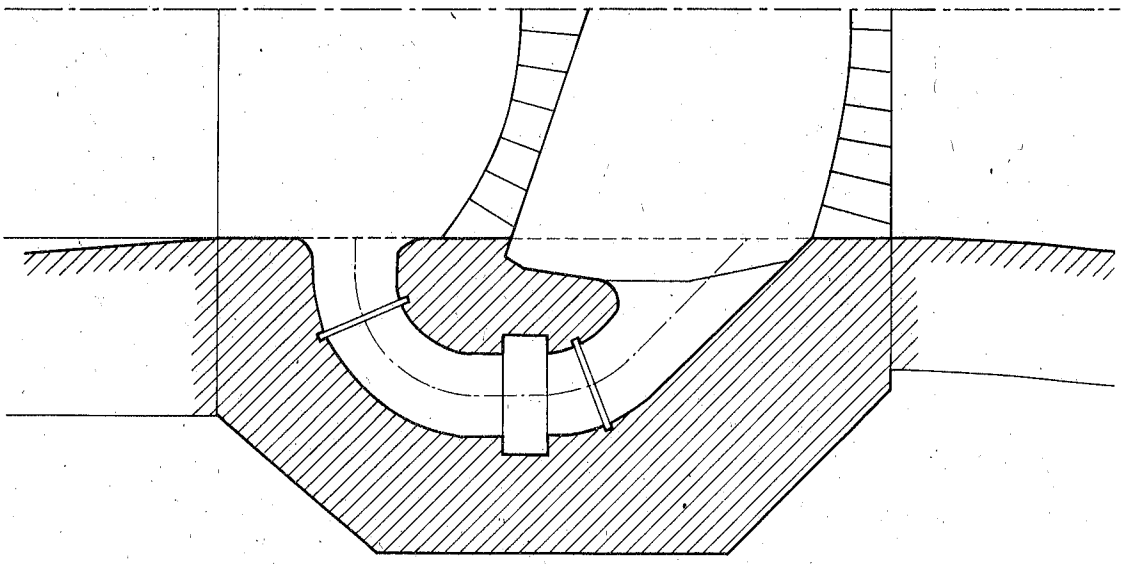


Schnitt in Sc

Abb.1
bisherige Ausführung



Grur



12

Neuere Schleusen-Tore und ihre Antriebsvorrichtungen nebst den Einrichtungen zum Füllen und Entleeren der Kammer bei Schleusen ohne Umläufe.

Von Otto Welt, Regierungsbaurat in Stuttgart.

Bei den umlauflosen Schleusen, die sich im allgemeinen in jahrzehntelangem Betrieb bewährt haben, geschieht die Füllung und Entleerung der Kammer unmittelbar durch die Tore. In der Hauptsache werden dabei, außer dort, wo besondere in der Örtlichkeit begründete Verhältnisse vorliegen, als Verschlußorgane Stemmtore verwendet und in diese Segmentschützen zum Füllen und Entleeren der Kammer eingebaut. Die Betätigung der Tore und der Schützen erfolgt in der Regel über einen gemeinsamen Antrieb.

Nach den bisherigen Erfahrungen mit diesem Tor- und Antriebsystem können Beschädigungen auftreten, wenn die Lager der Segmentschützen zu schwach und unzweckmäßig konstruiert sind und die Hubgestänge durch zusätzliche Kräfte, herrührend von eingeklemmten Tiefenschwimmern und dgl. überbeansprucht werden.

Als besonders nachteilig im Betrieb wurde bei Stemmtoren auch empfunden, daß die oft bewegten Segmentschützen mit ihren Dichtungen ständig unter Wasser und daher nur schwer zugänglich sind und daß das Einfahren der Stemmtore in die Nischen bei stärkerer Eisbildung mitunter Schwierigkeiten bereitet.

Es wurden daher in neuerer Zeit Verschlüsse entwickelt und zum Teil auch ausgeführt, bei denen diese Nachteile vermieden oder doch stark herabgemindert werden.

Im wesentlichen kommen dabei folgende Torkonstruktionen am Ober- bzw. Unterhaupt in Betracht:

1. das Hakenklapptor Bild 1
2. das Senktor „ 2 und 3
3. das geteilte Hubtor „ 4 und 5
4. das Stemmtor mit angehängtem Segment „ 6 bis 8

Den drei ersten Torarten ist gemeinsam, daß besondere in die Tore eingebaute Schützen wegfallen und die Füllung und Entleerung der Kammer unmittelbar durch Bewegen der Torverschlüsse erfolgt.

I.

Das als Oberhaupt-Tor vorgesehene, an der 110 m langen und 12 m breiten Schleuse der Staustufe Horkheim des kanalisierten Neckars bereits eingebaute Haken-Klapptor, Bild 1, hat die Form eines ungleichschenkligen Winkels, dessen unmittelbar am Winkel liegender Teil als Biegungs- und Verdrehungskörper ausgebildet ist und daher eine allseitig

geschlossene, mit entsprechenden Mannlöchern und Wasserablauflöchern versehene, gegen das Oberhaupt nach einem Kreisbogen gekrümmte Blechhaut besitzt. Über dem Zwischenlängsträger ist die Blechhaut nach der Unterwasserseite angeordnet. Der Wasserdruck wird in der Schließstellung an 4 Punkten auf das Mauerwerk übertragen, nämlich oben mit einem nächst dem oberen Saum gelegenen I-Träger beiderseits gegen die Nischenwand und unten durch den Biegungs- und Verdrehungskörper nach den beiden Drehgelenken. Im übrigen gibt die Blechhaut den Wasserdruck wie üblich auf Längs- und Querspanten ab. Während der Bewegung wird der Wasserdruck und das Antriebsmoment durch die Biegungs- und Verdrehungskörper allein nach den beiden Drehlagern bzw. der Antriebsstange übertragen. Die über den Verdrehungskörper hinausragenden Torteile wirken als Konsolen an demselben.

Die Führung des Tores erfolgt in 2 in Mauerwerksnischen untergebrachten Drehlagern, in welche 2 in den äußersten Spanten ruhende Stahlachsen eingreifen. Die Drehlager sind, um Verklemmungen und einseitige Abnutzungen der Lagerteile infolge der Tordurchbiegung zu vermeiden, als sogenannte Pendelrollenlager konstruiert und neuerdings zugleich als Laufrollen ausgebildet, damit das Tor bei ausgespiegelter Kammer ohne Einbau des Notverschlusses herausgehoben werden kann. In der Tiefstlage werden sie durch ein besonderes Gestänge festgelegt.

Die Nischentiefen sind außerordentlich klein und betragen 0,5 m am angetriebenen und 0,15 m am nicht angetriebenen Ende. Beide Schenkel des Hakens stehen in einem solchen Verhältnis zueinander, daß die Resultierende aus den vertikalen und horizontalen Wasserdrücken zusammen mit dem Eigengewicht nächst dem Drehpunkt verläuft. Wichtig ist hierbei insbesondere die Wasserauflast auf dem Zwischenlängsträger, die die Resultierende nach dem Drehpunkt zu ablenkt. Die Drehlager sind bei abgesenktem Wasserspiegel in der Kammer (U.W.Sp.) im Trockenen zugänglich.

Der Antrieb erfolgt einseitig. Über den ganzen Füllweg hinweg wird das Tor gedrückt. Gewählt ist ein Gelenkzahnstangenantrieb, der in einer Nische entlang der Mauerkrone untergebracht ist. Die Zahnstange hat seitliche Rollen, die sich auf einem besonderen eisernen Führungsgestänge bewegen, und wird durch ein Ritzel über eine unter der Schleusenplattform liegende Welle und mehrere Zahnradvorgelege, eine Schnecke und ein Differentialgetriebe von einem hochwasserfrei angeordneten Antrieb aus bewegt. Hierfür ist ein Motor von 4,7 PS für eine kleine Geschwindigkeit beim Fahren in die Füllstellung und ein Motor von 13,6 PS für das Umlegen des Tores mit einer größeren Geschwindigkeit vorgesehen. Rutschkupplungen ermöglichen ein Ausweichen des Tores bei Schiffsstößen; außerdem ist in der Antriebsstange noch eine Feder eingebaut. Der Antrieb wird durch Backenbremsen in Verbindung mit Endschaltern stillgesetzt.

Für die seitliche Dichtung des Torkörpers sind eiserne Winkel vorgesehen, die beweglich mit der Torkonstruktion verbunden sind und durch Druckfedern an die im Bereich der Füllbewegung angeordnete Armierung angedrückt werden.

Als Dichtung zwischen Tor und Drempel ist eine am Drempel festgemachte Gummidichtung eingeschaltet.

Die Bewegungen, die mit dem Tor bei einer Schleusung ausgeführt werden, sind folgende:

a) Zum Füllen der Kammer wird das Tor aus der Schließstellung gegen das Oberwasser zunächst um 30° mit gleichbleibender Geschwindigkeit in 370 Sek. gedreht. Zur Abkürzung des Ausspiegelns der Wasserstände

im Oberhafen und der Schleusenkammer kann das Tor mit geringem Überfall weiter bewegt werden.

Nach den bisherigen, allerdings kurzfristigen Erfahrungen an der Schleuse Horkheim ist es zur Erreichung eines stetigen Anwachsens der Füllwassermenge und damit einer Verkürzung der Füllzeit wichtig, den Drempelanschlag nicht winkelförmig sondern so auszubilden, daß vom Öffnen des Tores ab der Füllspalt sich stetig vergrößert. Bei mittleren Gefällen ist dann in der 30°-Stellung gleichzeitig auch die Kammer gefüllt und ein Anhalten des Tores nicht erforderlich; damit können 1,5 bis 2,0 Minuten an Füllzeit eingespart werden. Der beim Öffnen des Tores frei werdende Spalt ist zuerst klein, was für die Energievernichtung sehr günstig ist, und wächst erst allmählich auf ca. 0,65 m an. Die durchschnittliche Öffnungsgeschwindigkeit beträgt 1,8 mm/sek.

b) Nachdem die Kammer gefüllt ist, wird das Tor ohne anzuhalten in 60 Sekunden bis in die tiefste Lage gedreht.

c) Die Aufstellung in die Schließlage erfordert 90 Sekunden.

d) Die bei der Füllung der Schleusenkammer entstehende Energie wird in dem Raum unmittelbar unterhalb dem Tor verrichtet.

Die Gesamtzeit für das Bewegen des Tores in die Füllstellung und das Umlegen beträgt 430 Sekunden und einschließlich Wiederaufrichten in die Schließstellung 520 Sekunden. Das Umlegen und Wiederanheben des Tores bei der Inbetriebnahme geschah ohne Beanstandungen und entsprach den rechnungsmäßigen und konstruktiven Voraussetzungen. Abgesehen von kleineren Undichtheiten, die aber bald behoben waren, zeigten sich keinerlei Mängel. Durch den winkelförmigen Anschlag am Drempel verzögert sich anfänglich der Füllvorgang merklich. Hierdurch und durch die beim Freigeben des Füllquerschnitts auftretenden Unstetigkeiten wird, wie deutlich beobachtet werden konnte, die Energievernichtung und die Schwallwirkung in der Kammer wesentlich ungünstiger als bei den seither am Neckar üblichen Energievernichtungseinrichtungen. Dies wird sich durch andere Ausbildung des Drempelanschlags verbessern lassen. Wie sich das Umlegen des Tores nach dem Oberwasser zu auswirken wird, bleibt abzuwarten.

Ein abschließendes Urteil über die betriebliche Bewährung dieses an sich einfachen Tores kann erst nach mehrjähriger Betriebszeit abgegeben werden.

II.

Das ebenfalls nur als Oberhaupt-Verschluß in Frage kommende Senktor, Bild 2 und 3, ist ein Rollschütz, dessen Stauwand auf Oberwasserseite liegt, in der unteren Hälfte halbkreisförmig gegen das Unterwasser ausgebuchtet ist und so zugleich als Füllkanal dient. In der Schließstellung ragt die Stauwand konsolartig um die Absenktiefe über den Oberwasserspiegel hinaus. Im übrigen wird der Wasserdruck von der Stauwand wie üblich über vertikale vollwandige Spanten auf 2 Horizontalträger und von diesen auf die in den beiderseitigen Nischen angeordneten Laufrollen übertragen. Federnde Gegenführungen nach dem Oberwasser sind vorgesehen. Der ganze Verschluß ist beiderseitig an Ketten aufgehängt und durch Gegengewichte in Schächten ausgelastet. Er wird zweiseitig angetrieben; elektrischer Gleichlauf ist notwendig.

In der Schließstellung erfolgt die Dichtung am Drempel durch einen am Tor beweglich angehängten, horizontal verschiebbaren steifen Träger, dessen Dichtungsholz mittels eines Gestänges vom Unterwasser an den Drempel angedrückt werden kann. Zwischen Dichtungsträger und Senk-

schütz ist eine besonders nachgiebig ausgebildete Gummidichtung vorgesehen. Die gegen Oberwasser erforderliche Dichtung zwischen Tor und Mauerwerk in den Nischen liegt in derselben Ebene wie die Drempeldichtung und ist gleichfalls mittels Federn mechanisch andrückbar. Die Bewegungen, die mit dem Tor bei einer Schleusung durchgeführt werden, sind folgende:

a) Zum Füllen der Kammer wird das Tor aus der Schließstellung mit gleichbleibender Geschwindigkeit soweit abgelassen, daß sich ein halbkreisförmig gekrümmter Füllkanal mit konstantem Durchflußquerschnitt bildet.
b) Nach der Ausspiegelung des Kammerwasserspiegels wird das Tor mit größerer Geschwindigkeit vollends abgesenkt.
c) Zurück in die Schließstellung wird es mit der gleichen Geschwindigkeit durch Anheben gebracht.

Um eine ausreichende Energievernichtung beim Füllen der Kammer zu erzielen, muß der Drempelkanal halbkreisförmig unterschnitten werden, damit der Füllstrahl nach der eigentlichen Bremswand umgelenkt wird.

III.

Größere Ausbesserungen an den ständig unter Wasser liegenden Teilen der Schleusentore können nur durch Trockenlegen der Verschlüsse und durch Leerpumpen der Kammer vorgenommen werden, was jeweils, sofern nur eine Schleuse vorhanden ist, lästige und meist höchst unwillkommene Schiffahrtssperren zur Folge hat, deren Kürzung nur durch Bereithaltung von Ersatztoren, die für mehrere Schleusen verwendet werden können, möglich ist. Die Beschaffung derartiger Tore ist allerdings teuer und ihr jeweiliger Einbau kostspielig, weil hierfür auch Spezialgeräte erforderlich sind.

Diese beachtlichen Mängel werden vermieden bei der sehr interessanten Bauart des zweiteiligen Hubtores, das sich besonders als Verschlußorgan im Unterhaupt von Schleusen mit größerem Gefälle eignet.

Ein besonderer Vorzug solcher Tore ist, daß die Führungs- und Antriebsaufbauten auf der Schleusenmauer verhältnismäßig niedrig werden und bei gleichzeitiger Anordnung eines Wehres neben der Schleuse nicht über die normalen Windwerksaufbauten der Wehrverschlüsse hinausragen.

Das zweiteilige Schleusenhubtor (Bild 4 und 5) besteht aus einem Oberschütz und einem Unterschütz; dabei wird die Höhe des letzteren so gewählt, daß die Längsdichtung zwischen Ober- und Unterschütz sich über dem höchst schiffbaren Wasserstand befindet und daher leicht überwacht werden kann.

Beim Entleeren der Kammer wird das Unterschütz zunächst um etwa 70 cm angehoben; das Wasser strömt sodann aus der Kammer unter dem Unterschütz zunächst über den festen Stoßbalken in die Energievernichtungskammer und von da in beruhigter Form in den Schleusenunterhafen.

Bei einem solchen, der Höhe nach zweiteiligen Schleusentor stützt sich das Oberschütz mittels Laufrollen, die sich an den einzelnen Spanten befinden, in seinem unteren Teil gegen das Unterschütz. Die Stautafel ist mit dem Horizontalträger verbunden, der mit je einer Laufrolle in der Schütznische gelagert ist. Die vollkommen ebene Stauwand ist durch Vertikalspanten und Horizontalriegel ausgesteift. Dichtungselemente sind an dem Oberschütz nicht vorhanden.

Das Unterschütz wird zum Schutz vor Ablagerung von Geschwemmsel, Eis u. dgl. bei unterwasserseitig offenem Körper als sogenanntes Vollwandschütz so ausgebildet, daß die oberwasserseitige Stauwand an der

unterwasserseitigen Stautafel des Oberschützes vorbeigleitet. Für die einwandfreie und sichere Dichtung sind besondere Vorkehrungen getroffen. Die Dichtung zwischen Ober- und Unterschütz, gegen das Unterwasser befindet sich nur am Unterschütz, die Vertikaldichtungen befinden sich an den sogenannten Vertikaldichtungsträgern in den beiden Nischen, die an beiden Seiten des Unterschützes angeordnet sind und bis zum Oberwasserspiegel bei gefüllter Kammer heraufreichen. Dabei arbeitet die Dichtung zwischen Unter- und Oberschütz vollkommen für sich und unabhängig von der übrigen Dichtung des ganzen Schützes gegen das Mauerwerk. Beide Dichtungen sind völlig gleichartig ausgebildet und bestehen aus einem 8 mm starkem Stehblech, das drehbar am Dichtungsträger bzw. bei der Längsdichtung an der Oberkante des Unterschützes gelagert ist.

An der einen Seite ist an diesem Dichtungsblech die sogenannte Feindichtung aus einem kräftig eingespannten Gummiwulst angeordnet, der durch den Wasserdruck gegen das Oberschütz gepreßt wird. Da in diesem Falle erfahrungsgemäß der Wasserdruck allein für die vollständige Dichtung nicht genügt, sind am anderen Ende des Dichtungsblechs in kleinen Abständen kräftige Spannfedern vorgesehen, die ein örtliches Nachstellen der Dichtung ermöglichen. Da der U-förmig angeordnete Dichtungsrahmen zwischen Ober- und Unterschütz sich über dem Bereich des höchsten schiffbaren Unterwassers befindet, können während des Schleusenbetriebs die Dichtungen überprüft und Leckstellen durch Anspannen der Nachstellvorrichtungen beseitigt werden. Zur Entlastung der Längsdichtung ist diese nur für die Bewegung des Unterschützes beim Füllvorgang wirksam. Beim weiteren Anheben tritt sie durch Zurücksetzen der Stauwand des Oberschützes außer Tätigkeit.

Die Dichtung des Unterschützes gegen das Unterwasser ist im Prinzip im vertikalen Teil ähnlich ausgebildet, ihre Nachstellbarkeit ist gewährleistet. Sie verläuft ebenfalls U-förmig und vertikal bis zur Schützsohle und geht hier in der gleichen Dichtungsebene in die Sohlendichtung über, die durch das Eigengewicht des Schützes auf die Schwelle angedrückt wird. Einer etwaigen Vereisung der Längs- und Seitendichtungen kann durch elektrische Beheizungsvorrichtungen entgegengewirkt werden.

Das mit elektrischem Gleichlauf und den sonstigen üblichen Einrichtungen versehene Windwerk ist neben dem Hubtor derart tiefliegend angenommen, daß beim Hochfahren das gesamte Schützpaket sich in höchster Lage neben dem Windwerk befindet, wobei die beiden seitlichen Dichtungsrahmen über das Antriebshaus herausragen. Lediglich das Unterschütz wird durch das Windwerk mittels Hubketten, die sich selbsttätig am Windwerk aufhängen, unmittelbar bewegt. Beim Hochfahren hebt das Unterschütz das Oberschütz bis zur Endstellung an. Beim Absenken wird zunächst ebenfalls das gesamte Schützpaket bewegt. Das Oberschütz setzt sich nach Erreichen seiner Tiefstlage auf einen Vorsprung in der Schütznische ab, das Unterschütz fährt weiter bis zur Endlage. Nur das Oberschütz ist durch Gegengewichte nahezu ausgewuchtet, während das Unterschütz zur Erzielung eines sicheren Sohlendrucks kein Gegengewicht erhält.

IV.

Das sowohl am Ober- wie am Unterhaupt verwendbare Stemmtor mit angehängten Segmenten, Bild 6 bis 8, ist dadurch gekennzeichnet, daß die im Tor eingebauten Füll- und Entleerungsschützen unmittelbar auf dem Drempelboden aufsitzen und somit ein besonderer durchgehender Drempelanschlag entfällt. Die Eisenkonstruktion der Stemmtor-

flügel besteht wie üblich aus vertikalen Spanten und horizontalen Riegeln mit nach dem Oberwasser gelegener Blechhaut. Der unterste Stemmriegel liegt etwa 1,80 m über dem Drempelboden. Die Schlag- und Wendesäulen der Torflügel reichen unter diesen Stemmriegel herab und tragen die Gelenkbolzen für das Segment, welches somit die ganze lichte Breite von ca. 5,70 m zwischen Schlag- und Wendesäule einnimmt. Die Spurlager liegen auf der Höhe der untersten Stemmriegel frei von Verschlammungsgefahr. Gegenüber den seitherigen Ausführungen erfährt die Konstruktion des Segmentschützes samt Antrieb wesentliche Verbesserungen. Der Querschnitt des Segmentschützes muß infolge der wesentlich größeren Lichtweite entsprechend stärker ausgebildet werden. Seine Höhe und Breite wird größer, als wenn wie bisher im Torflügel 2 (oder 3) Segmente eingebaut sind. Der seither übliche Segmentquerschnitt mit unterwasserseitigem Drehpunkt kann nicht mehr ausgeführt werden. Drehpunkt und Blechhaut des Segments müssen auf der Oberwasserseite und das Antriebsgestänge auf der Unterwasserseite angeordnet werden. Die Blechhaut ist so geformt, daß sie in der Höchstlage einen stetigen, nach der Energievernichtungsschwelle gerichteten Durchflußquerschnitt freigibt. Der Wasserdruck erzeugt in der Schließstellung der Segmente bei gefüllter Schleuse zusammen mit dem Eigengewicht einen ausreichenden Schließdruck. Statisch wird der Wasserdruck auf das Segmentschütz über die gut aussteifende Blechhaut auf vertikale und horizontale Spanten und von da auf die beiden Dreharme und die Drehgelenke übertragen. Die Drehgelenke geben ihre Kräfte an die konsolenartige Verlängerung der Wende- und Schlagsäulen ab, welche auf diese Länge als allseitig geschlossene Kastenquerschnitte ausgebildet und somit außerordentlich steif sind. Eine weitere horizontale Versteifung gibt die gekrümmte am unteren Stemmriegel für die Scheiteldichtung der Segmentschützen angeordnete Führungswand. Um Überbeanspruchungen infolge eingeklemmter Geschwemmsel u. dgl. zu vermeiden, ist das Dichtungsholz an der Schlagsäule vom unteren Stemmriegel ab durch einen Blockgummi ersetzt. Bei etwaigen Geschwemmseleinklemmungen, die aber, wie nach 10jähriger Betriebszeit des Neckarkanals auf der Strecke Mannheim — Heilbronn an einem Untertor festgestellt werden konnte, in dieser Tiefe kaum vorkommen, kann der Gummi örtlich nachgeben.

Der Antrieb der Segmente erfolgt zweiseitig durch unterwasserseitig angeordnete Hängestangen, die oben als Triebstock ausgebildet sind. Da die Segmente beim Schließen der Tore zunächst in geöffnetem Zustand bleiben müssen und erst in der Schließstellung der Tore abgelassen werden können, ist getrennter Tor- und Schützantrieb erforderlich. Normalerweise wird der Antriebsmotor der Segmente auf dem Tor untergebracht, während der Torantrieb wie üblich auf der Schleusenplattform hochwasserfrei gelagert wird. Wo die Schleuse bei Hochwasser überflutet wird, muß auch der Antriebsmotor der Segmente auf der Schleusenplattform hochwasserfrei untergebracht werden. In diesem Fall wird die Antriebskraft vom Motor über eine Kreuzgelenkkuppelung am Tordrehpunkt nach dem Vorgelege für die Hubgestänge weitergeleitet. Durch Verwendung von polumschaltbaren Motoren können zweierlei Geschwindigkeiten für das Heben und Senken der Segmente erzielt werden.

Die Abdichtung der Segmente gegen den Torflügel (oben und seitlich) erfolgt durch gewöhnliche Federbleche mit Gummileisten; unten dichtet das Segment mit einem Sohlenbalken direkt gegen eine I-Verkleidung in der Kammersohle. Der Dichtungsbalken reicht bis an das untere Ende der Wendesäule, ist hier abgeschrägt und nach dem Segment zu verbreitert.

Der am Segment befestigte Sohlenbalken legt sich mit seinem durch eine Gummiplatte elastisch ausgebildeten Ende gegen den verbreiterten Dichtungsbalken der Wendesäule und dichtet gleichzeitig gegen eine Abschrägung der Kammerwand. Die hölzernen Schlagsäulen dichten bis zum untersten Stemmriegel. Alsdann folgt, wie bereits erwähnt, bis an das untere Ende der Schlagsäule eine Blockgummidichtung. Die Dichtung zwischen Segmentsohlenbalken und Schlagsäule ist wie an der Wendesäule vorgesehen.

Um die Tore in der Endstellung festlegen zu können, ist in der Mitte der Kammersohle ein unregelmäßig abgestumpfter 5seitiger Anschlag aus Stahlguß vorgesehen, gegen welchen einerseits die Dichtung der Schlagsäule, andererseits der Sohlenbalken des Segments anliegt.

Durch Anordnung der seitlichen Federblechdichtung sowie der elastischen Einlagen an den Stirnseiten der Sohlenbalken sind die Segmente in die Tore so eingebaut, daß eine Zusammendrückung des untersten Stemmriegels infolge des Wasserdrucks keine Verklemmungen bei der Segmentbewegung hervorrufen kann. Die an sich geringe Durchbiegung der Segmentschütze wirkt sich durch die elastischen Segmentarme nicht schädlich auf die Segmentlager aus, doch ist auf eine sorgfältige, kräftige, schmierbare und wasserdichte Ausbildung derselben und auf eine einwandfreie Überleitung der Lagerkräfte in die Eisenkonstruktion besonderer Wert zu legen.

Beim Entleeren der Kammer werden zunächst die Segmente mit der gleichbleibenden Geschwindigkeit von 5 mm/sek. in 160 Sekunden angehoben und in der Höchststellung bis zum vollständigen Entleeren der Schleuse gehalten. Alsdann werden die Tore in 90 Sekunden geöffnet und bei offenen Füllsegmenten gleichfalls in 90 Sekunden geschlossen, worauf letztere in 75 Sekunden, d. i. mit einer Geschwindigkeit von ca. 11 mm/sek., herabgelassen werden können.

Bei den Toren nach Abschnitt II bis IV handelt es sich zunächst um Vorschläge, die wohl eingehend untersucht und durchkonstruiert wurden, von denen aber bis jetzt noch keine Ausführung bekannt geworden ist. Betriebliche Erfahrungen liegen daher noch nicht vor.

Abb. 1

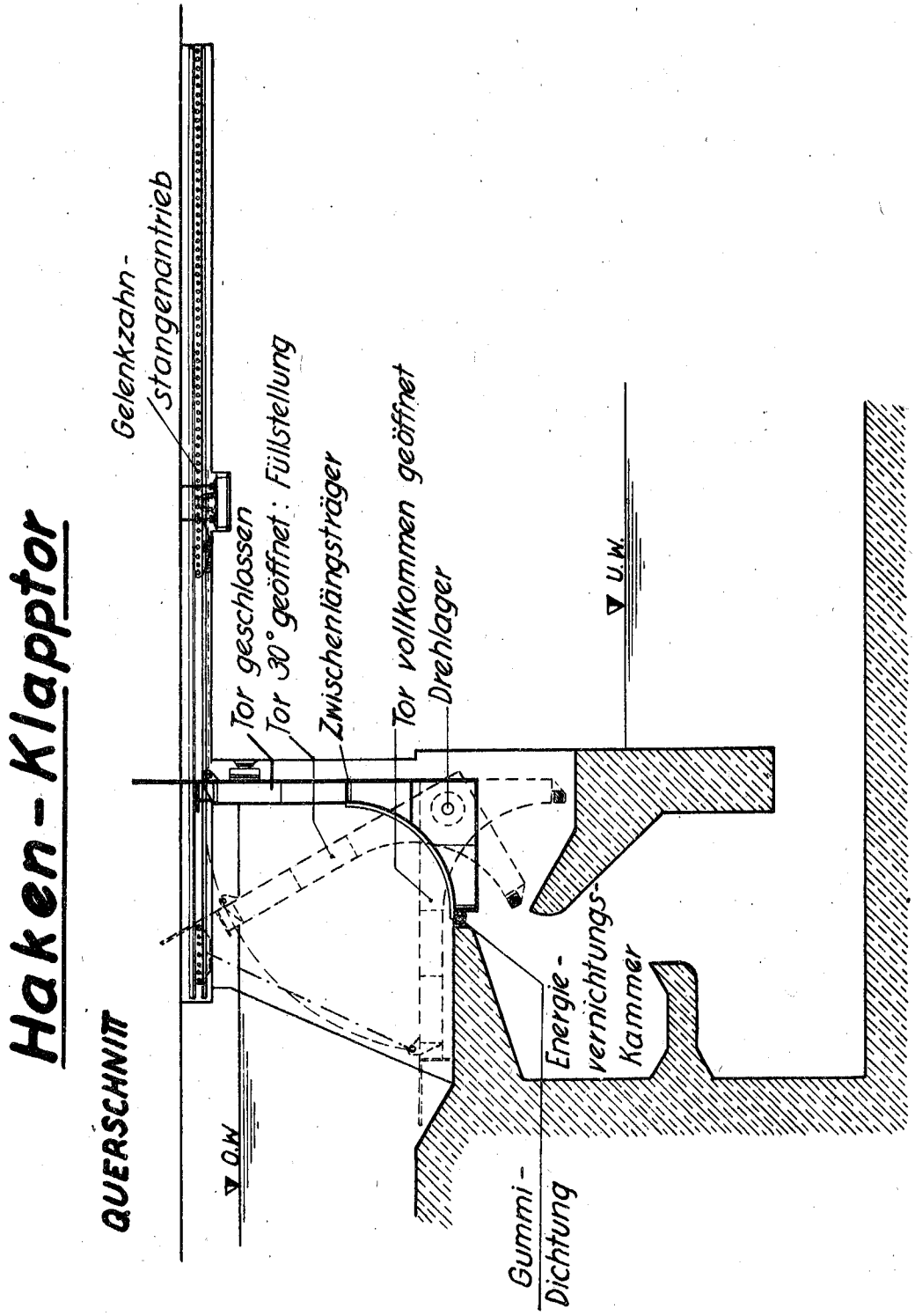
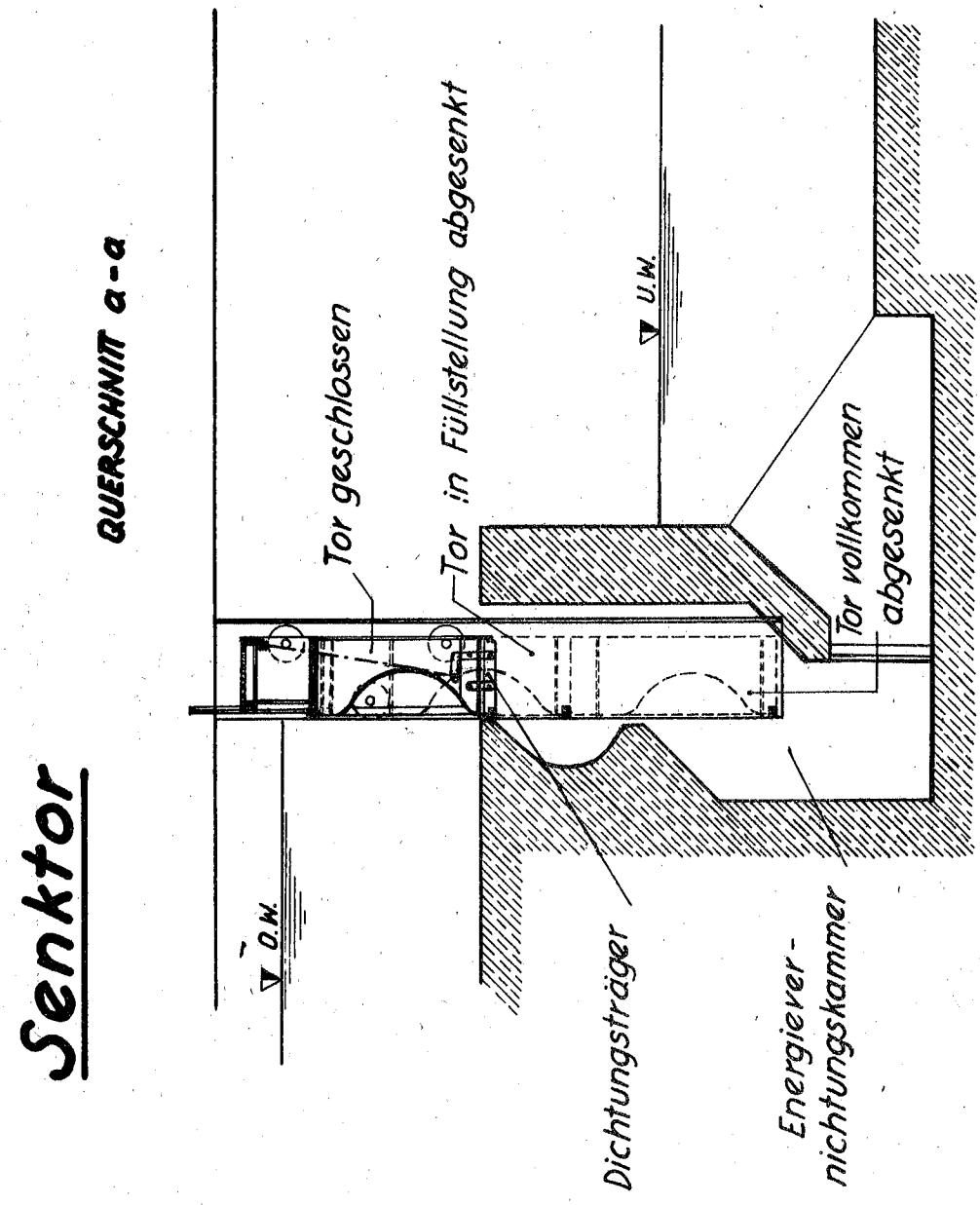

Haken-Klapptor
QUERSCHNITT
Gelenkzahn-
stangenantrieb
Tor geschlossen
Tor 30° geöffnet: Füllstellung
Zwischenlängsträger
Tor vollkommen geöffnet
Drehlager
U.W.
O.W.
Energie-
vernichtungs-
Kammer
Gummi-
Dichtung

Abb. 2


Senktor
QUERSCHNITT a-a
O.W.
Tor geschlossen
Tor in Füllstellung abgesenkt
U.W.
Tor vollkommen abgesenkt
Dichtungsträger
Energievernichtungskammer

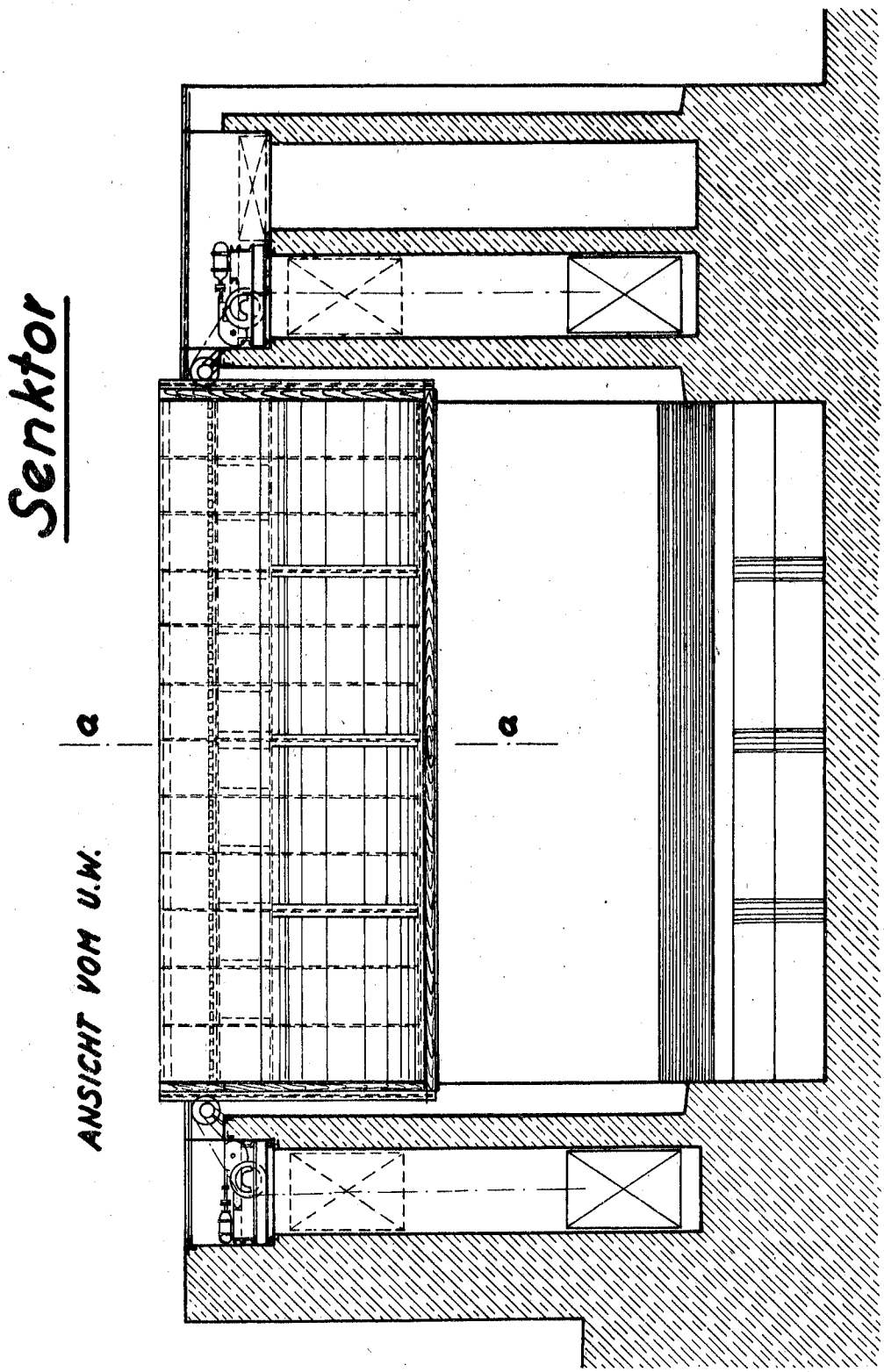
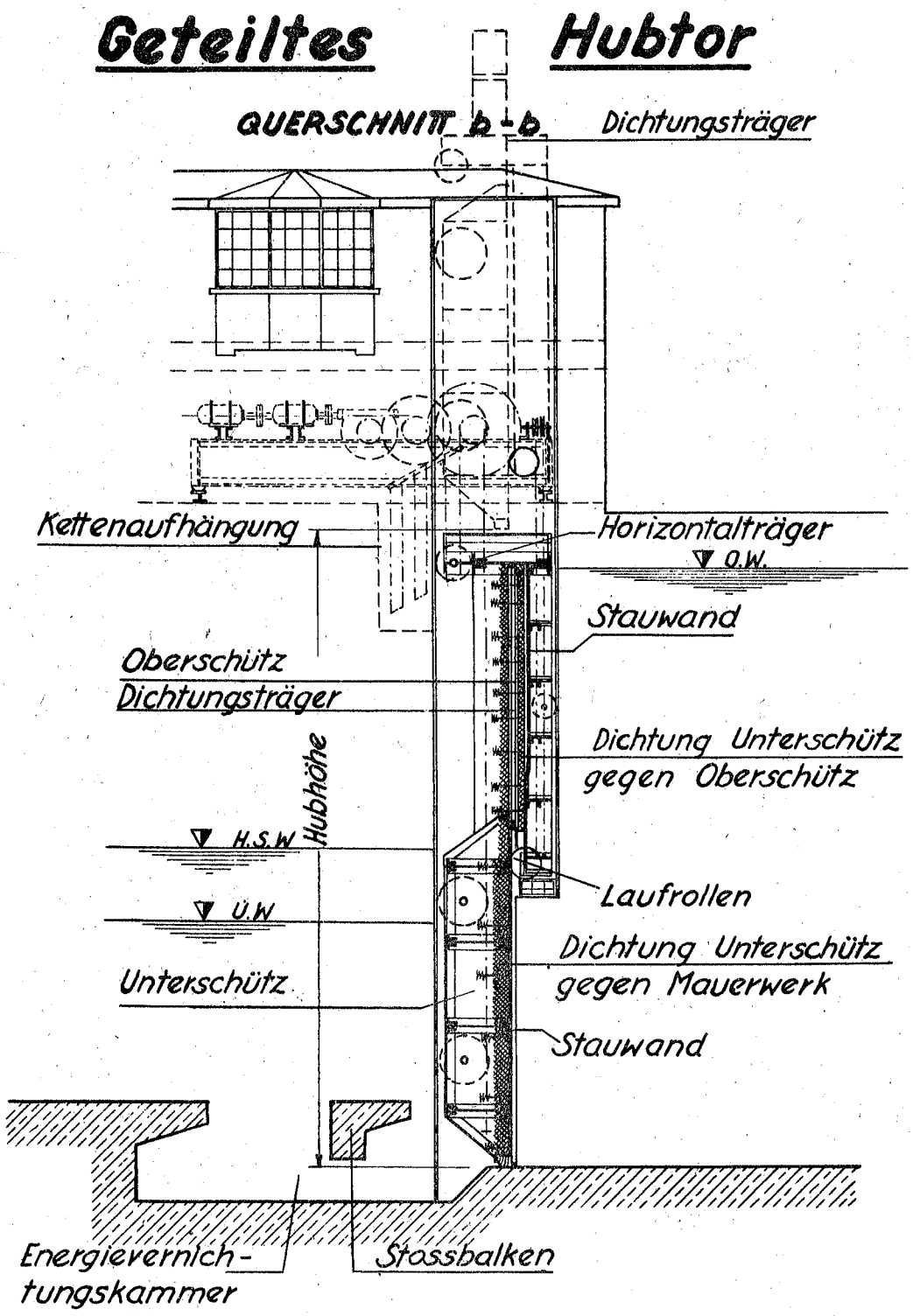

Senktor
a
a
ANSICHT VOM U.W.

Abb. 4


Geteiltes Hubtor
QUERSCHNITT b - b
Dichtungsträger
Kettenaufhängung
Horizontalträger
O.W.
Stauwand
Oberschütz
Dichtungsträger
Hubhöhe
Dichtung Unterschütz
gegen Oberschütz
H.S.W
U.W
Laufrollen
Dichtung Unterschütz
gegen Mauerwerk
Unterschütz
Stauwand
Energievernich-
tungskammer
Stossbalken

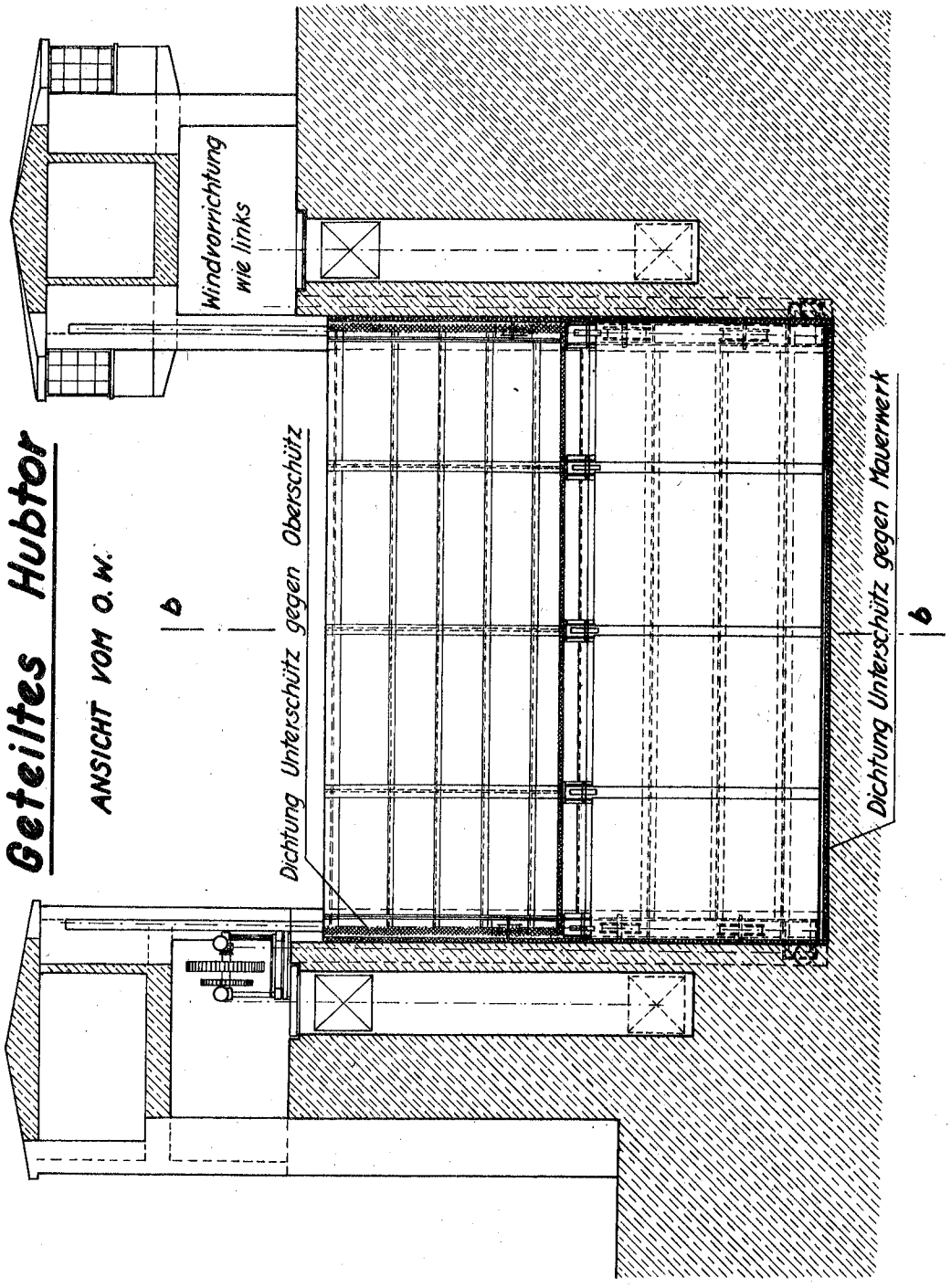
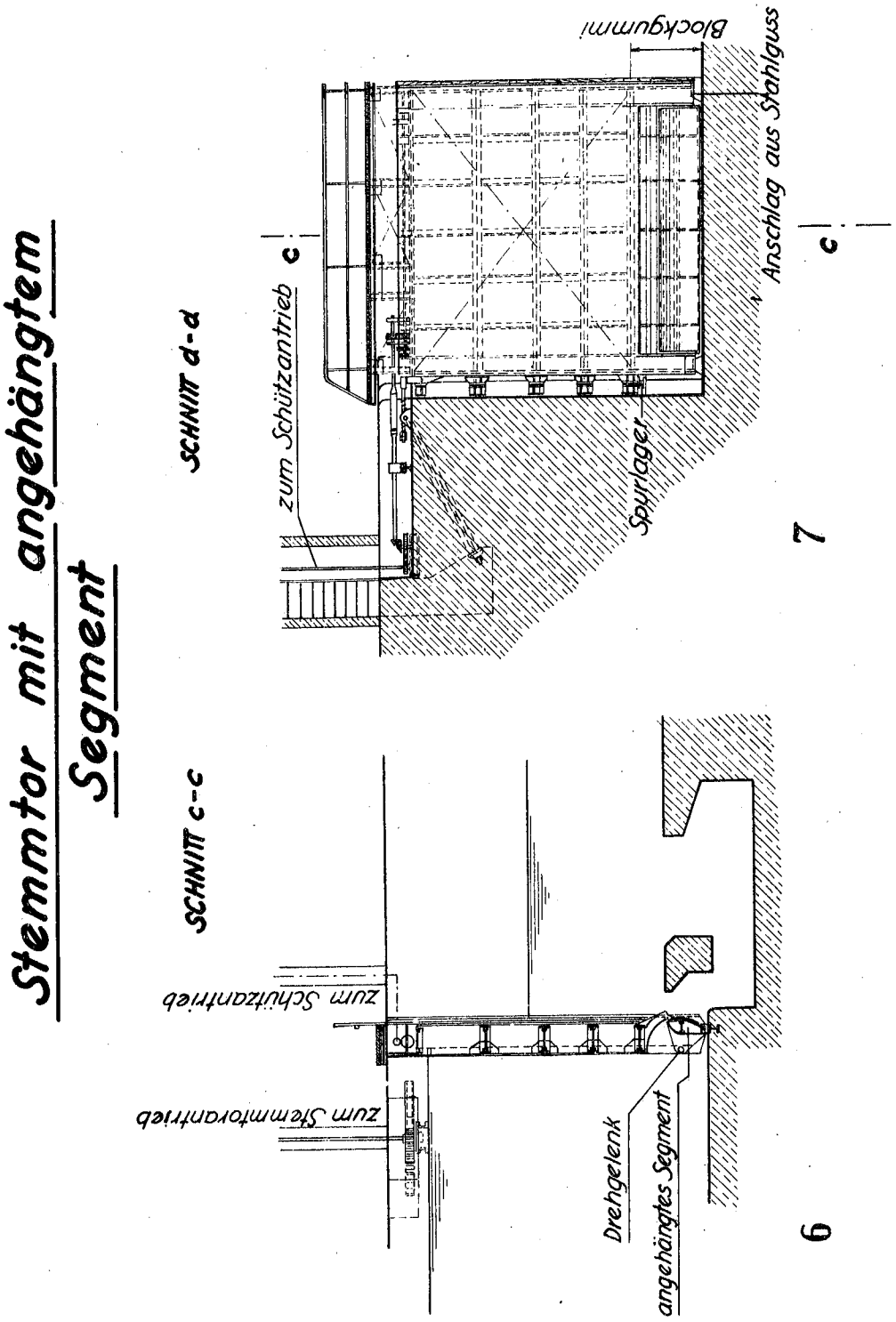
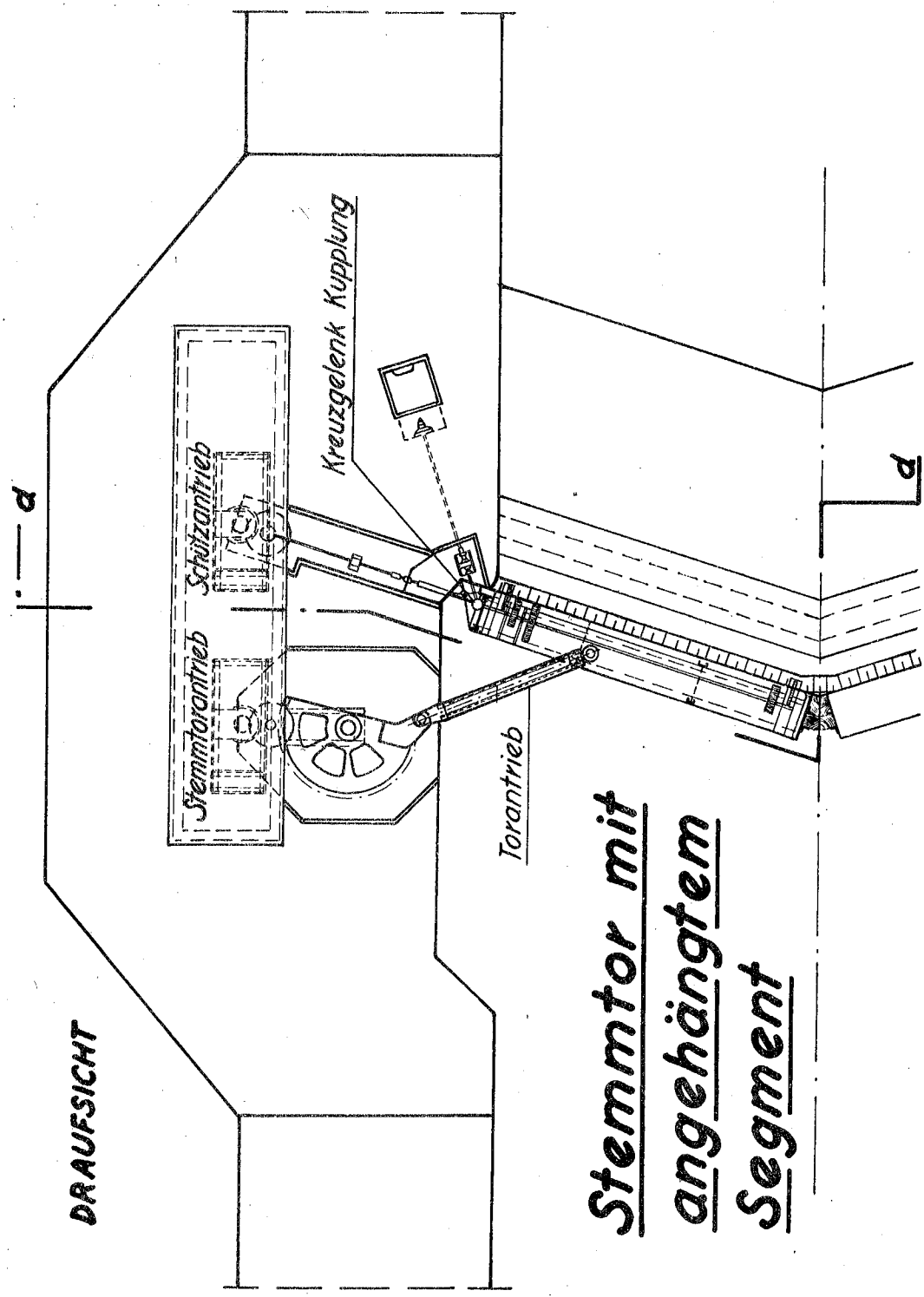

Geteiltes Hubtor
ANSICHT VOM O.W.
Windvorrichtung wie links
Dichtung Unterschütz gegen Oberschütz
Dichtung Unterschütz gegen Mauerwerk
b
b

Abb. 6 + 7


Stemmtor mit angehängtem Segment
SCHNITT c-c
zum Schützantrieb
zum Stemmtorantrieb
Drehgelenk
angehängtes Segment
6
SCHNITT d-d
zum Schützantrieb
Blockgummi
Anschlag aus Stahlguss
Spurlager
7



Stemmtor mit angehängtem Segment

13

Die Entwicklung der Querschnitte von Binnenschiffahrtskanälen in Deutschland

Von Walther Reinhardt, Ministerialrat in Offenbach a. M.

I. Einfluß des Schiffahrtsbetriebes auf die Entwicklung der Kanalquerschnitte

Im deutschen Binnenschiffahrtskanalnetz sind 2 Gruppen zu unterscheiden: Kanäle, die für vom Ufer aus gezogene Schiffe entstanden sind und solche, auf denen von vornherein Schlepperzug vorgesehen war. Zur ersten Gruppe gehören die größtenteils etwa ab Mitte des 18. Jahrhunderts bis zum Aufkommen der Eisenbahnen gebauten Kanäle, so z. B. das Netz der Märkischen Wasserstraßen zwischen Spree, Havel und Oder mit Anschluß an Elbe und über die Warthe und Netze an die Weichsel. Zur zweiten Gruppe gehören die ausgangs des 18., im wesentlichen aber im 19. Jahrhundert erbauten Kanäle, vor allem des nordwestdeutschen Kanalnetzes, und die im Bau geplanten. Die erste Gruppe ersetzt vielfach kleinere Flüsse, die nicht mehr den Verkehrsanforderungen bescheidener Art entsprachen und benutzt sie in kanalisierter Form vielfach streckenweise; in die zweite Gruppe gehören die Verbindungskanäle an sich leistungsfähiger natürlicher Schiffahrtsstraßen. Sie besteht vorwiegend aus reinen Kanälen. Ausnahmen gibt es dabei auch, so benutzt z. B. das älteste Glied dieser Gruppe, der jetzt gerade 50 Jahre alte Dortmund-Ems-Kanal in seinem nördlichen Teil streckenweise die untere Ems.

Die z. Zt. des Entstehens der Kanäle auf den natürlichen Wasserstraßen vorhandenen Schiffahrtsmöglichkeiten und vorherrschenden Schiffsgrößen haben neben den technischen, wirtschaftlichen und finanziellen Möglichkeiten u. a. die Abmessungen der Kanäle mit bestimmt. Wesentlich war die schon gestreifte Frage, welche Fortbewegungsmittel zur Verfügung standen und welche Reisegeschwindigkeit wirtschaftlich dabei erreicht werden konnte. Erst als der Schraubenschlepper zur Regel wurde und sich immer mehr vervollkommnete, konnte die Neuanlage von Kanälen trotz der Entwicklung der Eisenbahnen wieder in Betracht gezogen werden, denn mit ihm erhöhte sich die Reisegeschwindigkeit und die Transportweite und man konnte größere, den Verkehr verbilligende Fahrzeuge verwenden, die sich auf den natürlichen Wasserstraßen infolge deren Verbesserung durch die dort angewandte Ausbauweise schon vorher durchgesetzt hatten.

So entstanden die Großschiffahrtskanäle im Gegensatz zu den älteren, der Kleinschiffahrt dienenden.

II. Form und Größe der Kanalquerschnitte, Regelschiffstypen.

Tiefe und Breite des wassergefüllten Teiles des Kanalquerschnittes müssen sich nach dem Querschnitt des für den betreffenden Kanal vorgesehenen, voll beladenen Regelfahrzeuges und nach der Fahrgeschwindigkeit bei Begegnungen und Überholungen und dem dabei einzuhaltenden Sicher-

heitsabstand vom Ufer und zwischen den sich begegnenden Kähnen richten. Für das der Fahrtrichtung entgegengesetzte Rückströmen des verdrängten Wassers muß auch bei Begegnungen genügend Wasserquerschnitt vorhanden sein, damit nicht unzulässig hohe Fahrwiderstände und die Schiffahrt und den Kanalquerschnitt gefährdende Längs- und Querströmungen entstehen.

Bei den Kleinschiffahrtskanälen traten in dieser Hinsicht Schwierigkeiten kaum auf. Die geringe Fahrgeschwindigkeit wirkte sich in jeder Weise günstig aus. Die Abstände zwischen zwei Schiffen und zwischen Schiff und Ufer konnten klein gehalten werden. 0,20 m Wasserspielraum unter den Fahrzeugen genügte. Die Fahrzeuge senkten sich beim Fahren nur unmerklich ein. Infolgedessen war der in der Herstellung einfache Trapezquerschnitt mit waagerechter Sohle und steiler, meist in einer Neigung vom Wasserspiegel bis zur Sohle durchlaufender Böschung, etwa 1 : 1,5 bis 1 : 2, die Regel, mit Tiefen, die etwa von 1,60 m (Finowkanal) bis 2 m gingen. Der durch Wind verursachte Wellenschlag war den Ufern gefährlicher als die vom Verkehr herrührenden Wasserströmungen. Daher konnte die Uferbefestigung einfach und billig hergestellt werden. Nach diesen Gesichtspunkten sind auch noch die ersten in die Gruppe der Großschiffahrtsstraßen gehörenden Kanäle gebaut worden, so der Dortmund-Ems-Kanal mit 30 m Spiegel- und 18 m Sohlenbreite, 2,50 m Tiefe, Böschung 1 : 2 von 2,50 m bis 1,00 m Tiefe unter Wasser und anschließend Böschungen 1 : 3 bis 1 m über Wasser, also ausbauchenden Ufern. Die Wasserfläche betrug F = 58,5 qm. Bei 2 m Begegnungszwischenraum war für das vollbeladene, 1,75 m tieftauchende Dortmund-Ems-Kanal-Schiff von 8,0 m Breite und 600 t Tragfähigkeit der Abstand der Kimm von den Böschungen 1,50 m. Für das 2 m tieftauchende 770-t-Schiff blieb bei gleicher Zwischenraumbreite nur noch 0,80 m für den Kimmabstand übrig. Das Querschnitts-Verhältnis $n = \frac{F}{f}$ betrug $\frac{58,5}{14,0} = 4,2$, für das 770-t-Schiff sogar nur $\frac{58\,5}{16,4} = 3,6$.

Auch die nur 1 Jahr jüngere Verbindung zwischen Elbe und Trave, jetzt als Elbe-Lübeck-Kanal bezeichnet, hat trapezförmigen Querschnitt mit 32 m Spiegelbreite, Böschung 1 : 2 und waagerechter Sohle, aber nur 2,0 m Tiefe. Hier kamen zunächst nur die im allgemeinen flacheren Schiffe der Elbe und der Berliner Wasserstraßen in Frage.

Beobachtungen am Dortmund-Ems-Kanal und an den in zunehmendem Maße ebenfalls von Schraubenschleppern befahrenen Kleinschiffahrtskanälen ergaben bald, daß der Trapezquerschnitt im Verkehr sich zu einem Muldenquerschnitt umwandelte durch Vertiefung der Kanalmitte infolge der Schraubeneinwirkung und Ablagerung des dabei gelösten Bodens in den von den Böschungen und der Sohle gebildeten Ecken. Die Breite des Wasserquerschnittes wurde dadurch in der Tiefe der Kimm verringert. Durch Wellen- und Strömungsangriffe entstanden an den zu steilen Böschungen vielerorts Uferabbrüche. Deshalb ging man bei den nun folgenden Kanalbauten dazu über, den Muldenquerschnitt schon beim Bau herzustellen. Die Verwendung von Eimerkettenbaggern beim Aushub begünstigte dies. Die Mulde setzte trotzdem zunächst vielfach noch mit der Neigung 1 : 2 oder 1 : 2,5 in Wasserspiegelhöhe an. Die Tiefe in der Kanalachse wurde auf 3,0 m vergrößert für Kanäle mit der zulässigen Tauchtiefe von 2,0 m. Diesen Tiefgang hatte der Breslauer Maßkahn mit 55.0 × 8,0 m und 620 t Ladefähigkeit, der Dortmund-Ems-Kanal-Kahn mit 67,0 × 8,2 m und 770 t Ladefähigkeit und der Symphersche 1000-t-Kanalkahn mit 80,0 × 9,0 m. Da auf dem Rhein bei guten Wasserständen auch noch mit größeren Tiefgängen

lohnend gefahren werden kann, wurde für die als Zubringerkanäle vom Ruhrgebiet zum Rhein dienenden Kanäle, Rhein-Herne-Kanal und Wesel-Datteln-Kanal, als Regelschiff der Rhein-Herne-Kanal-Kahn von 1350 t mit 80,0×9,5 m und 2,50 m Tiefgang gewählt und die Wassertiefe in der Kanalachse hier auf 3,50 m vergrößert. Aber auch die nach 1918 ausgeführte Oststrecke des Mittellandkanals hat, trotzdem nur 2,0 m Tiefgang zugelassen sind, 3,50 m Wassertiefe in der Kanalmitte. Die Querschnitte einiger bis 1938 entstandenen Großschiffahrtskanäle zeigt die beigefügte Tafel.

Alle nach dem Dortmund-Ems-Kanal, also nach 1900 gebauten Großkanäle haben muldenförmigen Querschnitt erhalten, meist mit schwach geneigter Sohle, nur der Rhein-Herne-Kanal und Wesel-Datteln-Kanal haben waagerechte Sohlen. Das vorhandene Verhältnis

$$n = \frac{F(\text{Kanalquerschnitt})}{f\ (\text{Regelschiff})}$$ zeigt die folgende Tabelle

Kanal	B m	T m	F m²	f m²	$n = \frac{F}{f}$	Bauzeit	R t
Dortmund-Ems-Kanal (alt)	30,0	2,50	58,5	14,0	4,2	1892—99	600
Dortmund-Ems-Kanal	30,0	2,50	58,5	16,4	3,6	1892—99	770
Hohenzollern-Kanal (Bln.—Stett.)	33,0	3,0	68,5	14,0	4,9	1908—14	600
Hohenzollern-Kanal	33,0	3,0	68,5	18,0	3,8	1908—14	1000
Küsten-Kanal (Weststrecke)	32,0	3,5	75,5	18,0	4,2		1000
Rhein-Herne-Kanal	34,5	3,5	91,6	18,0	5,1		1000
Rhein-Herne-Kanal	34,5	3,5	91,6	23,7	3,9		1350
Wesel-Datteln- und Datteln-Hamm-Kanal	31,0	3,0	65,5	18,0	3,6		1000
Mittellandkanal westl. Hannover, angespannt auf 50,30 NN	33,0	3,5	82,6	18,0	4,6	1909—16	1000
desgl. östl. Hannover	39,0	3,5	94,2	18,0	5,2	1921—38	1000
Hansa-Kanal-Entwurf	39,0	3,5	94,7	18,0	5,2		1000
Dortmund-Ems-Kanal, ausgebaut	41,0	3,5	103,9	16,4	6,3	Ausbau	600
desgl.	41,0	3,5	103,9	18,0	5,8	noch nicht	1000**)
desgl.	41,0	3,5	103,9	20,5	5,0	vollendet	1000*)
desgl.	41,0	3,5	103,9	23,7	4,3		1350
Main-Donau-Kanal, Entwurf	43,0	3,75	118,5	20,7	5,7		1200
Regelquerschnitt vom 3. 12. 1941	45,0	3,5	116,9	18,0	6,5		1000**)

Anm.: B = Breite des Wasserspiegels, T = Tiefe in Kanalmitte
F = Wasserquerschnitt, f = Querschnitt des Regelschiffes
R = zum Vergleich benutzte Regelschiffe

f = 14,0 Dortmund-Ems-Kanal-Kahn für 600 t Tragf. 67,0 . 8,0 . 1,75 m
f = 16,4 „ „ „ „ „ 770 t „ 67,0 . 8,2 . 2,0 m
f = 20,5 „ „ „ „ „ 1000*) t „ 67,0 . 8,2 . 2,5 m
f = 18,0 Kanalkahn von Sympher „ 1000**)t „ 80,0 . 9,0 . 2,0 m
f = 23,7 Rhein-Herne-Kanal-Kahn „ 1350 t „ 80,0 . 9,5 . 2,5 m

III. Uferschutz.

Als Uferbefestigung ist in der Regel eine von 0,5 m, bei den Ausführungen nach 1918 von 1,0 m unter Regelwasser bis 1,0 m über Regelwasser reichende Steinschlagschicht auf Splittunterlage vorgesehen und an-

gewandt worden, meist 0,30 m stark, wovon 0,10 m auf die Splittschicht entfallen. Als Deckschicht werden schwere Steine von 15—25 cm Kantenlänge genommen, die durch den Anprall oder den Sog der Wellen möglichst nicht verlagert werden können. Auch Eisen- oder Metallschlacke ist vielfach verwendet worden. Wo Schilf und Rohr anwachsen, ist und wird dies mit Vorliebe angepflanzt, teils mit, teils ohne Steinschüttung.

Die Böschungsneigung 1 : 2, auch 1 : 2,5 hat sich im allgemeinen nur bei schwachem Verkehr als ausreichend gezeigt. Die im wesentlichen diluvialen Bodenarten Nord- und Nordwestdeutschlands, um dessen Kanäle es sich hier handelt, sind zwar bei diesen Neigungen standfest genug, auch bei plötzlichem Leerlaufen einer Haltung sind bei den Neigungen 1 : 2,5 Rutschungen im allgemeinen ausgeblieben, dagegen ist der Bestand der Steinschüttung bei starkem Verkehr gefährdet. An der Deckschicht wird bei den sich häufenden Begegnungen zu oft gerüttelt; Angler tun das übrige zum Lockern der Steine, lose gewordene Steine rollen ab bei dieser Neigung, die Deckschicht verschwindet allmählich. Außerdem belastet die Steinschicht ihren nur 0,30 m breiten Fuß in den weichen Bodenarten zu sehr. Die dagegen als Schutz angewandten Bohlen oder Faschinenwürste genügen nicht auf die Dauer, auch verteuern sie die Anlage. Dies hat dazu geführt, daß für die Oststrecke des Mittellandkanals von Peine bis zur Elbe und weiter nach Burg fast durchweg die Böschungsneigung in der Wasserspiegelhöhe auf 1 : 3 ermäßigt wurde. Außerdem wurde hier der Wasserquerschnitt vergrößert, so daß sich das Verhältnis $n = \frac{F}{f}$ auf 5,2 erhöhte und die zulässige Fahrgeschwindigkeit der Schleppzüge von bisher 3,5 bis 4 km auf 5 km/Std. gesteigert werden konnte. Die Böschungsneigung 1 : 3 wurde im Einschnitt bis 2,70 m unter Wasserspiegel hinabgeführt. Anschließend wurde mit 1 : 4 dann 3,0 m ereicht, die Wasserspiegelbreite wuchs auf 41,0 m. Mit $F = 94{,}25$ m² und dem Sympherschen 1000-t-Kanalschiff mit $f = 9{,}0 \cdot 2{,}0 = 18{,}0$ m² ergibt sich nun $n = \frac{94{,}25}{18{,}0} = 5{,}2$. Als Böschungsbefestigung ist wie bisher 0,30 m Steinsicherung oder Schilf- und Rohrpflanzung angewandt.

IV. Neuere Planung.

Die während des Baues dieses Reststückes des Mittellandkanals in der Planung befindlichen Kanäle: Hansa-Kanal, Seitenkanal Gleesen-Papenburg, der die Emsstrecke des Dortmund-Ems-Kanals ersetzen sollte, die Kanalstrecke der Rhein-Main-Donau-Verbindung haben im Einschnitt ähnliche Querschnitte erhalten mit geringen Breitenabwandlungen und daher geringfügigen Änderungen des Wertes n.

Bald nach der Inbetriebnahme des Mittellandkanales bis Magdeburg wurde gemeinsam mit der tschechischen Kanalbaudirektion in Prag die Planung der Oder-Donau-Verbindung aufgenommen, aber im Gegensatz zu der östereichischen Planung von 1902 jetzt für 1000-t-Kähne statt für 600-t-Kähne und auch sonst unter Anwendung der bisherigen deutschen Erfahrungen über Schleusen größerer Gefälle und Hebewerke. Im Verlauf dieser Planungsarbeiten wurde vom Generalinspektor für Wasser und Energie in Berlin, der die Wasserstraßenabteilung des Reichsverkehrsministeriums an sich gezogen hatte, am 3. Dezember 1941 für Großschiffahrtskanäle ein Querschnitt vorgeschrieben, der den 1000-t-Regelschiffen mit Kanalmaßen, also 9,0 m Breite und 2,0 m Tiefgang beim Begegnen einen Zwischenraum von 6,0 m erlaubte und in Kimmtiefe dabei noch 4,45 m Abstand

von den 1 : 3 geneigten Böschungen einhielt. Der Knick zwischen der Böschung 1 : 3 und der nur noch ganz schwach — 1 : 50 — geneigten Sohle liegt in diesem Querschnitt 3,25 m unter Regelwasser. Die Sohlenbreite beträgt 25,0 m, der bisher übliche Übergang zur Sohle mit 1 : 4 oder 1 : 5 ist fortgefallen. Sieht man von der hauptsächlich zur Erleichterung der Entwässerung während der Erdarbeiten gegebenen geringen Neigung der Sohle ab, so ist der Kanalquerschnitt von der Muldenform wieder zum Trapez zurückgekehrt. Die Wassertiefe beträgt auch hier im Einschnitt in ungedichteten Strecken in der Mitte 3,50 m. In den Auftragsstrecken ist, wie es auch bisher seit langem üblich war, zur Sicherung vor Sohlenangriffen neben der Überdeckung der Dichtung durch eine 0,50 bis 1,0 m starke Schutzschicht die Wassertiefe auf die ganze Sohlenbreite auf 4,0 m erhöht. Der wassergefüllte Querschnitt ist bei diesem Profil in Einschnitten 116,9 m² groß, so daß sich ein $n = \frac{116{,}9}{18{,}0} = 6{,}5$ ergibt, das die Möglichkeit der Steigerung der Fahrgeschwindigkeit für Schleppzüge auf 6 bis 7 km nunmehr zulassen dürfte. Für die Kanalstrecke der Mai-Donau-Verbindung war bereits ein 43,0 m breiter Querschnitt gewählt, der durch die obenerwähnte Anordnung, wohl weil die Planungsarbeiten zu weit fortgeschritten waren, ausdrücklich bestehen gelassen wurde.

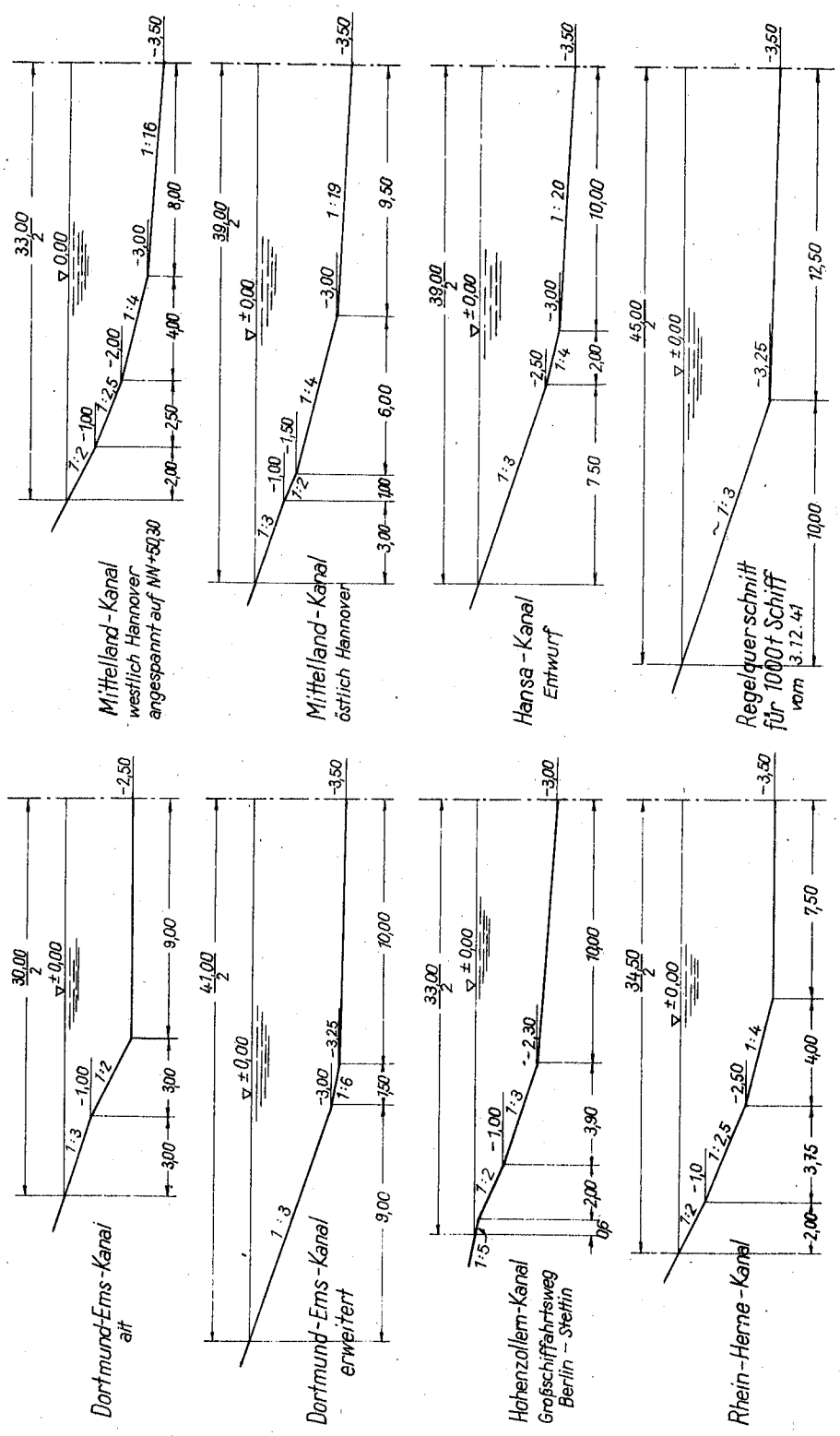
Wie bereits erwähnt, wurde für den Rhein-Herne-Kanal und den Wesel-Datteln-Kanal wegen ihrer engen Verbindung mit der Rheinschiffahrt das 9,5 m breite und 2,50 m tiefgehende Regelschiff gewählt. Da der Dortmund-Ems-Kanal-Kahn mit 67,0×8,2 m aber auch vielfach auf den Rhein übergeht, wo er mit 2,5 m Tiefgang rund 1000 t laden kann, besteht der Wunsch, nicht nur die Strecke des Dortmund-Ems-Kanals zwischen den Abzweigungen der beiden genannten Kanäle auch 2,50 m tiefgehenden Kähnen zugänglich zu machen, sondern den ganzen Dortmund-Ems-Kanal. Dem wird bei dem wegen seiner ganz unzulänglichen Breiten-, Böschungs- und Krümmungsverhältnissen zu verbessernden Dortmund-Ems-Kanal bei Erweiterungen Rechnung getragen, indem man ihn auf 3,50 m Tiefe bringt unter Verbreiterung auf 41,0 m im Wasserspiegel und Abflachen der Krümmungen, wenn er nicht streckenweise durch neue Kanalstücke ersetzt ist oder wird, die sogenannten zweiten Fahrten. Die Fahrverhältnisse erreichen auch dann für den 2,0 m tiefgehenden 1000-t-Kahn noch nicht die des 45,0 m breiten Regelquerschnittes. Für den Rhein-Herne-Kanal ergibt sich ein $n = 4{,}37$, für den 2,5 m tiefgehenden Dortmund-Ems-Kanal-Kahn mit 1000 t Tragfähigkeit erhält man $n = 5{,}1$. Daß es vielfach wegen der Bebauung und aus anderen Gründen nur möglich war, die nötige Kanalerweiterung durch senkrechte Ufer zu erreichen, wozu stählerne Spundwände einseitig oder auf beiden Seiten geschlagen wurden, sei nebenbei erwähnt. Mit dieser Bauart ist dann auch die Frage der Ufersicherung einwandfrei gelöst.

Die Entwicklung der Wasserquerschnitte der Kanäle und ihrer Ufer ist also trotz vielfacher örtlich bedingten Abweichungen dahin gegangen, daß man das Verhältnis $n = \frac{F}{f}$ und die Wasserspiegelbreite ständig vergrößerte, um die Reisegeschwindigkeit und bei Begegnungen und Überholungen (Selbstfahrer) auch die Sicherheit des Verkehrs zu erhöhen und andererseits dadurch auch wieder den Bestand der künstlichen Wasserstraßen zu sichern, ohne die Kosten der Herstellung und Unterhaltung der Wasserstraße untragbar werden zu lassen. Dies wird erreicht durch eine genügende Abflachung der Ufer auf 1 : 3 und durch die Vergrößerung der Breite der Fahrstraße auf ein Maß, das die Sicherheit der Fahrt gewährleistet, in

Verbindung mit der Vergrößerung der Tiefe. Als Uferschutz dient hierbei eine 20 cm starke Steinschüttung auf 10 cm Splittunterlage, die mindestens bis 1 m unter Wasser reichen muß. Wenn möglich ist sie durch eine bis zur Sohle hinabreichende Steinschüttung weiter zu sichern. Hierfür und für eine Sohlenabdeckung genügt minderwertiges Gestein, Steinbruchabraum und dergleichen.

Querschnitte von Großschiffahrts-Kanälen

Maßstab 0 1 2 3 4 5 m



14

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.

Von Kurt Helm, Obering. in Hamburg.
Mitteilung der Hamburgischen Schiffbau-Versuchsanstalt.

Bei der Festlegung der günstigsten Bedingungen für den Binnenschiffsverkehr auf Kanälen ist es nicht immer in vollem Umfang möglich, eine für alle beteiligten Kreise gleich günstige Lösung zu finden. Es handelt sich hier vielmehr stets darum, einen möglichst günstigen Kompromiß zu schließen, bei dem jeder Gesichtspunkt nach seiner volkswirtschaftlichen Bedeutung berücksichtigt werden sollte.

Bei dem Bau eines Kanals sind zunächst zwei Hauptgesichtspunkte zu berücksichtigen: einerseits sollen die Kosten des Kanals einschl. Schleusen- und Brückenbauten und die späteren Unterhaltungskosten so niedrig wie möglich gehalten werden, d. h. aber, es ist ein baulich möglichst einfaches, nicht zu großes Kanalprofil zu wählen. Demgegenüber stehen jedoch Forderungen der Schiffahrt, die in dieser Arbeit hauptsächlich berücksichtigt werden sollen.

Die Hauptforderung der Schiffahrt an einen Kanal ist die Durchführung eines möglichst ungehinderten, zügigen Schiffsverkehrs bei minimalen Kanalabgaben. Zur Erfüllung dieser Forderung ist nötig

1. eine hohe Fahrgeschwindigkeit bei möglichst langen Schleusenhaltungen,
2. die Zeitverluste für die Überwindung der unvermeidbaren Schleusen sind auf ein Minimum zu beschränken, es sind daher moderne, leistungsfähige Schleppzugschleusen zumindest auf den durchgehenden Kanalstrecken vorzusehen. Für Abzweigkanäle vor allem dann, wenn es sich um eine größere Anzahl handelt, wird man sich mit kleineren, dem größten vorkommenden Schiffstyp angepaßten Schleusen begnügen müssen.
3. Der Kreis der für die Kanalfahrt zuzulassenden Fahrzeuge muß möglichst unbeschränkt sein, unabhängig davon, ob es sich um Kanal- oder Flußschiffe, Selbstfahrer oder Schleppzüge handelt.
4. Wie schon erwähnt, müssen sich die Kanalabgaben und die Schleppgebühren, sofern ein Schleppmonopol beabsichtigt ist, in Grenzen bewegen, die für die Schiffahrt noch wirtschaftlich sind.

Das heißt aber mit anderen Worten, daß sowohl eine Unter- als auch eine Überdimensionierung des Kanals vermieden werden muß. Bei Unterdimensionierung können die dem Kanal gestellten Aufgaben nur teilweise erfüllt werden; zur Abhilfe, nämlich einer nachträglichen Kanalerweiterung, sind

große Aufwendungen an Arbeitskräften und Material und dadurch Verluste an Volksvermögen unvermeidlich. Noch schlimmer aber ist eine Überdimensionierung, da hierdurch die für die Amortisation erforderlich werdenden Kanalgebühren stärker ansteigen als dem erzielten Nutzen aus der erhöhten Kanalgeschwindigkeit entspricht, was eine Erhöhung der Frachtraten oder aber eine geringere Benutzung der Wasserstraße zur Folge hätte. Ein solcher Fehler kann, wenn der Kanal gebaut ist, nie wieder gutgemacht werden.

Wie der Verfasser an dem Beispiel für einen Seekanal nachgewiesen hat, ist man bei einem klar umrissenen Projekt durchaus in der Lage, das wirtschaftlichste Kanalprofil rein rechnerisch zu bestimmen. (4)

Daß von Seiten der Schiffahrt ein möglichst großes und widerstandsmäßig günstiges Profil zur Erreichung relativ hoher Fahrgeschwindigkeiten erwünscht ist, liegt auf der Hand. Für die erreichbare Fahrgeschwindigkeit eines Schiffes im Kanal ist von entscheidender Bedeutung das Verhältnis von Kanal- zum Schiffsquerschnitt (F_K/F_S), während erst in zweiter Linie die Form des Kanalquerschnittes zum Tragen kommt.

I. Form des Kanalquerschnittes.

Zur Klärung dieser Zusammenhänge sind ausgedehnte systematische Versuche, neuerdings zum überwiegenden Teil in der Hamburgischen Schiffbau-Versuchsanstalt (HSVA) durchgeführt worden.

Schon 1898 findet sich in der „Zeitschrift für Gewässerkunde" eine Arbeit von Max Müller, in der er darauf hinweist, daß theoretisch ein Profil mit umgekehrter Trapezform am günstigsten wäre, eine Behauptung, die durch Engels und Gebers (1) versuchsmäßig bestätigt werden konnte. Sie stellten fest, daß bei gleicher Wassertiefe und gleicher Querschnittsgröße das Profil mit der kleinsten Wasserspiegelbreite den geringsten Widerstand hervorruft. Der Verfasser erweiterte diese Versuche in der HSVA durch systematische Untersuchungen mit rechteckigen und muldenförmigen Profilen.

Abb. 1 zeigt ein Schiff in vier verschiedenen Kanalprofilen von gleichem Querschnittsinhalt aber verschiedener Form, ausgehend von einem normalen Profil mit Trapezform, in dem das Schiff die Geschwindigkeit $V_K = 1{,}0$ erreicht. Fährt es in einem rechteckigen Profil mit gleicher Wasserbreite aber entsprechend geringerer Wassertiefe, so bewirkt die Widerstandserhöhung durch die Wassertiefenbeschränkung einen Abfall der Geschwindigkeit auf 0,92. Bei Profil III hingegen ist die Wassertiefe des ursprünglichen Profiles gehalten und ein rechteckiges Profil mit entsprechend verringerter Breite verwendet. Die erreichbare Geschwindigkeit liegt um 7,5 v. H. höher als beim Trapezprofil. Profil IV entspricht dem umgekehrten Trapezprofil von Engels und Gebers — es hat die günstigste Geschwindigkeit.

Allgemein kann man an Hand dieser Versuche ableiten, daß

1. bei gleichem Profilquerschnitt die Kanalgeschwindigkeit mit der Wassertiefe zunimmt. Das Optimum wird etwa erreicht, wenn der Abstand zwischen Schiffs- und Kanalprofil überall gleich groß ist. (2)
2. bei gleichem Profilquerschnitt und gegebener Wassertiefe das Profil mit der geringsten Wasserspiegelbreite am günstigten ist.

Diese Tatsache erklärt sich wie folgt: Damit das vom Schiff verdrängte Wasser nach hinten abfließen kann, ist ein Spiegelgefälle erforderlich, das vom Schiff fortlaufend neu erzeugt werden muß. Es ist also Wasser auf eine bestimmte Höhe zu heben. Diese Wasserhöhe ist im wesentlichen nur von der Fahrgeschwindigkeit abhängig. Je schmaler nun die Wasseroberfläche ist,

um so kleiner ist die zu hebende Wassermenge und die hierfür erforderliche Kraft, die einen nicht unbeträchtlichen Anteil am Schiffswiderstand ausmacht.

Für die praktische Ausführung eines Kanals ist aber das umgekehrte Trapezprofil schon vom baulichen Standpunkt aus wegen der enormen Baukosten abzulehnen. Aber auch der zweiten Schlußfolgerung aus den Modellversuchen, das Kanalprofil so schmal und so tief wie möglich zu bauen, sind Grenzen gesetzt, da zumindest die Forderung erfüllt werden muß, daß zwei in entgegengesetzter Richtung fahrende Schiffe einwandfrei passieren können.

Für die Gegebenheiten, wie sie im Kanalverkehr vorliegen, bietet daher die Muldenform, die auch für die neueren Kanäle durchweg gewählt wurde, den besten Ausweg. Diese Lösung bietet bei größtmöglichster Wassertiefe in Kanalmitte, also günstigsten Fahrbedingungen für das alleinfahrende Schiff, eine relativ günstige Wasserbreite in Schiffsbodenhöhe, ein Maß, das für die notwendigen Begegnungen und Überholungen ausschlaggebend ist.

II. Größe des Kanalquerschnittes.

Nachdem die Frage nach der günstigsten Profilform geklärt ist, ist festzustellen, wie groß der Kanalquerschnitt im Verhältnis zum Hauptspant des Schiffes sein sollte.

Abb. 2 zeigt die Geschwindigkeiten, die mit einem 3-Kahn-Schleppzug aus guten Groß-Plauer-Maßkähnen (67×8,2×2,5 m; Abladung 2,0 m mit ca. 750 t Tragfähigkeit) mit einem Monopolschlepper von 250 PSe auf den verschiedenen deutschen Kanälen bei freier Fahrt in Kanalmitte zu erreichen sind. Diese Darstellung zeigt, daß die erreichbare Kanalgeschwindigkeit mit dem Querschnittsverhältnis zunimmt. (Querschnittsverhältnis n = Kanalquerschnitt F_K zu Schiffsquerschnitt F_S.)

Es entspricht:

A	dem	alten Dortmund-Ems-Kanal	n = 3,57
B	„	Küstenkanal zwischen Kempe und Oldenburg	n = 4,04
C	„	„ „ Dörpen und Kempe	n = 4,60
D	„	Datteln-Herne-Kanal	n = 4,98
D	„	Mittellandkanal zwischen Bergeshövede und Misburg	n = 4,98
E	„	„ „ Misburg und Peine	n = 5,10
	„	„ „ Peine und Magdeburg	n = 5,50 bis 5,75
	„	Rhein-Herne-Kanal	n = 5,60
F	„	Wesel-Datteln-Kanal	n = 5,80
G	„	erweiterten Dortmund-Ems-Kanal	n = 6,30 bis 6,60

Um einen Überblick der Geschwindigkeitsverluste durch die Wasserbreiten und -tiefenbeschränkung zu geben, sei erwähnt, daß der gleiche Schleppzug auf 3,5 m Wassertiefe bei unbeschränkter Wasserbreite eine Geschwindigkeit von etwa 9,2 km/h und auf unbeschränkter Wassertiefe, also ohne Breiten- und Tiefeneinflüsse, ungefähr 10,7 km/h erreichen würde.

In Abb. 3 ist die erreichbare Maximalgeschwindigkeit der Schleppzüge abhängig vom Querschnittverhältnis n gezeigt. Man sieht, daß die Kurve bei $n > 5$ schon sehr flach verläuft, d. h. der Einfluß der Querschnittsbeschränkung ist schon verhältnismäßig gering. Gleichzeitig kann man aus dieser Abb. entnehmen, daß vermutlich eine Steigerung des n-Wertes nur bis etwa höchstens 6 rentabel sein wird. Ob Verhältnisse zwischen 5 und 6 sich noch lohnen, hängt weitgehend von den Gestehungskosten des Kanals ab.

Diese Betrachtung bezieht sich jedoch nur auf die Fahrt von Schiffen in Kanalmitte, also wenn sich im Kanalquerschnitt nur 1 Schiff bzw. Schleppzug

befindet. Bevor die Frage geklärt wird, welches Querschnittsverhältnis mit Rücksicht auf die unvermeidlichen Begegnungen und Überholungen notwendig sind, soll untersucht werden, ob noch andere Möglichkeiten bestehen, diese Schwierigkeiten zu umgehen. Eine solche Möglichkeit wäre z. B. ein Doppelkanal, in dem jeweils nur in einer Richtung gefahren würde.

Es scheint zunächst, daß eine solche Lösung nicht unerhebliche Vorteile bieten könnte. Bei einem Doppelkanal wird die Gefahr der Kollision weitgehend vermieden, auch Schädigungen des Schiffes wie der Kanalböschung werden weit weniger vorkommen als bisher. Ferner könnte die zulässige Kanalgeschwindigkeit wegen der fehlenden Begegnungen gesteigert werden. Die Spannweiten für Brücken würden erheblich reduziert, da durch den Zwischendamm zwischen beiden Parallelkanälen die Möglichkeit gegeben ist, Mittelpfeiler einzuschieben. Bei Verlegung von Geleisen auf dem Zwischendamm oder auch eventuell einer Autobahn auf demselben bestünde zusätzlich noch die Möglichkeit, Schiffe von abnormen Abmessungen durch den Kanal zu treideln. Als weiterer Vorteil ist noch zu erwähnen, daß der Talfahrtkanal zur Ausnutzung von Wasserkräften herangezogen werden könnte. Die zu Tal fahrenden Schiffe hätten dann noch den Vorteil einer zusätzlichen Beschleunigung durch die Stromgeschwindigkeit und das Oberflächengefälle, während die zu Berg fahrenden Fahrzeuge nicht gegen den Strom zu fahren brauchten.

Dieses Problem wurde vom Verfasser schon früher für einen Seekanal (Abb. 4) erörtert. (4). Verglichen wurden:

A. Ein normaler zweischiffiger Kanal, auf dem ein 4000-t-Schiff eine zulässige Geschwindigkeit von 10 km/h erreichen kann; das Querschnittsverhältnis ist $n = 5{,}5$.

B. Ein einschiffiger Doppelkanal, auf dem die gleiche Geschwindigkeit erzielt werden kann. Das Querschnittsverhältnis fällt auf $n = 4{,}88$.

C. Ein zweischiffiger Kanal mit dem doppelten Wasserquerschnitt des einschiffigen Kanals. Das Querschnittsverhältnis wird dann $n = 9{,}77$ und die zulässige Geschwindigkeit steigt auf 16,8 km/h.

Da auf dem einschiffigen Kanal Begegnungen und Überholungen fortfallen, wird sich die tatsächlich erreichbare Geschwindigkeit gegenüber dem nach Erfahrungswerten für zweischiffige Kanäle errechneten Wert noch etwas steigern lassen, wenn auch der Leistungsbedarf etwas größer sein wird. Unter günstigen Bedingungen dürften 11 km/h zu erreichen sein.

Während durch den Einfluß von Begegnungen und Überholungen die mittlere Geschwindigkeit im Kanal A um 25 v. H. niedriger, also bei 7,5 km/h liegt, wird dieser Einfluß bei dem günstigeren Kanal C etwa 20 v. H. betragen, die mittlere Geschwindigkeit liegt dann bei 13,5 km/h.

Der Vergleich dieser Resultate miteinander zeigt eindeutig, daß selbst bei günstigster Betrachtung des Einschiffssystems im Doppelkanal ein Profil nach altem Stil mit zweischiffigem Verkehr bei gleichem Querschnitt, also etwa gleichen Baukosten (mit Ausnahme der Brückenbaukosten) bei weitem günstiger ist, daß sich also die erhöhten Aufwendungen praktisch kaum herausholen lassen. (Die Kosten sind eher für den Doppelkanal wegen der doppelten Böschungen noch höher.)

Bei Strömung im Talfahrtkanal kann sich das Bild zugunsten des Doppelkanals verschieben, es wäre aber mindestens eine Stromgeschwindigkeit von 5 km/h erforderlich, um eine hydraulische Gleichwertigkeit zu erzielen. Ob ein solcher Kanal auch wirtschaftlich gleichwertig bzw. überlegen ist, hängt davon ab, wie hoch die Ersparnisse bei der Kanalunterhaltung durch die geringere Kollisionsgefahr und die damit verbundene verminderte Abnutzung der

Kanalböschungen sind, und um wieviel günstiger die Verhältnisse durch die Wasserkraftausnutzung werden.

Da Strömungskanäle aber praktisch nur in Gebirgsgegenden verwirklicht werden können (z. B. ist beabsichtigt, einen Teil des Oder-Donau-Kanals als Strömungskanal auszunutzen), bleibt die wirtschaftlichste Lösung ein zweischiffiger Kanal mit einem Muldenprofil.

III. Einfluß von Begegnungen und Überholungen auf die Querschnittsgestaltung.

Bei der Wahl der Größe des Kanalquerschnittes sollte dieser auf die größten häufig vorkommenden Fahrzeuge — die sogenannten Regelschiffe — abgestellt werden. Ist der Kanal für diese richtig bemessen, so können kleinere Schiffe ihn jederzeit unbedenklich passieren.

Diese Ausführungen weisen wieder auf das Hauptproblem der Kanalfahrt hin, nämlich auf die Begegnungen und Überholungen. Diese sind, wie schon mehrfach erwähnt, der Grund dafür, daß man das Profil viel breiter bauen muß, als es für ungestörte Fahrt in gleicher Richtung erforderlich wäre. Will man nun die die mittlere Reisegeschwindigkeit besonders störenden Überholungen ganz vermeiden, so müßte eine für alle Fahrzeuge verbindliche Fahrgeschwindigkeit angesetzt werden. Das würde aber bedeuten, daß alle anfallenden Schiffe auf die Fahrgeschwindigkeit der langsamsten Fahrzeuge, also der ungünstigsten Schleppzüge begrenzt würden.

Einen gewissen Ausgleich könnte man hier erreichen, wenn man auch bei Binnenschiffskanälen Weichen wie bei Seeschiffskanälen vorsehen würde.

Da ein Überholungsverbot für alle schnellen Fahrzeuge, zur Hauptsache also für die Selbstfahrer, eine starke Belastung bedeuten würde, war festzustellen, bis zu welchem Grade Überholungen möglich sind, ohne daß die Gefahr von Havarien besteht und wie groß darüber hinaus die Verringerung der durchschnittlichen Fahrgeschwindigkeit für das überholende wie für das überholte Fahrzeug ist, wobei ins Gewicht fällt, daß mit steigender Verkehrsgeschwindigkeit auch die Anzahl der Begegnungen sich erhöht. Weiter war festzustellen, welche Geschwindigkeit für Kanäle ohne Schädigung der Kanalböschung durch die Wellenbildung und der Kanalsohle durch den Schraubenstrahl der Fahrzeuge zulässig ist.

Bezüglich der Begegnungen kann gesagt werden, daß hierfür die bisher üblichen Formen und Größen der Kanäle vollkommen ausreichend sind, um allen in Frage kommenden Schiffen das Begegnen zu ermöglichen, da die Schiffe hierbei durch ihre Bugwellen auseinandergedrückt werden.

Schwieriger ist die Frage der Überholungen. Da bei diesen die Gefahr von Kollisionen und Grundberührungen sehr groß ist, müssen die dabei auftretenden Kräfte möglichst genau bestimmt und die zu ihrer Beherrschung erforderlichen Bedingungen festgelegt werden. Zu diesem Zweck wurden von der HSVA ausgedehnte Modellversuche durchgeführt und zu ihrer Kontrolle mit Großversuchen verglichen.

Bei den Modellversuchen, die sich auf die Verhältnisse im Mittellandkanal bezogen, wurde so vorgegangen, daß die überholenden Selbstfahrer mit eigener Kraft parallel an den Schleppzügen vorbeifuhren, die ihrerseits mit einer vorgegebenen Schlepperleistung entsprechend der mittleren Schleppgeschwindigkeit fuhren, und daß die dabei auftretenden Kräfte automatisch aufgezeichnet wurden. Gewählt wurde hierfür ein gemischter 3-Kahn-Schleppzug mit einer Gesamttragfähigkeit von 2000 t. Die Überholungen wurden sowohl mit dem Saalemaß- (51 × 6 m) als auch mit dem Groß-Finowmaß-Selbstfahrer (41 × 5 m) für Tiefgänge von 1,2 m; 1,5 m und 1,8 m durchgeführt.

Es würde zu weit führen, die Versuchsanordnung und Registrierung eingehend zu beschreiben. Nur soviel sei gesagt, daß es mit ihrer Hilfe möglich war, die auftretenden Drehmomente und Seitenkräfte gesondert in ihrer Größe und Richtung zu bestimmen sowie festzustellen, ob sie für Ruderlagen zwischen 35° BB und 35° StB beherrschbar waren oder nicht.

Aus diesen Versuchen konnten folgende Bedingungen für Überholungen festgelegt werden:

Als oberste Grenze der zulässigen Geschwindigkeit des Schleppzuges während der Überholung ist die Schleppzugsgeschwindigkeit anzusprechen, bei der die Selbstfahrerleistung noch gerade eben ausreicht, um den ungünstigsten Kahn im Schleppzug zu überholen.

Bei Erhöhung der Schleppgeschwindigkeit und damit der Überholungsgeschwindigkeit durch den Selbstfahrer steigt der zur Überholung notwendige Leistungsbedarf des Selbstfahrers sehr schnell an, wodurch der Zeitersparnis eine Grenze gesetzt ist. Für die Verhältnisse auf dem Mittellandkanal sind Überholungsgeschwindigkeiten von 5 km/h möglich, wobei der überholte Schleppzug seine Geschwindigkeit bis auf etwa 3,5 km/h vermindern muß. Entscheidend ist, ob die Steuerfähigkeit der Schleppkähne ausreicht, um die auftretenden Kräfte zu beherrschen.

Während der Überholungen gibt es zwei Zeitpunkte, bei denen die Gefahr der Kollision bzw. des Auflaufens besonders groß ist:

1. wenn der Selbstfahrer den Schleppkahn etwas aufgeholt hat, und
2. wenn er den Schleppkahn zum größten Teil überholt hat. (Abb. 5)

Man sieht schon auf den ersten Blick, daß die Gefahrenzone II kritischer ist als die erste Zone, bei der zwar die Drehmomente die Fahrzeuge zueinander zu drehen streben, die gleichzeitig dabei auftretenden entgegengesetzt gerichteten Seitenkräfte sie aber zumindest teilweise in ihrer Wirkung wieder aufheben. Bei der Zone II hingegen werden die Schiffe auch noch durch die Seitenkräfte aneinandergedrückt.

Die mit den maximal möglichen Ruderwinkeln (35° BB und 35° StB) ausgeführten Messungen zeigen, daß sie für den Selbstfahrer ausreichend sind, sonst aber in fast allen Fällen, daß es mit den vorhandenen Kahnrudern nicht möglich ist, den auftretenden Kräften restlos das Gleichgewicht zu halten, woraus folgt, daß die Fahrzeuge mehr oder weniger in der angedeuteten Richtung aus der im Modellversuch vorgegebenen Fahrtrichtung ausweichen.

Abb. 6 zeigt ein Beispiel für die zeichnerische Erfassung solcher Versuche. Oben ist das Schema der Überholung bildlich wiedergegeben, darunter sind die für das Manöver bei den 3 Ruderlagen 35° BB, 0° und 35° StB erforderlichen Zeiten dargestellt. Darunter sind für eben diese 3 Zustände die Originaldiagramme der während der Versuche gemessenen Widerstände, Momente und Seitenkräfte aufgezeichnet. Der Bereich zwischen den Kurven für 35° BB und 35° StB ist vom Ruder beherschbar. Würden sich die auftretenden Kräfte und die Ruderkräfte dauernd das Gleichgewicht halten, dann würde die Kurve für 0° Ruderwinkel bei den Drehmomenten auf der Nullinie und bei den Seitenkräften parallel zu dieser verlaufen und die Drehmomente und Kräfte für gelegte Ruder parallel hierzu liegen. Die während der Überholung auftretenden Kräfteschwankungen spiegeln sich in dem Diagramm in einer Verschiebung der Kurven nach oben oder unten wieder, wobei vom Ruder nicht mehr beherrschbare Kräfte eine so große Verschiebung bewirken, daß alle 3 Kurven (Ruder 35° BB, 0° und 35° StB) ober- bzw. unterhalb der Nullinie liegen. Diese Gebiete, d. h. die Stellen, an denen beim Überholen die Fahrzeuge in Wirklichkeit aus ihrer Bahn gedrängt werden, obwohl versucht wird,

durch Rudergeben so weit wie möglich zu stützen, sind auf dem Diagramm als schraffierte Flächen auf den ersten Blick erkennbar und zwar sowohl hinsichtlich ihrer Stärke als auch ihrer Dauer.

Es stellte sich heraus, daß diese nicht beherrschbaren Kräfte wesentlich zunehmen mit der Größe der bei der Überholung beteiligten Fahrzeuge und zwar ist sowohl der Tiefgang als auch Länge und Breite der Schiffe wirksam. Ebenfalls nehmen die auftretenden Kräfte bei zunehmender Fahrgeschwindigkeit rasch zu und zwar sowohl bei höherer Gesamtgeschwindigkeit als auch, je größer die Differenz zwischen der Geschwindigkeit der überholten und der überholenden Fahrzeuge ist. Je geringer sowohl die Grundgeschwindigkeit des Schleppzuges als auch die Geschwindigkeitsdifferenz der Fahrzeuge bei einer Überholung ist, desto günstiger verläuft diese. Außerdem sollte die Geschwindigkeit des Selbstfahrers während der ganzen Zeit der Überholung möglichst gleich bleiben (d. h. der Selbstfahrer müßte beim Vorbeifahren an einem Schleppzug seine Leistung laufend verändern, was praktisch aber nur sehr schwer und unvollkommen verwirklicht werden kann) und nicht mehr als höchstens 1,5 km/h höher als die Geschwindigkeit der überholten Fahrzeuge liegen. Außerdem ist es wichtig, daß die Fahrzeuge so weit als möglich aus Mitte Kanal fahren, denn nur so ist es möglich, die Gefahrenzone II, bei der die Schiffe zusammengesaugt werden, zu überwinden, so daß der Selbstfahrer schon vorbeigefahren ist, ehe es zu einem Zusammenstoß kommen kann.

Auch spielt die Lage, die die Fahrzeuge beim Eintreten in die Überholung zur Fahrtrichtung einnehmen, eine wesentliche Rolle während derselben. Das beste wäre natürlich, wenn die Kähne eine leicht nach StB gerichtete Lage hätten, um den später besonders bei Zone II auftretenden Kräften nach Möglichkeit zu begegnen. Jedenfalls ist bei einer Ausgangslage, die leicht nach BB zeigt, ein Zusammenstoß nur dann zu vermeiden, wenn die Überholung so schnell ausgeführt werden kann und die Fahrzeuge einen solchen Abstand voneinander haben, daß das überholende Fahrzeug schon vorbei ist, ehe das überholte Schiff erheblich ausscheeren kann. Das bedeutet aber, daß die Kollisionsgefahr bei Schleppzügen bei Voraussetzung gleicher Gesamttonnage mit abnehmender Anzahl dann größer werdender Kähne zunimmt, daß also die neuerdings verfolgte Tendenz, in Zukunft möglichst mit 2-Kahn-Schleppzügen zu fahren, die Kollisionsgefahr relativ erhöht. Andererseits ist bei einem sehr kurzen Schleppzug, d. h. bei zwei oder gar nur einem Kahn im Anhang, für den Schlepper viel eher die Möglichkeit gegeben, die Schlepptrossen während der gesamten Überholung auf Zug zu halten, d. h. also, ein Ausscheeren der Kähne weitgehend zu verringern. Da neuerdings auch auf den Kanälen mehr und mehr Selbstfahrer verkehren, die auf dem Kanal freifahrend ihre volle Leistung nicht ausnutzen können, besteht die Möglichkeit, daß in bezug auf durchschnittliche Reisegeschwindigkeit und gute Überholungsmöglichkeit die beste Lösung im schleppenden Selbstfahrer mit nur einem Kahn im Anhang zu sehen ist.

Bei gleichartigen Schleppkähnen ist die Kollisionsgefahr für den letzten Kahn am größten und für den ersten direkt hinter dem Schlepper fahrenden Kahn am geringsten. Hat man also verschiedene Kähne im Schlepp, so empfiehlt es sich, den besten bzw. kleinsten Kahn am Ende des Schleppzuges und den ungünstigsten bzw. schwersten direkt hinter dem Schlepper zu fahren. Diese Methode ist in der Praxis auch allgemein üblich; trotzdem sind bei längeren Schleppzügen Kollisionen oft nicht zu vermeiden.

Das zeigte sich auch bei Großversuchen, die zur Kontrolle dieser Modellversuche mit einem 5-Kahn-Schleppzug auf dem Ems-Weser-Kanal, dem ungünstigsten Streckenabschnitt des Mittellandkanals, durchgeführt wurden.

Obwohl hier die erwähnte Reihenfolge — größte und schwerste Kähne gleich hinter dem Schlepper und kleinster, leichtester Kahn ganz hinten — eingehalten wurde, konnte der überholende Selbstfahrer nur die beiden letzten und den ersten Kahn einwandfrei überholen. Beim Überholen des mittelsten Kahnes wurde der Selbstfahrer vom Kahn auf die Böschung gedrückt, kam jedoch wieder frei, nachdem er seine Geschwindigkeit bis zur Schleppzugsgeschwindigkeit reduziert hatte, und überholte dann mit ganz geringer Zusatzgeschwindigkeit. Im ungünstigsten Fall, bei der Überholung des zweiten Kahnes nach dem Schlepper, mußte der Selbstfahrer sogar noch unter die Schleppzugsgeschwindigkeit gehen, also eine Zeitlang zurückbleiben, ehe er mit ganz geringer Geschwindigkeit überholen konnte. Dabei schrammte er hart an der Kanalböschung entlang, während er auf der anderen Seite nur durch die Fender vom Kahn abgehalten wurde. Es ist klar, daß unter solchen Umständen die Kanalböschungen sehr stark leiden müssen, auch die Kimmplatten der Fahrzeuge werden dementsprechend stark mitgenommen. Bei den Groß-Plauer-Maß-Selbstfahrern treten sogar trotz Überholungsverbotes, also nur beim Begegnen, so starke Beschädigungen der Kimmplatten auf, daß viele Kanalreedereien ihre Selbstfahrer mit Dopplungsplatten an den hauptsächlich gefährdeten Stellen ausrüsten.

Die ausgeführten Untersuchungen über die Überholungsmöglichkeiten auf dem Mittellandkanal haben für die ungünstigste Teilstrecke zwischen Ems und Weser ergeben, daß Schleppkähne bis etwa 750 t Tragfähigkeit mit einiger Sicherheit nur von kleinen Selbstfahrern vom Groß-Finow-Maß (41,5 × 5,0 m) mit höchstens 1,5 m Abladung, d. h. bei etwa 180 t Tragfähigkeit überholt werden können (Linienselbstfahrer). Für alle größeren Selbstfahrer mußte ein Überholungsverbot erlassen werden. Selbst bei diesen stark eingeschränkten Überholungen sind die Geschwindigkeitseinbußen durch Fahrtverminderung recht erheblich.

Bei einem Jahresmittel von 12 Fahrstunden pro Tag und täglich 12 Begegnungen und 8 Überholungen würde sich die durchschnittliche Reisegeschwindigkeit der Schleppzüge von 6,5 km/h auf 5,5 km/h, also um 15 v. H. und die der überholenden Selbstfahrer von 7 km/h auf 6,45 km/h, d. h. um 8 v. H. vermindern. Ein Überholen ist daher nur für solche Selbstfahrer vorteilhaft, die auf den freien Kanalstrecken schneller als 7 km/h fahren dürfen. Die inzwischen mit den 1000 t-Regelkähnen gesammelten Erfahrungen beim Begegnen und Überholen haben ergeben, daß diese Kähne zumindest für die ungünstigste Teilstrecke zwischen Ems und Weser bereits zu groß sind, während das größere Profil zwischen Weser und Elbe gerade eben als ausreichend angesehen werden kann. Die Wasserbreite in Schiffsbodenhöhe beträgt für die ungünstigste Strecke zwischen Ems und Weser ca. 2,6 × Schiffsbreite und zwischen Weser und Elbe maximal 3 × Schiffsbreite.

Da sich die Entwicklung in der Binnenschiffahrt mehr und mehr zum Selbstfahrer verlagert und auch mit Rücksicht auf die sehr großen Geschwindigkeitsverluste durch die beschränkte Überholungszulassung erscheint es für künftige Kanalbauten geboten, eine Vergrößerung der Querschnittsverhältnisse gegenüber den Werten, wie sie auf dem Mittellandkanal vorliegen (n zwischen 4,5 und 5,2) vorzusehen. Unter gleichzeitiger Berücksichtigung der Wirtschaftlichkeit, also Einschränkung der für den Kanalbau aufzuwendenden Kosten auf ein Minimum, dürfte wohl ein Querschnittsverhältnis von mindestens 5,5, besser aber bis zu 6 bei einer Wasserbreite in Schiffsbodenhöhe von mindestens 3 × B, besser 3,25 × B für das Regelschiff als angemessen für die Schiffahrt betrachtet werden, um so mehr, wenn man bedenkt, daß die allge-

meine Tendenz in der gesamten Binnenschiffahrt eine ansteigende Größe der Schiffsgefäße zeigt, die auch in Zukunft noch anhalten dürfte. Bei den neuesten Kanalprojekten, dem Rhein-Main-Donau-Kanal und dem Oder-Donau-Kanal entspricht die Dimensionierung auch schon dieser Forderung. Als geringste Wassertiefe in Kanalmitte dürfte der 1,75 fache Tiefgang des Regelschiffes anzusprechen sein. Bei der Entwicklung von kanalgängigen Binnenschiffen hat sich immer wieder gezeigt, daß die übliche Brückenhöhe von 3,9 m über Wasserspiegel unzureichend ist. Bei neu zu bauenden Kanälen empfiehlt es sich daher, die Brückenhöhe möglichst bis auf 4,5 m zu vergrößern.

IV. Günstigste Schiffsabmessungen.

Die bisherigen Überlegungen waren hauptsächlich darauf abgestellt, die Größe und Form des Kanalquerschnittes auf die berechtigten Forderungen der Kanalschiffahrt abzustimmen. Hierbei hat sich ergeben, daß es wünschenswert wäre, wenn der eingetauchte Hauptspantquerschnitt des Regelkahnes nicht mehr als $^1/_6$ des Kanalquerschnittes betragen sollte. Selbst für diese wesentlich verbesserten Schiffahrtsverhältnisse können bei wirtschaftlicher Ausnutzung des Kanals Überholungen im günstigsten Fall nur freifahrenden Selbstfahrern von etwa 650 t Tragfähigkeit gestattet werden. Daher ist die Formgebung der Kähne ebenfalls von ausschlaggebender Bedeutung, da ja die durchschnittliche Reisegeschwindigkeit auf dem Kanal vom ungünstigsten Kahntyp diktiert wird.

Ein Ausgleich könnte hier von schiffbaulicher Seite nur durch eine unwirtschaftliche Leistungsreserve der Schlepper oder durch eine Tiefgangsbeschränkung für schwerschleppende Kähne geschaffen werden. Eine solche Einschränkung könnte durch eine Widerstandseichung der Kähne erreicht werden und würde vermutlich ein Ansporn zum Umbau ungünstiger Kähne sein.

1. Einfluß der Hauptabmessungen.

Da der größte Teil der auf einem Kanal verkehrenden Schiffe auch über längere Flußstrecken fahren muß, ist bei der Wahl der Hauptabmessungen hierauf Rücksicht zu nehmen. Von einigen Spezialfahrzeugen abgesehen ergibt sich für die deutschen Binnenschiffahrtsverhältnisse eine größte Kahnlänge von 80 m und ein mittlerer Tiefgang von etwa 2 m, dieser kann auf den unteren Stromstrecken der großen Flüsse bis auf 2,5 m erhöht werden, während andererseits auf Strömen mit ungünstiger Wasserführung schon Abladungen von 1,6 bis 1,7 m zu den Seltenheiten gehören. Um auf diesen Strömen die Tragfähigkeit möglichst gut auszunutzen, sind hier breite, niedrige Schiffe mit B/T-Werten zwischen 5 und 6 vorzuziehen, während sich auf den großen Strömen schmalere und hochbordige Schiffe mit B/T-Werten zwischen 3 und 4 am besten bewährt haben. Die L/B-Werte liegen für die großen Kahntypen, die allein als Regelkähne in Frage kommen, zwischen 7,5 und 9.

Auf Kanalstrecken, bei denen allgemein eine volle Tragfähigkeitsausnutzung vorausgesetzt werden kann, haben sich gleichfalls die schmaleren, tiefergehenden Kähne den breiten, flachen Formen überlegen gezeigt. Gesamtwirtschaftlich gesehen steigt die Überlegenheit der breiten, flacher gehenden Fahrzeuge mit dem Anteil der Flußstrecke mit Tiefgangsbeschränkung an der Gesamtreise. Eine Vergleichsrechnung für 2 gleich lange, in ihrer Formgebung und Völligkeit ähnliche 1000-t-Kähne von 9 bzw. 10,5 m Breite (bei entsprechend vermindertem Tiefgang) zeigte, daß bereits wirtschaftliche Gleichwertigkeit besteht, wenn der Anteil der mit Tiefgangsbeschränkung zu

befahrenden Flußstrecke etwa 1/3 des Gesamtweges ausmacht. Hierbei ist es gleichgültig, ob der Fahrstreckenanteil, der bei voller Abladung befahren werden kann, auf Kanälen oder im freien Strom zurückgelegt wird.

Aus Modellversuchen und Erfahrungen mit großen Schiffen ergibt sich, daß bei gleicher Völligkeit, gleicher Lage des Verdrängungsschwerpunktes und gleichwertiger Spantform die durch Unterschiede in den Hauptabmessungen (Länge, Breite und Tiefgang) hervorgerufenen Differenzen im spezifischen Widerstand (W/D in kg/t) nur bis 5 v. H. betragen.

Innerhalb festgelegter Hauptabmessungen sind aber noch Unterschiede in der Formgebung der Schiffe möglich, die einen ganz erheblichen Einfluß sowohl auf den Widerstand als auch auf die Manövrierfähigkeit ausüben. Bei sonst gleicher Form (Spantform, Kimmabrundung, Lage des Verdrängungsschwerpunktes) kann durch Unterschiede in der Völligkeit bei Kähnen eine Veränderung des spezifischen Widerstandes bis zu 60 v. H. auftreten! Bei gleicher Völligkeit können durch Veränderungen der Spantform Unterschiede bis zu 35 v. H. verursacht werden, eine Abänderung der eckigen in eine abgerundete Kimm bringt bis zu 5 v. H. und eine Verlagerung des Verdrängungsschwerpunktes von Mitte Schiff bis zur Optimallage bei Kanalfahrt (maximal 2 v. H. vor Mitte Schiff) kann den spezifischen Widerstand noch um 6 bis 10 v. H. verbessern. Es ist also möglich, daß bei gleichen Hauptabmessungen ein schlechtes Fahrzeug mehr als den doppelten Widerstand bezogen auf die Verdrängungstonne hat wie ein anderes, das nach optimalen Linien gebaut ist.

Ausgedehnte Schleppversuche und Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen für alle nur möglichen Varianten, die größtenteils im Rahmen eines großen Typisierungsprogramms in der HSVA durchgeführt wurden, brachten grundlegende Erkenntnisse für dieses Problem, vor allem für Schleppkähne, jedoch auch für Selbstfahrer und Schlepper, die sich bei ihrer Überprüfung in der Praxis auf das beste bestätigten. Die vorliegenden Ausführungen stützen sich im wesentlichen auf diese Untersuchungen. Zunächst soll die Formgebung der Kähne, die ja das ursprüngliche Beförderungsmittel auf den Kanälen darstellen, besprochen werden.

2. Einfluß der Spantform.

Eine Übersicht über die auf den deutschen Flüssen und Kanälen hauptsächlich auftretenden Kahnformen gibt die Abb. 7. Aus den Kurven im rechten Teil des Bildes ist sofort ersichtlich, daß der flachbodige Typ „Berta" mit seinen Knickspanten den ungünstigsten Typ repräsentiert. Die sogenannte „dicke Berta" (vgl. Abb. 7, I) ist sogar so ungünstig, daß der Anbau eines neuen Vor- und Hinterschiffes bei gleichzeitiger Verlängerung notwendig wird, um sie mit den übrigen Kähnen konkurrenzfähig zu machen. Die etwas bessere „schlanke Berta" (Abb. 7, II) ist durch verhältnismäßig einfachen Umbau (abgerundete Spantfüße im Vor- und Hinterschiff) in eine auch den heutigen Anforderungen genügende Form zu bringen.

Bei der weitaus besten Form „Olga" handelt es sich um einen besonders guten Oderkahn, der in seiner Bauweise ausschließlich der Flußfahrt angepaßt ist. Für Kanalfahrt ist ein widerstandsmäßig etwas schlechteres Heck erforderlich, das aber den Vorteil besserer Kursbeständigkeit aufweist (Form „Amanda", der heute allgemein übliche Kahntyp). Anzumerken ist noch, daß der Unterschied zwischen „Olga" und „Amanda" in Wirklichkeit kleiner ist als 7 v. H. Die Kurven entsprechen Modellversuchsergebnissen, bei denen die größeren Gierverluste der „Olga" nicht berücksichtigt werden konnten.

3. Einfluß der Kimm.

Kähne mit eckiger Kimm haben eine gute Kursstabilität und geringe Abtrift, sie sind deshalb besonders geeignet für das Zutaltreiben auf Flüssen. In Kanälen jedoch verursacht eine eckige Kimm starke Beschädigungen der Böschung und ist deshalb für dies Fahrgebiet ganz verboten; abgesehen davon ist eine runde Kimm auch widerstandsmäßig besser. Normalerweise wird ein Kimmradius von 500 mm gewählt, nur für die Kähne aus dem ostdeutschen Raum (Elbe- und Oderkähne) ist mit Rücksicht auf das Treiben auf der Talfahrt eine Kimmabrundung von nur 250 mm gestattet.

4. Einfluß der Völligkeit.

Eine der schwierigsten Fragen war die Festlegung der wirtschaftlichsten Völligkeit für die Schleppkähne, die an Hand von Modellversuchen nicht ohne weiteres eindeutig beantwortet werden kann. Wohl zeigt der Modellversuch, daß der spezifische Kahnwiderstand mit zunehmender Völligkeit ansteigt, woraus man aber nicht ohne weiteres entscheiden kann, bis zu welcher Völligkeitsgrenze wirtschaftlich noch gegangen werden kann (vgl. Abb. 7). Die schiffbauliche Grenze ist dadurch gegeben, daß bei Völligkeiten über 90 v. H. die Steuerfähigkeit zu ungünstig wird.

Bei der allgemein üblichen Berechnungsmethode für die Schleppgebühren, die im wesentlichen nur proportional mit der tatsächlich geschleppten Ladungsmenge ansteigt, wobei die Güte der Schiffsform außer Ansatz bleibt, wäre es vom Standpunkt der Schlepper aus gesehen am vorteilhaftesten, wenn die Kähne möglichst scharf gebaut würden.

Betrachtet man diese Frage jedoch vom Standpunkt der Einzelschiffer, die im wesentlichen den Kahnraum auf den ost- und westdeutschen Strömen stellen, so sieht man, daß es für diese um so günstiger wird, je völliger ihre Kähne gebaut werden. Die Verdienstmöglichkeit nimmt mit der Größe der Tragfähigkeit mehr zu als die höheren Aufwendungen für die Schleppgebühren. Aus diesem Grunde sind Völligkeiten bis zu 90 v. H. und mehr keine Seltenheiten bei den Fahrzeugen der Partikulierschiffer.

Die heute noch übliche Tarifpolitik hat also die vielen besonders schwer schleppenden Kähne auf dem Gewissen. Im Laufe der Zeit stellte sich heraus, daß so hohe Völligkeiten auf jeden Fall zu ungünstig sind und daher in Zukunft nicht mehr gebaut werden sollten. Andererseits sind aber z. B. die auf der Donau üblichen Völligkeiten von 80 bis 82 v. H. für die übrigen Wasserstraßen zu gering.

Im Auftrage des Zentralvereins für Deutsche Binnenschiffahrt hat der Verfasser deshalb im Jahre 1940 durch systematische Modelluntersuchungen und Rentabilitätsrechnungen für Groß-Plauer-Maßkähne festgestellt, bei welcher Kahnvölligkeit das Optimum liegt, wenn die Interessen von Kahnhalter und Schleppreederei berücksichtigt werden. (3)

Abb. 8 zeigt diese Ergebnisse für mittlere Flußfahrtverhältnisse (z. B. Rheingebiet unterhalb von Köln) und für die Fahrtverhältnisse auf dem Mittellandkanal. Für beide Fahrgebiete ergab sich eine optimale Völligkeit von ca. 88 v. H., die heute für alle Neubauten mit wenigen Ausnahmen als verbindlich anerkannt wird.

Gleichzeitig erkennt man, daß die wirtschaftlichste Schleppgeschwindigkeit für Flußfahrt bei etwa 12 km/h gegen Totwasser liegt, ein Wert, der auch durch jahrzehntelange Erfahrung der Rheinschiffahrt als optimal festgestellt wurde. Für den Mittellandkanal ergab die Rechnung eine wirtschaftliche Schleppgeschwindigkeit von ca. 6,5 km/h. Wenn diese auch von der Kanalverwaltung

angestrebte Geschwindigkeit in der Praxis noch nicht ganz erreicht wird, so beruht das z. T. auf den vielen ungünstigen Kähnen, die auf dem Kanal eingesetzt sind und z. T. auf dem Schleppermangel, der dazu zwingt, längere Schleppzüge zu bilden, als ursprünglich vorgesehen war.

5. Einfluß der Schwerpunktslage.

Untersuchungen über die Schwerpunktslage haben ergeben, daß bei 88 v. H. Völligkeit für mittlere Flußfahrtverhältnisse der günstigste Verdrängungsschwerpunkt etwa 1 v. H. und für reine Kanalfahrt bis 2 v. H. vor Mitte Schiff angeordnet werden muß. Bei schärferen Schiffen muß der Schwerpunkt noch weiter nach vorn verlagert werden. Hieraus folgt die Erkenntnis, daß es bei Kähnen in erster Linie darauf ankommt, ein möglichst scharfes Hinterschiff zu entwickeln, wobei man mit der Vorschiffsvölligkeit sehr weit gehen kann.

Kähne, die während des Krieges nach diesen Erkenntnissen gebaut wurden, haben sich nicht nur im Widerstand sondern auch bezüglich ihrer Steuerfähigkeit ausgezeichnet bewährt. Die gute Steuerfähigkeit beruht z. T. auf dem gewählten Spantcharakter (Amandaform) und z. T. auf der durch die Schwerpunktslage bedingten Hinterschiffsschärfe. Der vor Mitte Schiff gelegte Verdrängungsschwerpunkt vermindert also nicht nur den Schiffswiderstand, sondern er erhöht darüber hinaus noch die Steuerfähigkeit.

Wie sich die Widerstandsunterschiede der verschiedenen Kahnformen auf die Geschwindigkeit der Schleppzüge auswirken, zeigt die folgende Tabelle für die Fahrtverhältnisse auf dem Mittellandkanal.

Erreichbare Schleppgeschwindigkeiten verschiedener Schleppzüge mit 250 WPS Schleppleistung.

Schleppzug	Abladung m	Verdrängung m^3	Ladung t	Geschw. km/h
3 normale Amanda	2,00	2880	2250	6,80
3 Hulda	2,00	2880	2250	6,50
Hulda-dicke Berta-Weser	2,00	2562	2010	6,20
Hulda-schlanke Berta-Weser	2,00	2518	1980	6,35
Hulda-schlanke Berta (umgebaut)-Weser	2,00	2513	1975	6,55
3 dicke Berta	2,00	2481	1890	5,50
3 schlanke Berta	2,00	2349	1800	6,20
3 schlanke Berta (umgebaut)	2,00	2334	1785	6,90
2 große Amanda	2,00	2500	2000	6,85
2 Rhein-Herne-Kanalkähne	1,80	2394	1670	6,80
2 Hulda	2,35	2260	1840	6,50

V. Kanalschlepper.

Der Entwicklung möglichst hochwertiger Kanalschlepper sind gleichfalls umfangreiche Modellversuche vorausgegangen. Geprüft wurden die verschiedenen Antriebsarten wie Dampf-, Gas- und Dieselantrieb als Ein- und Zweischrauber mit und ohne Kortdüse.

Grundsätzlich hat sich ergeben, daß bei gleicher Gesamt-Propellerstrahlfläche der Einschrauber dem Zweischrauber hydraulisch stets überlegen ist, selbst dann, wenn die Schraube stark eingetunnelt werden muß. Der Düsenantrieb übertrifft jede andere Anordnung; die Propulsionsverbesserung durch die Düse nimmt mit abnehmendem Schraubendurchmesser, also mit steigender

Propellerbelastung zu, unbeschadet der Tatsache, daß ein großer Propeller immer besser sein wird als ein kleiner Propeller, wenn die Drehzahl frei gewählt werden kann.

Im Laufe der ausgeführten Modellversuche über den Sohlenangriff mit Schleppern und Selbstfahrern haben sich wirksame Mittel ergeben, um den Sohlenangriff eines Propellerstromes von bestimmtem Energiegehalt weitgehend zu vermindern. Es kommt darauf hinaus, die vom Propeller dem Wasser mitgeteilte Energie möglichst vom Boden abzulenken und auf einen breiten Querschnitt nach oben zur Wasseroberfläche hin zu verteilen; das ist wesentlich wirksamer als der früher meist angewandte Ausweg, die Propellerbelastung allein zu vermindern, indem man die kleinen, hochbelasteten Schrauben durch minderbelastete von großem Durchmesser ersetzte, deren Flügel dann z. T. aus dem Wasser tauchten und durch einen Tunnel abgeschirmt werden mußten. Hierdurch wird die Ausbreitung der Energie nach oben verhindert und der hydraulisch sehr leistungsfähige Einschrauber mit großem Propellerdurchmesser wirkt in Bezug auf den Sohlenangriff ungünstig.

Die aus dieser Erkenntnis entwickelten Mittel haben bewirkt, daß sowohl bei den Schleppern als auch bei den Selbstfahrern der Sohlenangriff gegenüber dem bisher beobachteten Maß wesentlich — in Grenzfällen bis auf etwa $^1/_{10}$ — herabgedrückt werden konnte. Die zur Erzielung dieser Wirkung vorgeschlagenen Maßnahmen verschlechterten im allgemeinen die hydraulische Leistungsfähigkeit nur unwesentlich.

Unter Berücksichtigung eines möglichst geringen Sohlenangriffes haben die Zweischrauber, bei denen trotz kleinerer Propellerdurchmesser die größten Strahlflächen untergebracht werden konnten, allgemein die günstigsten Trossenzugwerte. Ihre Überlegenheit über in Bezug auf Sohlenangriff gleichwertige Einschrauber betrug im günstigsten Fall ca. 10 v. H.

VI. Selbstfahrer.

Die seit 1930 klar erkennbare Tendenz in der Weiterentwicklung der Binnenschiffahrt zeigt, daß das eigengetriebene Güterschiff — der sogenannte Selbstfahrer — immer mehr an Boden gewinnt. Das zunächst nur für die notwendige Verkehrsbeschleunigung im Stückgutverkehr gedachte Fahrzeug hat sich im Laufe der Zeit mit Erfolg auch im Massengutverkehr einschalten können. Es muß deshalb damit gerechnet werden, daß diser Schiffstyp in immer größerer Zahl auch auf den Kanälen erscheinen wird. Bei Neuplanungen von Binnenschiffskanälen muß deshalb dieser Entwicklung weitgehend Rechnung getragen werden.

Für die Bemessung eines Kanals ist, wie schon mehrfach erwähnt, der größte in größerer Anzahl auftretende Schiffstyp, das sogenannte Regelschiff, entscheidend. Im Verkehrsraum der deutschen Binnenschiffahrt kommt hierfür z. Z. und höchstwahrscheinlich auch für die weitere Zukunft als Selbstfahrer, der in größerer Zahl auftritt, der Groß-Plauer-Maß-Selbstfahrer von ca. 700 t Tragfähigkeit bei 2 m Abladung in Frage. Dieser Schiffstyp kann nämlich alle vorhandenen Großschiffahrtsstraßen einschließlich der ostdeutschen Wasserstraßen befahren.

Im Zuge der Moselkanalisierung wird von französischer Seite ein noch größerer Selbstfahrer von ca. 1000 t Tragfähigkeit geplant. Ob sich dieser Typ durchsetzt und auch für den Verkehr auf den größeren Kanälen in Frage kommt, muß abgewartet werden. Jedenfalls sollte man bei Neuplanungen einen solchen Typ mit ins Auge fassen.

Abgesehen von den anfänglichen Schwierigkeiten, die die z. T. sehr hoch belasteten Selbstfahrerschrauben in Bezug auf den Angriff der Kanalsohle verursacht haben und die alle mit verhältnismäßig einfachen Mitteln behoben werden konnten, haben die Rundfahrt-Selbstfahrer in Hinsicht auf Geschwindigkeit und Manövrierfähigkeit selbst in den ungünstigsten Fällen, bei nachträglich motorisierten Schleppkähnen, keinen Anlaß mehr zu Beanstandungen von seiten der Kanalverwaltung gegeben.

Die Schwierigkeiten für die Schiffahrt besteht darin, daß infolge der begrenzten Kanalgeschwindigkeit die Motoren bei zu niedrigen Drehzahlen arbeiten müssen, worunter die Maschinen sehr leiden. Da sich andererseits gezeigt hat, daß die eingebauten Motorleistungen von 400 PSe, eigentlich noch zu klein für die Oberrheinfahrt bemessen sind, und daher die Maschinen zu stark überlastet werden, wird bei zukünftigen Bauten eine Motorleistung von ca. 500 PSe beabsichtigt. Hierdurch würden sich jedoch die Verhältnisse für die Kanalfahrt noch ungünstiger stellen.

Technische Möglichkeiten zur Behebung dieser Schwierigkeiten sind kostspielig und würden die Wirtschaftlichkeit dieses Schiffstyps ungünstig beeinflussen. Eine technische Möglichkeit wäre z. B., für die Kanalfahrt einen etwa 100pferdigen Sonderantrieb vorzusehen, dessen Drehzahl durch ein Getriebe bzw. dieselelektrisch auf die niedrige Propellerzahl untersetzt wird. Bei hohen Belastungen auf dem Oberrhein könnte dieser Motor durch eine zweite Getriebestufe bzw. durch elektrische Übertragung zu der vorhandenen 400pferdigen Hauptmaschine zugeschaltet werden.

Eine durchaus wirtschaftliche Lösung kann z. B. sein, die Selbstfahrer auf den Kanalstrecken als Schlepper einzusetzen. Die vorhandene Antriebsleistung von 400 PSe würde auf dem Mittellandkanal durchaus ausreichen, um zusätzlich noch 2 gute, voll abgeladene Kähne von 1000 t Tragfähigkeit bei der angestrebten Schleppgeschwindigkeit von 6,5 km/h zu schleppen. (3) Praktische Versuche dieser Art, die während des letzten Krieges auf dem Mittellandkanal durchgeführt und später wegen Brennstoffmangel wieder aufgegeben werden mußten, haben in technischer Hinsicht auch durchaus befriedigt. Andererseits hat sich jedoch gezeigt, daß die große wirtschaftliche Überlegenheit der Selbstfahrer gerade in ihrer Freizügigkeit liegt. Während sich der schleppende Selbstfahrer den Gepflogenheiten der Schleppschiffahrt anpassen muß, kann der freifahrende Selbstfahrer in den Zeiten nach Betriebsschluß, wo die Schleppschiffahrt ruht, noch nahezu ungehindert durch die vor Anker liegenden Schleppzüge mit ziemlich hoher Geschwindigkeit weiterfahren, solange es die Sichtverhältnisse gestatten. Der hierdurch für den Selbstfahrer erzielbare Nutzen ist wesentlich größer als der beim zusätzlichen Schleppen erzielbare. Als weiterer Beweis für die große Wirtschaftlichkeit der Selbsfahrer sei z. B. erwähnt, daß in den letzten Jahren eine Reise von der Weser bis Mannheim in beiden Richtungen mit einem Selbstfahrer 20 Tage gegenüber 55 bis 60 Tage mit einem Schleppkahn dauerte. Wenn auch damit zu rechnen ist, daß diese extremen Unterschiede zum Teil auf die schwierigen Verhältnisse der letzten Jahre zurückzuführen sind, so bleibt ein beachtlicher Vorteil doch unter allen Umständen bestehen.

Andererseits geht die Entwicklung in der Flußschiffahrt dahin, die Selbstfahrer auf den unteren Stromstrecken, wo sich für die Freifahrt die volle Auslastung der vorhandenen Motorleistung nicht mehr lohnt, als Eilschlepper mit einem bis höchstens zwei Anhangskähnen einzusetzen. Auf den oberen Stromstrecken, wo die Stromgeschwindigkeiten sehr hoch werden, wird der Anhang dann an flachgehende Spezialschlepper abgegeben, während der Selbstfahrer

den Rest der Reise freifahrend beendet. Dieser Eilschleppdienst wird sich wohl hauptsächlich auf den wasserarmen Strömen wie Weser, Elbe und Oder durchsetzen. Auf der Donau ist vor und während des letzten Krieges mit den starken, 800pferdigen Doppelschrauben-Selbstfahrern ein solcher Eilschleppdienst bereits mit großem Erfolg betrieben worden.

Bei weiterer Steigerung der Antriebsleistung für Einschrauber auf die geplanten 500 PSe wird sich diese Methode wohl auch auf dem Rhein stärker durchsetzen. Ob sich ein solcher Eilschleppdienst auch auf den vorhandenen Kanalstrecken mit Erfolg durchführen läßt, wird in erster Linie davon abhängen, ob solche Schleppzüge in den Zeiten, wo der normale Schleppdienst ruht, noch mit möglichst hoher Geschwindigkeit einige Stunden weiterfahren können.

VII. Grenzgeschwindigkeiten im Kanal.

Untersuchungen über die Frage, wie weit sich r e i n t e c h n i s c h ohne Berücksichtigung der Wirtschaftlichkeit die Grenzgeschwindigkeit für Schleppzüge auf dem Mittellandkanal steigern läßt, haben zu folgenden Erkenntnissen geführt (5):

Die Grenze der Kanalgeschwindigkeit wird hauptsächlich von 3 Faktoren bestimmt:

1. hydraulisch durch den von der Stauwelle vergrößerten Kahnwiderstand,
2. nautisch durch die Steuerfähigkeit der Kähne,
3. bautechnisch durch die Einwirkung des Propellerstromes auf die Kanalsohle.

Zu 1. hat sich ergeben, daß die Grenzgeschwindigkeit auf dem Kanal bei etwa 55 v. H. der Stauwellengeschwindigkeit gegenüber 60 v. H. bei Flußfahrt liegt (Abb. 9). Auf einem in seiner Wasserbreite praktisch unbeschränkten Fluß errechnet sich die kritische Geschwindigkeit nach der Beziehung $v_k = \sqrt{g \cdot Hw}$ (Erdbeschleunigung $\times$ mittlere Wassertiefe in der Fahrrinne). Auf dem Kanal wird einmal durch die Breitenbeschränkung und darüber hinaus durch die Querschnittsbeschränkung durch das Schiff und die Wasserspiegelabsenkung diese Formel zu dem Ausdruck: $v_k = \sqrt{\frac{F_e}{U}}$ hierbei bedeutet F_e den effektiven Kanalquerschnitt bei Erreichung der Stauwellengeschwindigkeit, d. h. ursprünglicher Wasserquerschnitt des Kanals minus Schiffsquerschnitt minus Wasserspiegelabsenkung, und U den verbleibenden benetzten Kanalumfang).

Für den Mittellandkanal mit n = 4,5 bis 5,2 ergibt sich demnach die Grenzgeschwindigkeit zu etwa 7,6 km/h, während auf einem freien Strom bei gleicher Wassertiefe die Grenzgeschwindigkeit bei 12,5 km/h liegen würde. Unter den gleichen Annahmen errechnet sich diese Grenzgeschwindigkeit für den wesentlich günstigeren Rhein-Main-Donau-Kanal mit einem Querschnittsverhältnis von n = 6 zu etwa 8,6 km/h.

Ein Selbstfahrer, der auf dem Fluß bei 3,5 m Wassertiefe 14 bis 15 km/h fährt, d. h. also bei etwa 70 v. H. der Stauwellengeschwindigkeit, wird im Mittellandkanal bei voller Ausnutzung seiner Maschinenleistung kaum über 9 km/h hinaus kommen.

Um eine Schleppgeschwindigkeit von 7,6 km/h mit den bisherigen Regelschleppzügen mit gut geformten Kähnen und 2000 t Ladung zu erreichen, wäre eine Schlepperleistung von 500 PSe erforderlich. Mit der für den Mittellandkanal noch tragbaren Schlepperleistung von 350 PSe könnte diese Geschwindigkeit nur mit 2 gut geformten Kähnen von 1600 bis 1700 t Ladung im Anhang erreicht werden.

Zu 2. haben die Untersuchungen ergeben, daß eine Steigerung der Schleppgeschwindigkeit bis zu etwa 8 km/h mit geeigneten Ruderanlagen (statt des im Totwasser des Kahns liegenden Mittelruders beiderseitig nach außen in gesunde Strömung verlegte Ruder wie z. B. das Hitzler-Ruder) durchaus möglich ist, daß es aber bei dem heutigen Kahnbestand (viele plumpe, ältere Kähne mit Hackebeilruder) fraglich ist, ob mit diesen Kähnen solche Geschwindigkeiten gefahrlos wegen ihrer schlechten Kursstetigkeit gefahren werden könnten.

Zu 3. Mit einer stärkeren Wellenbildung durch den Stauwelleneinfluß ist bei gut geformten Kähnen, die allein für eine Geschwindigkeitssteigerung in Frage kommen, erst bei Geschwindigkeiten ab 70 v. H. der Stauwellengeschwindigkeit, also etwa bei 9,5 km/h zu rechnen. Entscheidend bleibt also die Wirkung des Propellerstromes auf die Kanalsohle. Die in dieser Hinsicht angestellten Versuche haben gezeigt, daß noch durchaus die Möglichkeit besteht, die Schlepperleistung über 250 PSe hinaus zu steigern, wenn nur die Energievernichtung in geeigneter Weise von der Kanalsohle ferngehalten wird. Auf Grund der bisherigen Erfahrungen wird man als Grenze für die Leistungssteigerung wohl eine Leistung von 350 PSe annehmen müssen. Mit den geeigneten Mitteln wird es möglich sein, den Sohlenangriff in tragbaren Grenzen zu halten.

Als Gesamtergebnis dieser Untersuchungen folgt, daß t e c h n i s c h die Grenzgeschwindigkeit für den Schleppzug auf dem Mittellandkanal bis auf etwa 7,6 km/h und die Schlepperleistung bis auf 350 PSe gesteigert werden können. Mit dieser Leistung kann ein 2-Kahn-Schleppzug mit gut geformten Kähnen bei einer Gesamtladung von 1600 bis 1700 t auf die obige Geschwindigkeit gebracht werden. Bei dieser Belastung und Geschwindigkeit würde der Schlepper gerade das Optimum seines Schleppwirkungsgrades mit 37 v. H. erreichen (vgl. Abb. 10). Voraussetzung hierbei ist jedoch, daß die geschleppten Kähne über eine besonders gute Steuerfähigkeit verfügen. Durch eine Rentabilitätsrechnung, die für die mutmaßlichen Fahrtverhältnisse des geplanten Rhein-Main-Donau-Kanals angestellt wurde, konnte nachgewiesen werden, daß in w i r t s c h a f t l i c h e r Hinsicht eine Überschreitung der Schlepperleistung von 350 PSe selbst für diesen sehr großen Kanal nicht zu empfehlen ist.

Bei den derzeitigen Gegebenheiten auf dem Mittellandkanal kann in absehbarer Zeit kaum damit gerechnet werden, daß diese Grenzgeschwindigkeit auch nur näherungsweise von allen Schleppzügen erreicht wird, da hierfür die notwendigen Voraussetzungen nicht gegeben sind. Des weiteren haben die angestellten Wirtschaftlichkeitsberechnungen ergeben (vgl. Abb. 8), daß es sich für den n o r m a l e n F r a c h t v e r k e h r kaum lohnen dürfte, die mittlere Schleppgeschwindigkeit wesentlich über 6,5 km/h hinaus zu steigern, da einmal die Aufwendungen für die Modernisierung des vorhandenen Kahnparks und für die Beschaffung der notwendigen stärkeren Schlepper viel zu hoch sind und zum anderen die für die stärkeren Schlepper erforderlich werdenden höheren Schleppgebühren b e i B e i b e h a l t u n g d e r ü b l i c h e n F r a c h t r a t e n von der Schiffahrt nicht getragen werden könnten.

Dagegen scheint f ü r d e n T r a n s p o r t h o c h w e r t i g e r G ü t e r der in Vorschlag gebrachte E i l s c h l e p p d i e n s t durch Selbstfahrer mit einem gut steuerfähigen Anhangkahn durchaus realisierbar zu sein. Die notwendigen höheren Brennstoffkosten könnten durch günstigere Frachtraten leicht ausgeglichen werden, zumal da die Belastung des Selbstfahrermotors beim Schleppen wesentlich günstiger ist, als bei der sehr geringen Freifahrtbelastung. Der spezifische Brennstoffverbrauch wird daher beim Schleppen

günstiger, weiter wird die Maschinenanlage mehr geschont, wodurch die Reparaturkosten fallen.

Für diesen Eilschleppdienst wird vorausgesetzt, daß während der Hauptbetriebszeit die normale Schleppgeschwindigkeit (etwa 6,5 km/h) eingehalten wird, also keine Überholungen ausgeführt werden dürfen, daß aber nach Betriebsschluß genau so, wie es heute die freifahrenden Selbstfahrer machen, mit erhöhter Geschwindigkeit noch so lange weiterfahren wird, wie die Sichtverhältnisse dies gestatten. Ob sich die errechnete Grenzgeschwindigkeit in voller Höhe erreichen läßt, müßte dem praktischen Versuch überlassen bleiben. Bei modernen Selbstfahrern müßte die z. Z. vorhandene Antriebsleistung von ca. 400 PSe für diese Geschwindigkeit jedenfalls reichlich genügen. Da die Überholungsuntersuchungen ergeben haben, daß die Zugwirkung des Schleppers die Kursstetigkeit des ersten Kahnes sehr erhöht, müßte ein gut geformter Schleppkahn mit einer modernen Ruderanlage durchaus in der Lage sein, die erhöhten Anforderungen an die Manövrierfähigkeit zu erfüllen. Weiter haben die modernen, für Kanalfahrt entwickelten Selbstfahrer bei gleicher Leistung einen wesentlich geringeren Sohlenangriff als jeder Kanalschlepper, so daß auch in dieser Hinsicht gegen eine Leistungssteigerung über 250 PSe hinaus keine Bedenken bestehen.

Die vorgeschlagene Maßnahme bedeutet keine zusätzliche Belastung für den normalen Schiffsverkehr auf dem Kanal, auch sind genügend geeignete Fahrzeuge schon jetzt vorhanden, so daß eine versuchsmäßige Aufnahme eines solchen Eilschleppdienstes jederzeit möglich wäre und für die Weiterentwicklung im Kanal- und Schiffbau sicher sehr interessante Ergebnisse liefern würde.

VIII. Zusammenfassung.

Aus dem in der vorliegenden Arbeit zusammengestellten Material haben sich die folgenden Erkenntnisse ergeben:

1. Für die Anforderungen, wie sie von Seiten der Schiffahrt an einen modernen Binnenschiffahrtskanal gestellt werden müssen, ist unter der Voraussetzung möglichst langer Schleusenhaltungen ein Wasserquerschnitt von mindestens 5,5fachem, besser aber 6fachem Betrag des eingetauchten Hauptspantquerschnittes vom Regelschiff vorzusehen.

2. Zur Gewährleistung einwandfreier Begegnungen bei beschränkter Überholungmöglichkeit ist eine Kanalbreite in Schiffsbodenhöhe von mindestens 3 Schiffsbreiten des Regelschiffes erforderlich. Bei erweiterter Überholungsmöglichkeit ist dieses Maß auf 3,25- bis 3,5fache Schiffsbreite zu erhöhen bzw. es sind Weichen vorzusehen.

3. Andererseits steigt die wirtschaftliche Kanalgeschwindigkeit mit der Wassertiefe in Kanalmitte. Als Mindestwert muß hier der 1,75fache Tiefgang des Regelschiffes gefordert werden, besser wäre etwa der 1,9fache Betrag des Tiefganges.

Zu 2. und 3.: Eine eindeutige Entscheidung über das Optimum zwischen diesen beiden Werten ist nach dem bisher vorliegenden Material noch nicht möglich. Hierfür wären weitere Modellversuche erforderlich. Daß eine solche Entscheidung bei dem heutigen Stande der Modellversuchstechnik auf Grund von Modellversuchen getroffen werden kann, haben die in der vorliegenden Arbeit im Auszug mitgeteilten Modell- und Großversuche bewiesen.

4. Als Profilumriß ist die Muldenform am besten geeignet. Die Kanalbrückenhöhe solte 4,5 m nicht unterschreiten.

5. Die wirtschaftliche Kanalgeschwindigkeit liegt etwa bei 47 v.H. und die höchstzulässige Kanalgeschwindigkeit ungefähr bei 55 v. H. der Stauwellengeschwindigkeit.

6. Um eine wirtschaftliche Kanalausnutzung zu gewährleisten, ist anzustreben, daß die mittlere Reisegeschwindigkeit auf dem Kanal der wirtschaftlichen Kanalgeschwindigkeit ziemlich nahekommt. Aus diesem Grunde sind

a) Überholungen auf ein Mindestmaß zu beschränken,
b) eine möglichst engbegrenzte Durchschnittsgeschwindigkeit, die etwa der wirtschaftlichen Kanalgeschwindigkeit entspricht, von allen Fahrzeugen einzuhalten,
c) schwerschleppende Kähne vom Kanalverkehr auszuschließen oder in ihrer Abladung zu beschränken.

7. Die hydraulisch günstigste Schlepperleistung liegt bei 350 PSe, während die wirtschaftlichste Schlepperleistung im allgemeinen etwas niedriger liegt.

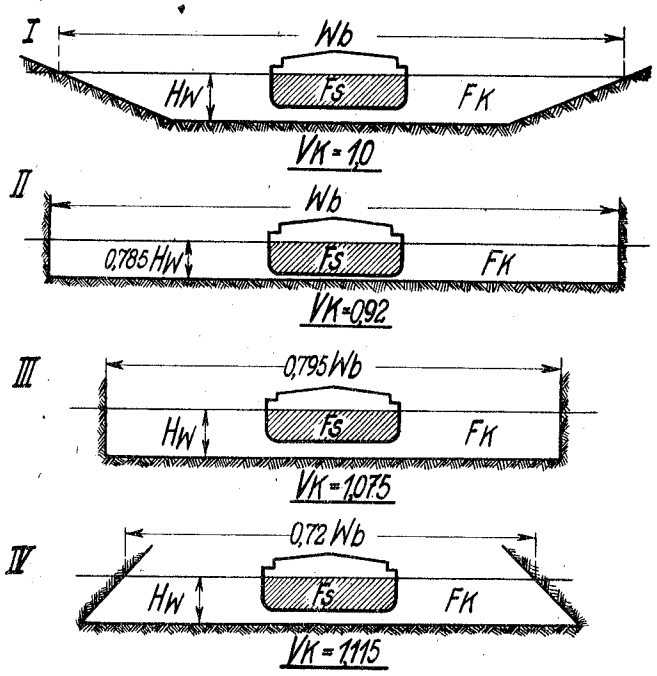
8. Selbstfahrer, die unter das Überholungsverbot fallen, sollten zur wirtschaftlichen Ausnutzung ihrer Leistung zum Schleppen und zwar möglichst für Eilschleppzüge, die nur einen Kahn befördern, eingesetzt werden. Diesen Eilschleppzügen müßte bei guter Sicht eine verlängerte Fahrzeit innerhalb der einzelnen Schleusenhaltungen zugebilligt werden.

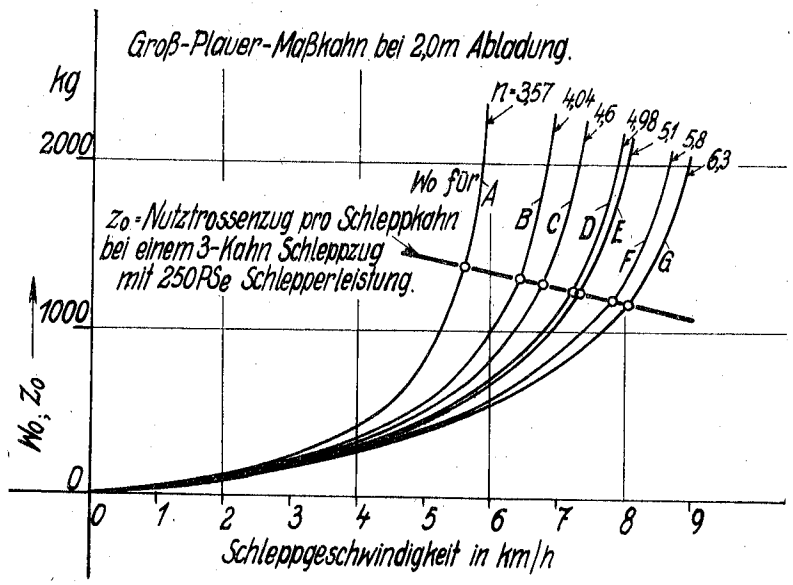
9. Die Schlepper und Selbstfahrer sind so zu konstruieren, daß ihre Antriebsmittel keine unzulässigen Beschädigungen der Kanalsohle hervorrufen.

Literaturverzeichnis.

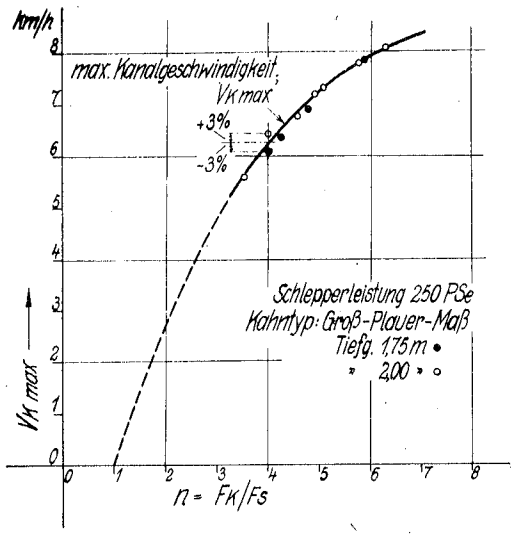
(1) Engels u. Gebers: Weitere Schleppversuche mit Kahnmodellen in Kanalprofilen, ausgeführt in der Übigauer Versuchsanstalt; Jahrb. Schiffbautechn. Ges. IX, 1908.
Helm: Tiefen- und Breiteneinflüsse von Kanälen auf den Schiffswiderstand; Hydromechan. Probleme d. Schiffsantriebs II, R. Oldenbourg, München u. Berlin, 1940.
(3) Helm: Selbstfahrer-Güterboote als Schlepper; WRH, 1941, Heft 18.
(4) Helm: Einfluß von Kanalstrecken auf die Wirtschaftlichkeit im Seeverkehr; Schiff und Werft 1943, Heft 9/10.
(5) Kempf u. Helm: Grenzgeschwindigkeit für den Schleppzug im Kanal; Jahrb. Schiffbautechn. Ges. XXXIX, 1938.

Nr. 14
Abb. 1 - 2

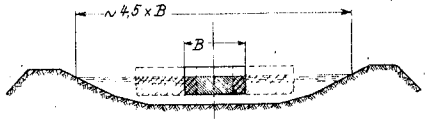

I
Wb
Hw
Fs
FK
VK = 1,0
II
Wb
0,785 Hw
Fs
FK
VK = 0,92
III
0,795 Wb
Hw
Fs
FK
VK = 1,075
IV
0,72 Wb
Hw
Fs
FK
VK = 1,115


Groß-Plauer-Maßkahn bei 2,0m Abladung.
kg
2000
1000
0
Wo; Zo
n = 3,57
4,04
4,6
4,98
5,1
5,8
6,3
Wo für
A
B
C
D
E
F
G
Zo = Nutztrossenzug pro Schleppkahn bei einem 3-Kahn Schleppzug mit 250 PSe Schlepperleistung.
0
1
2
3
4
5
6
7
8
9
Schleppgeschwindigkeit in km/h

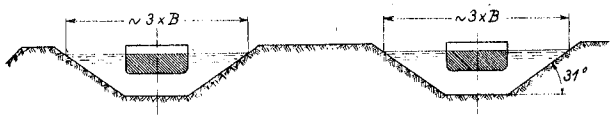
Nr. 14
Abb. 3 · 4



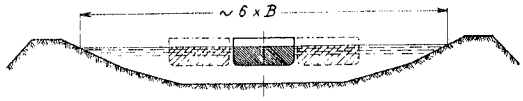
A. zweischiffiger Kanal Q = 430 m², F_K/F_S = 5,5
zulässige Kanalgeschw. ~ 10 km/h; vermutliche mittlere Reisegeschw. ~ 7,5 km/h



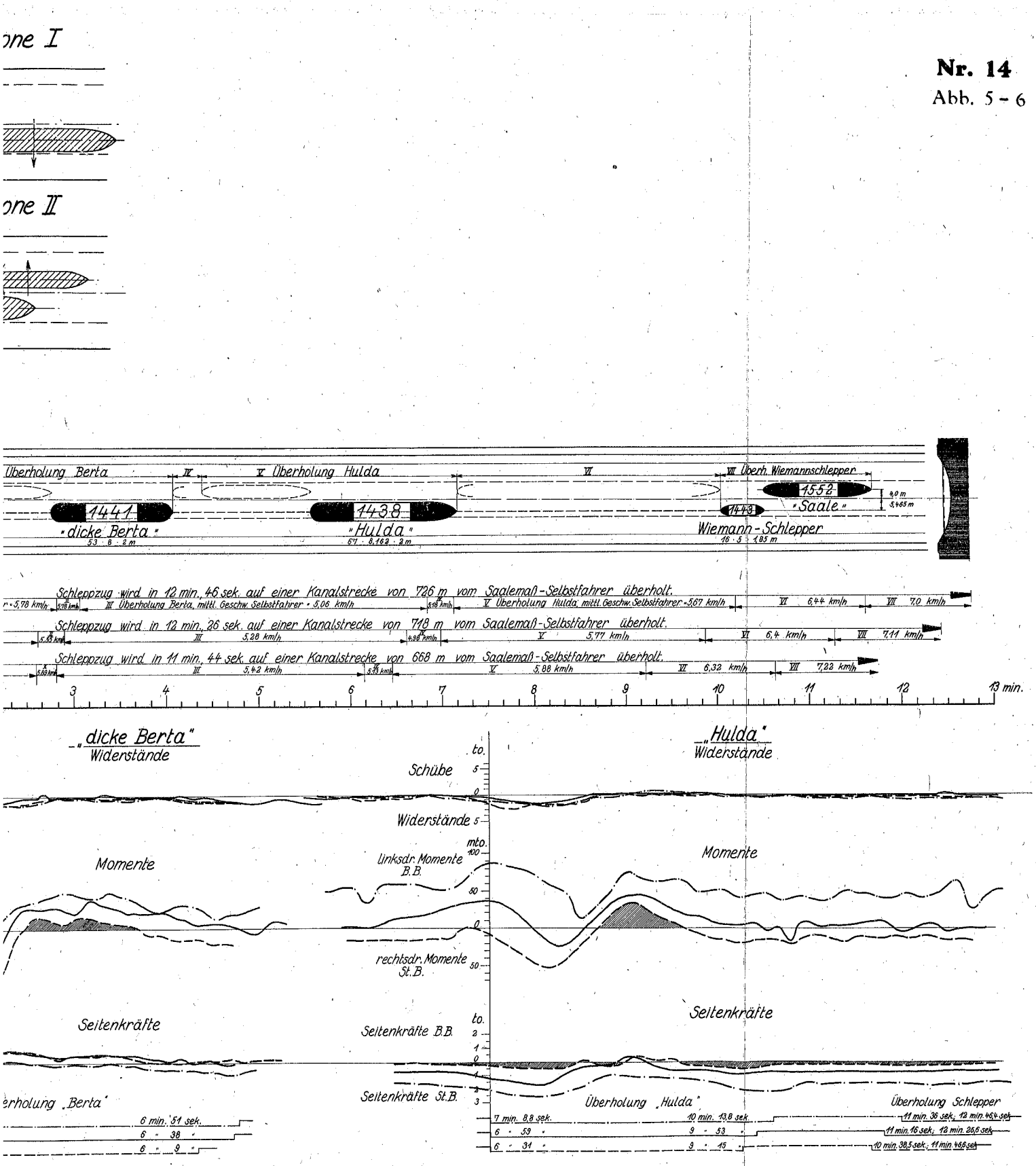
B. einschiffiger Doppelkanal Σ Q = 2 x 382 m², F_K/F_S = 4,88
zulässige Kanalgeschw. ~ 10 km/h; vermutliche mittl. Reisegeschw. max. ~ 11 km/h

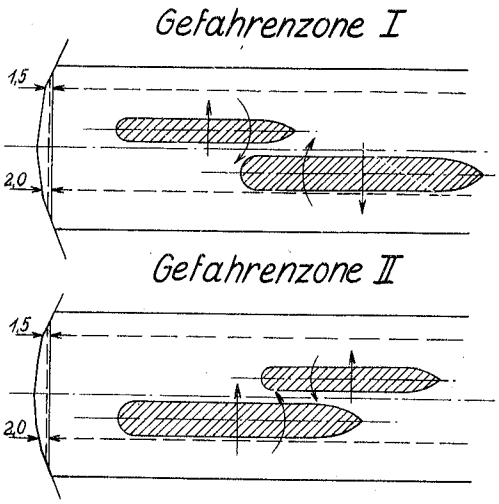


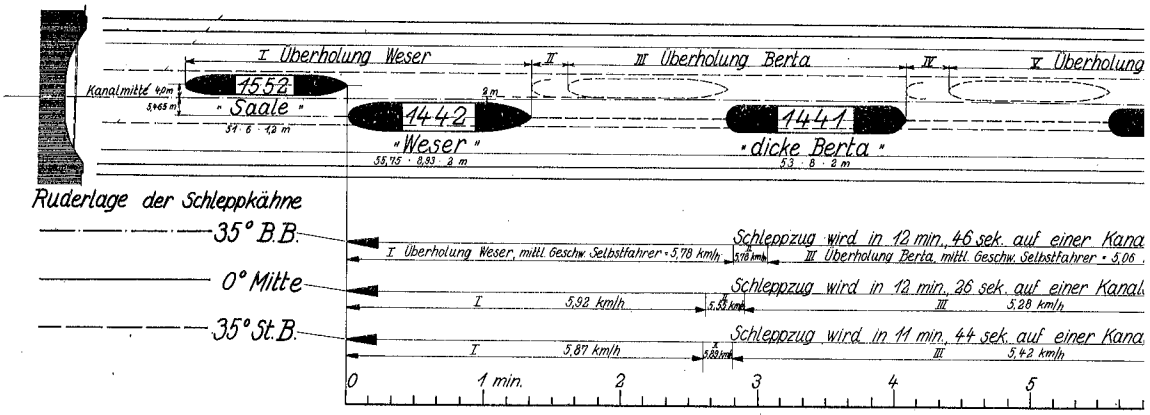
C. zweischiffiger Kanal Q = 764 m²; F_K/F_S = 9,77
zulässige Kanalgeschw. ~ 16,8 km/h; vermutliche mittlere Reisegeschw. ~ 13,5 km/h



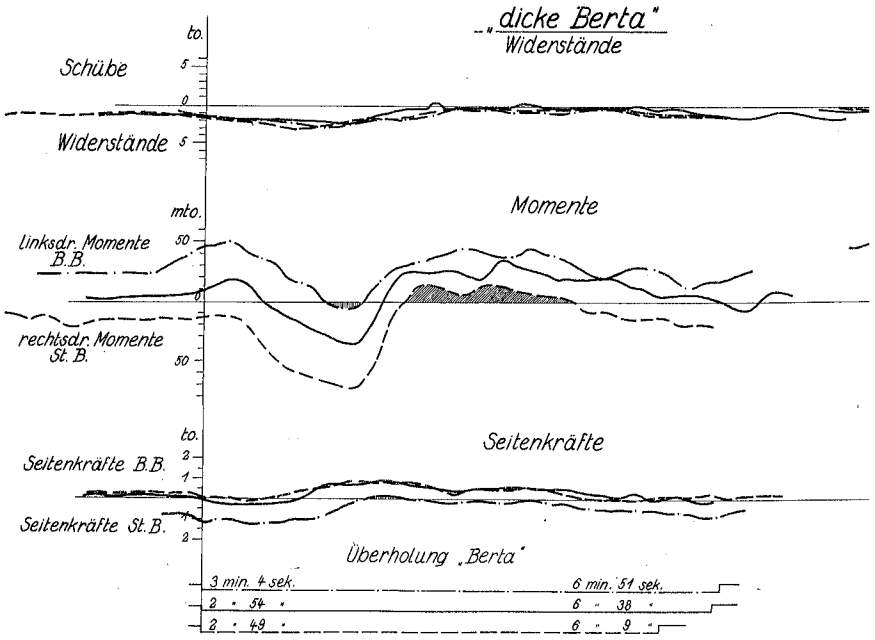
Nr. 14
Abb. 5 - 6

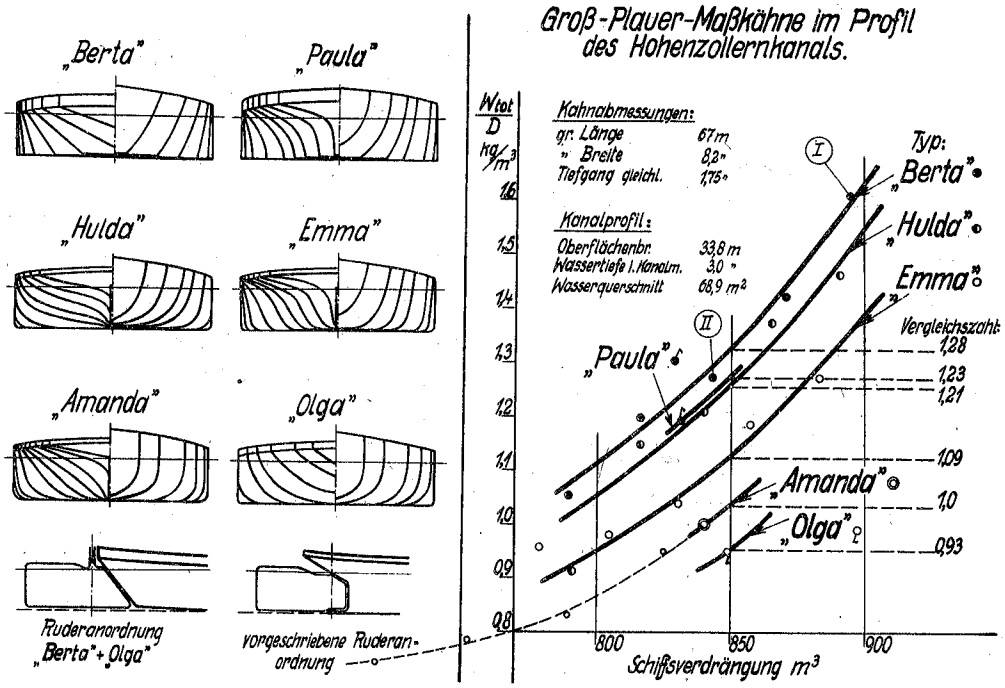

one I
one II
Überholung Berta
IV
V Überholung Hulda
VI
VII Überh. Wiemannschlepper
1441
„dicke Berta"
53 · 8 · 2 m
1438
„Hulda"
67 · 8,162 · 2 m
1443
Wiemann-Schlepper
16 · 5 · 1,85 m
1552
„Saale"
4,0 m
5,465 m
Schleppzug wird in 12 min., 46 sek. auf einer Kanalstrecke von 726 m vom Saalemaß-Selbstfahrer überholt.
III Überholung Berta, mittl. Geschw. Selbstfahrer = 5,06 km/h
V Überholung Hulda, mittl. Geschw. Selbstfahrer = 5,67 km/h
VI 6,44 km/h
VII 7,0 km/h
Schleppzug wird in 12 min., 26 sek. auf einer Kanalstrecke von 718 m vom Saalemaß-Selbstfahrer überholt.
III 5,28 km/h
V 5,77 km/h
VI 6,4 km/h
VII 7,11 km/h
Schleppzug wird in 11 min., 44 sek. auf einer Kanalstrecke von 668 m vom Saalemaß-Selbstfahrer überholt.
III 5,42 km/h
V 5,88 km/h
VI 6,32 km/h
VII 7,22 km/h
3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 min.
„dicke Berta"
Widerstände
„Hulda"
Widerstände
to.
Schübe
Widerstände
mto.
Momente
linksdr. Momente B.B.
rechtsdr. Momente St.B.
Momente
Seitenkräfte
Seitenkräfte B.B.
Seitenkräfte St.B.
Seitenkräfte
erholung „Berta"
6 min. 51 sek.
6 " 38 "
6 " 9 "
Überholung „Hulda"
7 min. 8,8 sek.
6 " 59 "
6 " 31 "
10 min. 13,8 sek.
9 " 53 "
9 " 15 "
Überholung Schlepper
11 min. 36 sek.; 12 min. 46,4 sek.
11 min. 16 sek.; 12 min. 26,6 sek.
10 min. 38,5 sek.; 11 min. 46,6 sek.


Gefahrenzone I
1,5
2,0
Gefahrenzone II
1,5
2,0


I Überholung Weser
II
III Überholung Berta
IV
V Überholung
Kanalmitte 40 m
5,965 m
1552
" Saale "
54 · 6 · 1,2 m
1442
" Weser "
55,75 · 8,93 · 2 m
2 m
1441
" dicke Berta "
53 · 8 · 2 m

Ruderlage der Schleppkähne
35° B.B.
0° Mitte
35° St.B.
Schleppzug wird in 12 min., 46 sek. auf einer Kana
I Überholung Weser, mittl. Geschw. Selbstfahrer = 5,78 km/h
5,78 km/h
III Überholung Berta, mittl. Geschw. Selbstfahrer = 5,06
Schleppzug wird in 12 min., 26 sek. auf einer Kanal
I 5,92 km/h
5,53 km/h
III 5,28 km/h
Schleppzug wird in 11 min., 44 sek. auf einer Kana
I 5,87 km/h
5,83 km/h
III 5,42 km/h
0
1 min.
2
3
4
5


„dicke Berta"
Widerstände
to.
Schübe
5
0
Widerstände 5
mto.
Momente
linksdr. Momente B.B.
50
0
rechtsdr. Momente St. B.
50
to.
Seitenkräfte
Seitenkräfte B.B.
2
1
Seitenkräfte St.B.
1
2
Überholung „Berta"
3 min. 4 sek.
6 min. 51 sek.
2 " 54 "
6 " 38 "
2 " 49 "
6 " 9 "


„Berta"
„Paula"
„Hulda"
„Emma"
„Amanda"
„Olga"
Ruderanordnung „Berta" + „Olga"
vorgeschriebene Ruderanordnung
Groß-Plauer-Maßkähne im Profil des Hohenzollernkanals.
Wtot / D kg/m³
Kahnabmessungen:
gr. Länge 67 m
„ Breite 8,2 „
Tiefgang gleichl. 1,75 „
Kanalprofil:
Oberflächenbr. 33,8 m
Wassertiefe i. Kanalm. 3,0 „
Wasserquerschnitt 68,9 m²
Typ:
Vergleichszahl:
1,28
1,23
1,21
1,09
1,0
0,93
Schiffsverdrängung m³

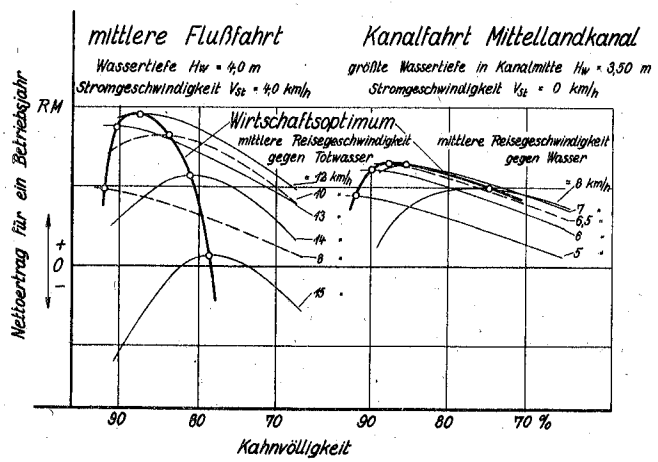
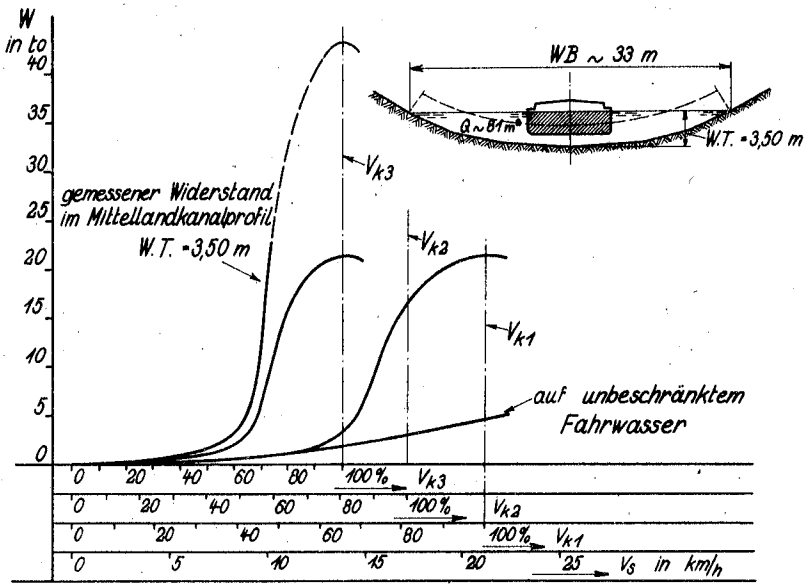
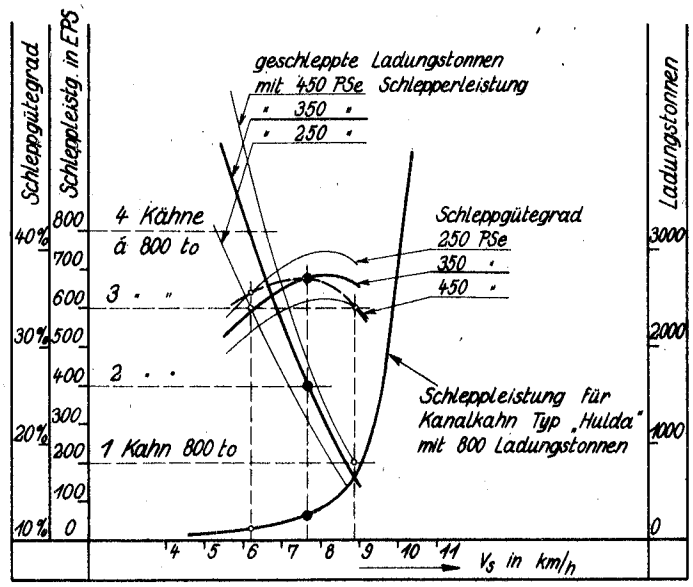

mittlere Flußfahrt
Wassertiefe Hw = 4,0 m
Stromgeschwindigkeit Vst = 4,0 km/h
Kanalfahrt Mittellandkanal
größte Wassertiefe in Kanalmitte Hw = 3,50 m
Stromgeschwindigkeit Vst = 0 km/h
Wirtschaftsoptimum
mittlere Reisegeschwindigkeit gegen Totwasser
mittlere Reisegeschwindigkeit gegen Wasser
Nettoertrag für ein Betriebsjahr
RM
Kahnvölligkeit

Abb. 9 - 10


W
in to
40
35
30
25
20
15
10
5
0
WB ~ 33 m
Q ~ 81 m²
W.T. -3,50 m
Vk3
Vk2
Vk1
gemessener Widerstand
im Mittellandkanalprofil
W.T. -3,50 m
auf unbeschränktem
Fahrwasser
0 20 40 60 80 100% Vk3
0 20 40 60 80 100% Vk2
0 20 40 60 80 100% Vk1
0 5 10 15 20 25 Vs in km/h


Schleppgütegrad
Schleppleistg. in EPS
Ladungstonnen
geschleppte Ladungstonnen
mit 450 PSe Schlepperleistung
" 350 "
" 250 "
4 Kähne
à 800 to
3 " "
2 " "
1 Kahn 800 to
Schleppgütegrad
250 PSe
350 "
450 "
Schleppleistung für
Kanalkahn Typ „Hulda"
mit 800 Ladungstonnen
40%
30%
20%
10%
800
700
600
500
400
300
200
100
0
3000
2000
1000
0
4 5 6 7 8 9 10 11 Vs in km/h

15

Schleusungs- und Kraftwerkswellen in Schiffahrtskanälen

Von Friedrich Wiener, Wasserstraßendirektor a. D. in Köln.

Infolge der Schleusungen treten in Schiffahrtskanälen wandernde Wellen auf. Während des Durchlaufs der Wellen heben oder senken sich die Wasserspiegel in den Schleusenvorhäfen sowie in den Kanälen, und gleichzeitig beobachtet man an den im allgemeinen ruhenden Wassermassen Strömungen in der einen oder der anderen Längsrichtung. Bei gleichen Kanal-Querschnitten sind die Wasserspiegeländerungen und Strömungen von der Größe der Schleusenkammer und insbesondere von der größten sekundlichen Abflußmenge, mit der die Füllung oder Entleerung der Schleusen erfolgt, abhängig. Werden solche Kanäle gleichzeitig als Zu- und Ableitungen zu Wasserkraftwerken benutzt, so werden auch durch plötzliche Änderungen in der Beaufschlagung der Turbinen wandernde Wellen verursacht, welche die Wirkung der Schleusungswellen verstärken können. Wenn auch die allgemeinen theoretischen Grundlagen für die Berechnung solcher Wellen bekannt sind, so treten dabei doch schwer erfaßbare Nebenwirkungen auf, so daß eine Nachprüfung an der Natur und durch Modellversuche geboten ist. Im folgenden sollen daher zunächst Versuche über Schleusungswellen beschrieben werden, die am Wesel-Datteln-Kanal in den Jahren 1938 und 1940 von der Wasserstraßendirektion Münster bzw. dem Wasserstraßenamt Dorsten durchgeführt wurden.

I. Die Versuche am Wesel-Datteln-Kanal.

1. Grundlagen der Versuche:

Der im Jahre 1930 in Betrieb genommene Wesel-Datteln-Kanal hat den in Abb. 1 dargestellten Normalquerschnitt mit 91,62 m². Die 5 Schleusen sind einfache Schleppzugschleusen von 225 m Nutzlänge und 12 m Breite mit annähernd senkrechten Kammerwänden. Die Gefälle betragen zwischen 9 m (Schleuse Dorsten) und 4 m (Schleuse Flaesheim), die Längen der Haltungen liegen zwischen 3 und 17 km. Zur Speisung des westdeutschen Kanalsystems sind an jeder der 5 Schleusenstufen Pumpwerke errichtet, die vom Rhein her Speisungswasser über den Kanal der Scheitelhaltung Herne—Datteln—Münster zuführen. Bei Pumpbetrieb treten also Strömungen im Kanal auf, welche die durch die Schleusungen verursachten Wasserströmungen verstärken oder abschwächen. Um auch diese Einflüsse zu erfassen, wurden die Versuche sowohl bei Stillstand der Pumpen als auch bei voller und halber Beaufschlagung durchgeführt. Sie wurden an 3 Sonntagen jedesmal über mehrere Stunden ausgedehnt, wobei die Schiffahrt ruhte, so daß die Versuchsergebnisse nicht durch die Schiffahrtswellen beeinträchtigt sind. Da an den 3 Versuchstagen (13. u. 20. 11. 1938 und 25. 8. 1940) kein Wind oder nur sehr schwacher Wind herrschte, ist auch der sonst häufig beobachtete Windstau ausgeschaltet.

Als Versuchsstrecke diente an allen 3 Tagen die 11,2 km lange unterste Haltung zwischen den Schleusen Friedrichsfeld und Hünxe, die mit Ausnahme des kurz oberhalb der Schleuse Friedrichsfeld liegenden Hafens der staatlichen Betriebswerkstatt keine seitlichen Häfen oder ähnlichen Erweiterungen hat. Der Einfluß der geringen Vergrößerung der Spiegelbreiten in den Krümmungen kann bei der Auswertung der Versuche vernachlässigt werden.

Das Gefälle der Schleuse Friedrichsfeld ist von den Rheinwasserständen, die sich in ihrem Unterwasser einstellen, abhängig; es betrug an den beiden Versuchstagen des Jahres 1938 = 8,00 m und an dem Meßtag 1940 = 6,30 m. Bei 232,50 m Gesamtlänge und 12,50 m mittlerer Breite der Schleusenkammer ergibt sich der Inhalt zu $232{,}50 \times 12{,}50 \times 8{,}00 = 23\,250$ m³ bzw. 18 300 m³.

Die Schleuse Hünxe hatte an allen 3 Tagen das gleiche Gefälle von 6 m. Mit 232,50 m Länge und 12,40 m mittlerer Breite beträgt der Kammerinhalt demnach $232{,}50 \times 12{,}40 \times 6{,}00 = 17\,300$ m³.

Die Füllung und Entleerung der Schleusen erfolgt durch je 6 in den Hubtoren angeordnete Schützen von zusammen 14,16 m² Durchflußquerschnitt je Tor.

Die Schützhubkurven sind bei Erbauung der Schleusen so aufgestellt, daß einerseits durch möglichst große sekundliche Wassermengen die Gesamtzeit für Füllung oder Entleerung einer Kammer einen Kleinstwert erreicht, ohne daß dabei andererseits in der Schleuse oder in den Vorhäfen Strömungsgeschwindigkeiten auftreten, die die Schiffahrt gefährden könnten. Die beiden Zielen genügende Kurve ist zunächst durch eingehende Modellversuche[1]) ermittelt und dann im praktischen Betrieb überprüft und endgültig festgelegt worden.

Die Hubgeschwindigkeit dieser Schützen wird über Kurvenscheiben und Leonardumformer zwangsläufig gesteuert, so daß, solange sich nicht das Gefälle einer Schleuse ändert, Gesamtdauer und zeitlicher Verlauf für jede Füllung bzw. Entleerung die gleichen bleiben, während sonst bei Schleusen, bei denen die Betätigung der Umlaufverschlüsse von der Erfahrung des Bedienungspersonals abhängt, mehr oder weniger große Unterschiede unvermeidlich sind.

Beim Entleeren der Schleuse Hünxe steigt die sekundliche Wassermenge in 4½ Minuten von 0 auf 45 m³/sek. allmählich an, bleibt dann 2½ Minuten auf dieser Höhe, um dann in weiteren 3½ Minuten wieder auf fast 0 abzufallen (Abb.2).

Bei der Schleuse Friedrichsfeld ändert sich das Gefälle mit den Rheinwasserständen, ohne daß die Kurvenscheiben ausgewechselt werden. Es sind daher auch die sekundlichen Füll- und Entleerungsmengen von den wechselnden Gefällhöhen abhängig. Während bei den Versuchen am 13. und 20. 11. 1938 die größte Füllmenge ca. 50 m³/sek. betrug, wurden am 25. 8. 1940 nur 35 m³/sek. als Größtwert erreicht.

Die Pumpwerke an den Schleusen Friedrichsfeld und Hünxe sind mit je 4 Pumpen von je 3,14 m³/sek. Förderleistung ausgerüstet.

In Betrieb waren

am	13. 11. 1938	4	Pumpen mit zus.	12,56	m³/sek.
„	20. 11. 1938	0	„ „ „	0	m³/sek.
„	25. 8. 1940	2	„ „ „	6,28	m³/sek.

[1]) „Die Wasserberuhigungseinrichtungen der umlauflosen Schiffsschleusen des Wesel-Datteln-Kanals" Oberreg.- u. Baurat Bock u. Reg.-Baurat Dr. Natermann. Bautechnik 1928, Heft 12 S. 158 usf.

Bei 91,62 m² wasserführendem Kanalquerschnitt betrug daher die nach Osten, d. h. bergwärts gerichtete Strömung

am 13. 11. 1938 $\frac{12{,}56}{91{,}62}$ = ca. 0,14 m/sek.

„ 20. 11. 1938 = 0

„ 25. 8. 1940 $\frac{6{,}28}{91{,}62}$ = ca. 0,07 m/sek.

Die Pumpen wurden an den Versuchstagen jeweils 3 Stunden vor Beginn der Versuche in Betrieb genommen, damit sich der Kanalwasserspiegel bereits dem der Pumpströmung entsprechenden Gefälle anpassen konnte.

2. Die Messungen.

Gemessen wurden sowohl Wasserstände als auch Strömungsgeschwindigkeiten. Die Wasserstände wurden alle 2 Minuten an Lattenpegeln abgelesen, die in der Nähe des Ufers aufgestellt waren. Ein Kranz von Tauchbohlen von ca. 1 m im Geviert sicherte die ruhige Lage des Wasserspiegels.

Die Messung der Geschwindigkeiten erfolgte an jeder Beobachtungsstelle durch einen Meßflügel, der zwischen 2 verankerten Prähmen aufgehängt war. Gemessen wurde in Kanalmitte, und zwar etwa 1,50 m unter dem Wasserspiegel. Die gemessenen Werte sind daher größer als die mittlere Geschwindigkeit des ganzen Querschnitts, ihr Verhältnis zu diesen Werten wurde nicht bestimmt und kann daher nur aus ähnlichen Messungen geschätzt werden. Der Flügel lief jeweils 100 Sekunden und die Durchschnittsgeschwindigkeit in dieser Zeit ist als Ergebnis der Messung genommen. 20 Sekunden wurden zum Umschalten benötigt. Spitzenwerte mit einer Dauer von weniger als 100 Sekunden sind demnach nicht erfaßt.

3. Die Versuchsergebnisse.

Vor der Auswertung der Versuchsergebnisse dürfte eine kurze Darlegung der grundlegenden Gesetze für die Entstehung und Fortpflanzung solcher Wellen zweckmäßig sein.

Bei der Entleerung einer Schleusenkammer hebt sich der Wasserspiegel im unteren Vorhafen um ein gewisses Maß. Diese Hebung wandert mit der Wellengeschwindigkeit durch den Vorhafen bis sie in den Kanal eintritt. Gleichzeitig entsteht in dem vorher stromlosen Vorhafen eine Wasserströmung in Richtung auf den Kanal. Ein derartiger Schwall soll im folgenden als „Füllschwall" bezeichnet werden, im Gegensatz zu einem „Stauschwall", der auftritt, wenn eine vorhandene Strömung in einem Kanal plötzlich abgebremst wird, wie dies z. B. in einem Kraftwasserkanal bei schnellem Abschluß der Turbinen der Fall sein würde.

Wird dagegen eine Schleusenkammer gefüllt, so tritt im Oberwasser ein Sunk auf, der wieder mit Wellengeschwindigkeit in Richtung Kanal wandert. Die Wasserströmung hat hier jedoch die entgegengesetzte Richtung, nämlich zur Schleuse hin. Der Sunk möge „Entnahmesunk" heißen im Gegensatz zu einem „Absperrsunk", der z. B. im Unterwasser eines Wasserkraftwerkes bei plötzlicher Entlastung oder Abschluß der Turbinen entsteht[2]).

In Kanälen, die nur der Schiffahrt dienen und keine oder nur eine geringe, sich nur allmählich ändernde Wassergeschwindigkeit haben (wie z. B. bei Speisung), haben wir es nur mit Füllschwall und Entnahmesunk zu tun. Dagegen können in Kanälen, die für Schiffahrt und Krafterzeugung gemeinsam

[2]) Diese Bezeichnungen sind m. W. zuerst von Forchheimer geprägt worden.

benutzt werden, alle 4 Arten eintreten und sich gegenseitig verstärken oder abschwächen.

Ist eine Schwallwelle durch die Kanalhaltung gelaufen, so wird sie am anderen Haltungsende reflektiert. Dabei verdoppelt sich im Reflexionsgebiet die Schwallhöhe, während die Geschwindigkeiten sich umkehren. In diesem Bereich heben sie sich demnach auf. Die Welle läuft dann als reflektierte Welle wieder zur ersten Schleuse zurück. Trifft sie dabei mit einem neuen, von dort kommenden Schwall zusammen, so laufen die beiden Wellen durcheinander. Dabei addieren sich im Begegnungsbereich die Wellenhöhen und die gegeneinander gerichteten Strömungsgeschwindigkeiten heben sich auf.

Dasselbe gilt auch für die Reflexion und die Begegnung von 2 Sunkwellen. Trifft jedoch ein von der oberen Schleuse kommender Füllschwall mit einem Entnahmesunk aus der unteren Schleuse zusammen, so heben sich im Begegnungsbereich die Hebungen und Senkungen der Wasserspiegel auf, während sich die gleichgerichteten Strömungsgeschwindigkeiten addieren.

Die beschriebenen Erscheinungen sind an den Versuchsergebnissen gut zu verfolgen. Betrachten wir z. B. die auf Abbildung 3 und 4 dargestellten Ergebnisse der Versuche am 20. 11. 1938, bei denen keine Pumpen liefen, also vor Beginn der Versuche keine Strömung im Kanal herrschte.

Der durch die Entleerung der Schleuse Hünxe (Untertor km 13,2) um 8.15 Uhr ausgelöste erste Füllschwall trifft an der Meßstelle km 12,2 um 8.20 Uhr ein, wobei der Kanalspiegel um ca. 18 cm steigt. (Der Scheitel ist, wie der Vergleich mit der zweiten Schwallwelle zeigt, durch die Beobachtung offenbar nicht erfaßt.) Im Kanal tritt gleichzeitig eine nach Westen, also talwärts gerichtete Strömung auf, deren Größtwert 0,425 m/sek. erreicht. Bei der nächsten Meßstelle km 9,7 trifft der Schwall um 8.28 Uhr ein, seine Höhe erreicht ca. 16 cm (wahrscheinlich infolge Beobachtungsfehler auf 17 cm zu ergänzen). Wir beobachten dann den Schwall um 8.35 Uhr bei km 7,3 mit der größten Höhe von 13 cm, die Strömung beträgt 0,33 m/sek. Bei km 4,9 hat der Schwall noch eine größte Höhe von 14 cm, sein Abbau erfolgt schneller und mit steilerem Abfall, da er sofort in einem Sunk übergeht. An der Meßstelle km 2,5 ist der Schwall nur noch an einer geringen Hebung des Wasserspiegels zu erkennen, da er sofort von einem von der Schleuse Friedrichsfeld um 8.45 Uhr ausgegangenen Entnahmesunk aufgenommen wird. Auch dieser erreicht infolge des Zusammentreffens nur eine Tiefe von 9 cm. Die gleichgerichteten Strömungsgeschwindigkeiten von Schwall und Sunk addieren sich jedoch, der Größtwert beträgt 0,47 m/sek. Dieser Wert würde noch größer sein, wenn die Meßstelle km 2,5 den gleichen Kanalquerschnitt hätte wie die Meßstellen km 12,2 und 7,3. Tatsächlich beträgt aber die Wasserspiegelbreite bei km 2,5 statt der normalen Breite von 34,50 m mehr als 40 m und die Vergrößerung des Kanalquerschnitts muß sich in einer Verminderung der Wassergeschwindigkeit auswirken.

Auf den Sunk folgt unmittelbar wieder ein niedriger Schwall, der offenbar durch den Rücklauf des an der Schleuse Friedrichsfeld reflektierten Schwalles verursacht wird.

Der Sunk 1 erreicht bei der Meßstelle km 4,9 eine größte Tiefe von 17 cm und bei km 7,9 eine solche von 15 cm, die Strömungsgeschwindigkeit ist hier mit 0,33 m/sek. gleich der des Schwalles 1. Der Sunk kreuzt dann im Weiterlauf zwischen km 7,3 und 12,2 den inzwischen von Schleuse Hünxe um 9.00 Uhr ausgelösten Füllschwall 2, wobei sich Sunk und Schwall nahezu ausgleichen. An der Meßstelle km 12,2 hat der Sunk wieder 13 cm Tiefe gegenüber dem Ausgangsspiegel und eine Strömungsgeschwindigkeit von 0,28 m/sek. Er wird dann an der Schleuse Hünxe reflektiert und trifft auf dem Rücklauf bei

km 12,2 mit dem von Friedrichsfeld zurückkommenden Schwall 1 zusammen. Bei geringer Wasserspiegeländerung tritt dabei eine Strömungsgeschwindigkeit von 0,28 m/sek. auf, die aber im Gegensatz zu den bisher besprochenen Strömungen die Richtung nach Osten, also bergwärts hat.

Besonders klar ist das Zusammentreffen von Schwall und Sunk bei km 12,2 um 10.10 Uhr zu beobachten, wo der von Hünxe kommende Füllschwall 3 mit dem Entnahmesunk 2 von Friedrichsfeld zusammentrifft. Während sich dabei die Hebungen und Senkungen der Wasserspiegel nahezu ausgleichen, steigt die Strömungsgeschwindigkeit auf 0,67 m/sek., also auf fast das Doppelte der bei Schwall 1 und 2 beobachteten Werte. Auch um 12.10 Uhr, 14.10 und 15.10 Uhr treten derartige Begegnungen zwischen Schwall und Sunk ein, desgleichen bei km 7,3 um 11.30, 13.30 und 16.30 Uhr, wo ebenfalls Wassergeschwindigkeiten bis 0,65 m/sek. beobachtet werden. Die größte nach Osten gerichtete Strömung zeigt sich bei km 7,3 um 12.11 Uhr mit 0,37 m/sek., ihre Ursache ist das Zusammentreffen eines rücklaufenden Schwalles mit einem ebenfalls rücklaufenden Sunk. Der Kanalspiegel ändert sich dabei nur unwesentlich. Auf Abb. 3 sind so die einzelnen Schwall- und Sunkwellen mit ihren Reflexionen und Begegnungen untersucht und durch Richtungspfeile gekennzeichnet. Das auf den ersten Blick verwirrende Bild von unterschiedlichen Wasserspiegeländerungen und Strömungen enthüllt so die ihm innewohnende Gesetzmäßigkeit. Dabei treten in dem Kanal folgende Größtwerte auf:

Größte Schwallhöhe	20 cm	(km 12,2 um 9.12 Uhr)
Größte Sunktiefe	28 cm	(km 2,5 um 12.20 Uhr)
Größte Strömung nach Westen	0,68 m/sek.	(km 12,2 um 10.10 Uhr)
Größte Strömung nach Osten	0,36 m/sek.	(km 7,3 um 12.11 Uhr)

Die Abb. 5 zeigt den Versuch am 13. 11. 1938, an dem die Pumpwerke der Schleusen Friedrichsfeld und Hünxe mit je 4 Pumpen in voller Tätigkeit waren. Entsprechend der von Westen nach Osten fließenden Pumpmenge von 12,56 m³/sek. müßte die mittlere Fließgeschwindigkeit im Kanal 0,14 m/sek. betragen. Tatsächlich gemessen wurde vor Beginn des Schleusenbetriebes bei km 12,2 eine bergwärts gerichtete Strömung von 0,18 m/sek. und bei km 7,3 eine solche von 0,17 m/sek. Der geringere Wert bei km 2,5 erklärt sich aus dem dort vorhandenen größeren Kanalquerschnitt. Der Unterschied zwischen der theoretischen mittleren Geschwindigkeit von 0,14 m/sek. gegenüber den bei km 12,2 und 7,3 gemessenen Werten dürfte ohne weiteres dadurch seine Erklärung finden, daß die Wassergeschwindigkeit nur an einem Punkt des Querschnitts gemessen und damit nicht die mittlere Geschwindigkeit erfaßt wurde.

Als Folge der Pumpströmung sind die nach Osten gerichteten Wassergeschwindigkeiten der Schleusungswellen größer, die nach Westen gerichteten kleiner als die am 20. 11. 1938 ohne Pumpbetrieb gemessenen. Im übrigen ist der Verlauf der Spiegelschwankungen an beiden Versuchstagen der gleiche, ein Beweis dafür, daß sie nur durch die Schleusungen verursacht und nicht durch andere Einflüsse gestört sind.

Als Größtwerte sind dabei festgestellt:

Größte Schwallhöhe	16 cm	(km 12,2 um 9.12 Uhr)
Größte Sunktiefe	33 cm	(km 2,5 um 12.26 Uhr)
Größte Strömung nach Westen	0,57 m/sek.	(km 12,2 um 10.11 Uhr)
Größte Strömung nach Osten	0,58 m/sek.	(km 12,2 um 9.37 Uhr)

Zum Vergleich sei hier auch der am 25. 8. 1940 durchgeführte Versuch erwähnt, bei dem die Pumpwerke halb beaufschlagt waren und mit je 2 Pumpen liefen. Entleerung und Füllung der Schleusen erfolgten zu denselben Zeiten wie an den Versuchstagen des Jahres 1938, der Kanalspiegel

stand jedoch um ca. 10 cm höher und der Inhalt der Schleusenkammer Friedrichsfeld betrug infolge des höheren Rheinwasserstandes nur 18 300 m³ gegenüber 23 250 m³.

Gemessen wurden folgende Größtwerte:

Größter Schwall	21 cm	(km 12,2 um 8.13 Uhr)
Größte Sunktiefe	26 cm	(km 6,4 um 8.54 Uhr)
Größte Strömung nach Westen	0,66 m/sek.	(km 12,2 um 9.13 Uhr)
Größte Strömung nach Osten	0,37 m/sek.	(km 12,2 um 9.19 Uhr)

Unter dem Einfluß des Pumpbetriebes werden, wie zu erwarten war, die nach Osten gerichteten Strömungen verstärkt und die nach Westen gerichteten geschwächt, wobei das Maß der Vergrößerung oder Verkleinerung etwa der Pumpströmung entspricht. Ein Vergleich der größten Wasserspiegeländerungen ergibt folgendes Bild:

Pumpen in Betrieb:	0	2	4
Größte Schwallhöhe	20 cm	21 cm	16 cm
Größte Sunktiefe	28 cm	26 cm	33 cm

Eine einheitliche Tendenz auf Zu- oder Abnahme der Änderungen ist hieraus nicht abzuleiten, zumal es sich um Einzelwerte handelt. Vergleicht man für die einzelnen Meßstellen das Ausmaß der Wasserspiegeländerungen zwischen den 3 Versuchstagen, so sind wesentliche und charakteristische Verschiedenheiten in dem Verhalten der Wasserspiegel zwischen den 3 Tagen nicht festzustellen. An allen 3 Versuchstagen ist die größte Schwallhöhe kleiner als die größte Sunktiefe.

4. Fortpflanzungsgeschwindigkeiten der Wellen.

Aus den Abb. 3—5 läßt sich die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Wellen ermitteln. Aus den Ankunftszeiten der Wellenscheitel ist auf Abb. 6 die gemittelte Laufgeschwindigkeit aller Schwall- und Sunkwellen am 20. 11. 1938 aufgetragen. Der Schwallscheitel trifft 11 Minuten nach Beginn der Entleerung der Schleuse Hünxe bei km 12,2 ein und legt den 9700 m langen Weg von dort bis km 2,5 in 42 — 11 = 31 Minuten zurück, entsprechend einer Laufgeschwindigkeit von 5,20 m/sek. Der Sunkscheitel erreicht km 2,5 11 Minuten nach Beginn der Füllung der Schleuse Friedrichsfeld, er braucht für die 9700 m bis km 12,2 die Zeit von 43 — 11 = 32 Minuten. Die Laufgeschwindigkeit ist mit 5,04 m/sek. also etwas kleiner als die des Schwalles. Abb. 6 zeigt ferner die Wellengeschwindigkeit am 13. 11. 1938, an dem an beiden Schleusen 4 Pumpen in Betrieb waren. Dabei betrug die Geschwindigkeit der Schwallwelle 4,90 m/sek., die der Sunkwelle 5,21 m/sek. Der Schwall lief demnach etwas langsamer und der Sunk etwas schneller als am 20. 11. 1938. Die Pumpströmung läuft dem Schwall entgegen und vermindert daher dessen absolute Geschwindigkeit, während sie die des gleichgerichteten Sunkes erhöht. Es mag zunächst auffallen, daß zwischen dem Beginn der Entleerung bzw. Füllung der Schleusen und dem Eintreffen der Scheitel an dem nächstgelegenen Meßpunkt (z. B. ist km 12,2 ca. 1000 m von Schleuse Hünxe entfernt) die verhältnismäßig lange Zeit von ca. 11 Minuten vergeht, während man nach der oben erläuterten Wellengeschwindigkeit im Kanal ein früheres Eintreffen erwarten sollte. Die Erklärung hierfür werden wir später sehen.

5. Form der Einzelwelle.

Für die nähere Untersuchung der einzelnen Wellen sind auf Abb. 7 einige der ersten Schwallwellen aufgetragen, soweit sie noch nicht durch entgegenkommende Sunkwellen beeinflußt sind. Man kann nämlich die Pegelganglinie als Spiegelbild der Welle ansehen, wenn die Länge gleich dem Produkt aus Zeit man Wellengechwindigkeit gewählt wird, da dieses Produkt ja den

Weg darstellt, den die Welle in der für ihren Durchlauf gemessenen Zeit zurückgelegt hat. Ebenso lassen sich die gemessenen Strömungsgeschwindigkeiten entzerren und der leichteren Diskussion zugänglich machen. Um zufällige Beobachtungsfehler auszuschalten, wie sie z. B. beim Durchgang der ersten Schwallwelle durch km 12,2 (Spitze nicht gemessen) vorliegen, sind möglichst mehrere Schwallwellen übereinander aufgetragen. Dabei ergibt sich:

a) Die Wellen steigen in flacher Neigung an und erreichen einen höchsten Scheitelwert von 20 cm. Die größte Steigung beträgt etwa $\frac{0{,}15}{1750\ \text{m}} = \frac{1}{8500}$, was etwa dem Gefälle im Unterlauf unserer schiffbaren Ströme entspricht und für die Schiffahrt keinerlei Schwierigkeiten bietet. Der Rücken der Welle ist noch flacher. Da zwischen dem Durchgang des Fußpunktes der Welle und dem des Scheitels ca. 5—6 Minuten liegen, beträgt die Steiggeschwindigkeit des Wasserspiegels $\frac{0{,}20}{560} = 0{,}07$ cm/sek., also kaum die Hälfte bis ein Drittel der in neuzeitlichen Schleusen üblichen Steiggeschwindigkeit.

b) Der Inhalt der Schwallwelle ist bei 5600 m Länge und 0,09 m mittlerer Höhe mal Wasserspiegelbreite $= 5600 \cdot 0{,}09 \cdot 34{,}50 = 17\,400\ \text{m}^3$, also etwa gleich dem Inhalt der Schleuse Hünxe (17 300 m³).

c) Auch die Strömungsgeschwindigkeiten, die im Kanal bei Durchgang der Welle auftreten, steigen langsam auf den Höchstwert von ca. 0,40 m/sek. an und fallen dann langsam wieder ab. Da die Scheitel sehr flach sind, kommt bei einem Schleppzug nicht nur der Schlepper oder ein Anhang allein in den Bereich der Strömung, sondern es wird der ganze Schleppzug von ihr erfaßt. Ein Schleppzug mit 3 Anhängen und einer Gesamtlänge von ca. 600 m würde, wenn er z. B. eine Schwallwelle bei km 12,2 passiert, auf seiner ganzen Länge eine Strömungsgeschwindigkeit von ca. 0,35 m/sek. zu überwinden haben. Auf Abb. 8 sind für die Schwallwellen, bei denen die höchsten Wassergeschwindigkeiten nach Westen oder nach Osten beobachtet wurden, Diagramme der Geschwindigkeiten aufgetragen. Hier würde der nach Osten fahrende Schleppzug auf seiner ganzen Länge eine Gegenströmung von mehr als 0,60 m/sek. vorfinden, d. h. etwa 35 v. H. seiner normalen Eigengeschwindigkeit. Da die Strömungen bei Schwall und Sunk die gleiche Richtung zu Tal haben, erleidet ein zu Berg fahrendes Fahrzeug durch die Schleusungswellen eine geringe Verzögerung, die dagegen wieder dem Talfahrer zugute kommt. Bei dem Rücklauf der reflektierten Wellen kehren sich überdies die Strömungsrichtungen um (Abb. 8 b), so daß Gewinn und Verlust sich praktisch ausgleichen werden.

d) Die Scheitelhöhen der Schleusungswellen nehmen bei ihrem Lauf durch den Kanal allmählich ab.

Verfolgt man in der gleichen Form die erste Sunkwelle auf ihrem Lauf durch den Kanal, so ergibt sich, daß Größe und Form an den einzelnen Beobachtungsstellen erheblich voneinander abweichen. Da der Sunk 30 Minuten später ausgelöst wird als der Schwall, trifft er schon kurz nach seinem Entstehen an der ersten Beobachtungsstelle bei km 2,5 (Abb. 4) mit diesem zusammen und kommt daher nicht zur vollen Ausbildung. Der Schwall wird dann an der Schleuse Friedrichsfeld zurückgeworfen, läuft auf dem Rücklauf unmittelbar hinter dem Sunk her und bewirkt dadurch ein schnelles Wiederansteigen des Wasserspiegels. Dieser rücklaufende Schwall ist an der Meßstelle km 7,3 deutlich um 9.20 Uhr an der nach Osten gerichteten Strömung zu beobachten. Die größte Sunktiefe beträgt hier etwa 15 cm, während an der vorher liegenden Beobachtungsstelle, km 4,9 noch eine Tiefe von ca. 17 cm beobachtet wurde. Bei der Meßstelle km 9,7 trifft der Sunk mit dem inzwischen in Hünxe ausgelösten Schwall 2 zusammen, und es treten daher nur un-

wesentliche Änderungen des Wasserspiegels ein. Auch bei der folgenden Meßstelle, km 12,2, ist keine unbeeinflußte Beobachtung möglich, da sich hier schon die Reflexion an der Schleuse Hünxe bemerkbar macht. Da infolge dieser störenden Einflüsse die Gesetzmäßigkeit in Form und Größe der Sunkwelle nicht so klar zum Ausdruck kommt, wie bei dem betrachteten Schwall, ist hier von einer Einzeldarstellung des Sunkes abgesehen worden. Im allgemeinen trifft das, was bei dem Schwall hinsichtlich Neigung und Steiggeschwindigkeit des Wasserspiegels sowie der Strömungsgeschwindigkeit gefunden wurde, auch für den Sunk zu.

6. Frühere Versuche am Wesel-Datteln-Kanal.

In Ergänzung zu den vorbeschriebenen Versuchen sei hier auf frühere Versuche hingewiesen, die an verschiedenen Schleusen des Wesel-Datteln-Kanals ausgeführt worden sind[3]). Während die bisher betrachteten Versuche dem praktischen Betrieb entsprechen, wurden damals in den betreffenden Haltungen nur 1 oder 2 Wellen erzeugt, so daß ihr Verhalten unbeeinflußt durch weitere Wellen beobachtet werden konnte. Ein dieser Veröffentlichung entnommener und auf Abb. 9 unter a) dargestellter Wellenzug zeigt den Hin- und Rücklauf eines einzelnen Füllschwalles durch die 3 km lange Haltung Datteln-Ahsen. Beim Entleeren der Schleuse Datteln (7,5 m Gefälle, Dauer 11 Minuten) tritt im Unterwasser ein Füllschwall auf, dessen Form derjenigen gleicht, die bei den Versuchen 1938 und 1940 beobachtet wurde. Der Scheitel erreicht ca. 18 cm über Ausgangsspiegel, läuft zur nächsten Schleuse Ahsen und kehrt von dort nach 20 Minuten mit der vergrößerten Scheitelhöhe von 24 cm zurück. Die Scheitelhöhe bleibt bei Rückkehr des zweiten Wellenberges nach weiteren 20 Minuten annähernd erhalten und klingt dann allmählich ab, wobei nach 4 Stunden Gesamtdauer der Ausgleich erfolgt. Die Haltung hat sich dabei um 14 cm erhöht, da ja kein Abfluß erfolgt. Die Wellengeschwindigkeit beträgt ca. 5 m/sek.

Bei dem weiteren unter b) der Abb. 9 dargestellten Versuch am 17. 3. 1931 wurden gleichzeitig die Schleuse Datteln entleert und die Schleuse Ahsen gefüllt. Der Schwall am Unterpegel Datteln tritt 10 Minuten nach Beginn der Entleerung mit ca. 10 cm Höhe ein und wird nach weiteren 10 Minuten mit 16 cm Höhe an der Schleuse Ahsen beobachtet. Auf dem Rücklauf zur Schleuse Datteln trifft er dort 10 Minuten später mit 17 cm Höhe ein. Der Sunk entsteht im Oberwasser der Schleuse Ahsen mit ca. 8 cm, trifft 10 Minuten später an Schleuse Datteln mit ca. 17 cm ein und kehrt nach weiteren 10 Minuten mit 11 cm Tiefe zur Schleuse Ahsen zurück. Zu derselben Zeit, wo ein Schwall an der einen Schleuse eintrifft, wird an der anderen Schleuse ein Sunk beobachtet. Der weitere Verlauf zeigt, daß der Sunk etwas hinter dem Schwall zurückbleibt, da der letztere eine etwas größere Fortpflanzungsgeschwindigkeit hat. Die Wellengeschwindigkeit beträgt ca. 5 m/sek., die Ausspiegelung erfolgt wieder nach ca. 4 Stunden.

II. Rechnungsmäßige Ermittlung von Schleusungswellen.

1. Form und Größe einer Einzelwelle.

Nach der Darstellung der Versuche und ihrer Ergebnisse soll im folgenden geprüft werden, ob und inwieweit die für die rechnerische Bestimmung solcher

[3]) „Bewährung der Füll- und Entleerungseinrichtungen an den Schleusen des Wesel-Datteln-Kanals" Oberreg.- u. Baurat Baertz, Münster, und Reg.-Baurat Knoke, Duisburg, Bautechnik Jahrg. 10 Heft 54 v. 16. 12. 1932.

Wellen bekannten Formeln mit den Versuchsergebnissen übereinstimmen[4][5].

Es möge hier zunächst ein Füllschwall beobachtet werden. Dabei soll bezeichnen (Abb. 10):

- z die Hebung bzw. Senkung des Wasserspiegels in m
- c die Geschwindigkeit, mit der die Welle fortschreitet in m/sek.
- v die dabei zeitweise auftretende Strömungsgeschwindigkeit in m/sek.
- B_o die normale Spiegelbreite des Kanals bzw. des Vorhafens in m
- B die Spiegelbreiten entsprechend z in m
- B_m die mittlere Spiegelbreite $\frac{B_o + B}{2}$ in m
- F_o der normale Querschnitt des Kanals bzw. des Vorhafens in m²
- F die Querschnitte entsprechend z in m²
- F_m die mittlere Querschnittsfläche $\frac{F_o + F}{2}$ in m²
- $\triangle F$ die Fläche der Hebung bzw. Senkung $= z \cdot B_m$ in m²
- q die dem Kanal in der Zeiteinheit zugeführte bzw. entnommene Wassermenge in m³/sek.

Es ist dann:

$$q = v \cdot F = z \cdot B_m \cdot c$$

Ist l die Gesamtlänge des Schwalls, so muß ferner sein:

$z \cdot B_m \cdot l \cdot \quad = Q =$ Inhalt der Schleusenkammer.

Ist q bekannt, so ergibt sich die Schwallhöhe aus $z = \frac{q}{B_m \cdot c}$

Die Wellengeschwindigkeit c ergibt sich aus der Bewegungsgleichung

$$\gamma \cdot F \cdot z + \gamma \cdot \frac{z}{2} \triangle F = \frac{\gamma \cdot F \cdot c}{g} \quad x \quad V$$

Kraft = Masse x Beschleunigung

zu $c = \sqrt{g \cdot \frac{F_m}{B_m}}$

Letztere Formel gilt nur für Wellen, deren halbe Wellenlänge größer ist als die Wassertiefe und bei denen die Geschwindigkeitsänderungen den ganzen Kanalquerschnitt erfaßt und nicht auf die Wasseroberfläche oder deren nähere Umgebung beschränkt bleibt. Diese Bedingung ist jedoch bei den hier zu betrachtenden Wellen sowohl in reinen Schiffahrtskanälen als auch in Kanälen für gemeinsame Schiffahrts- und Kraftwerksbetrieb stets erfüllt.

Herrscht in dem Kanal schon vor Auftreten der Welle eine Wassergeschwindigkeit u, so ist die absolute Wellengeschwindigkeit

$$c' = c \pm u$$

wo + gilt, wenn c und u gleiche Richtung haben und —, wenn sie entgegengesetzt laufen.

[4] „Die Wirkung der Schleusungen auf den Wasserstand und die Wasserbewegung in den Haltungen" v. Dr.-Ing. H. Krey, Zeitschrift d. Deutschen Wasserwirtschafts- u. Wasserkraftverbandes 1. Jahrg. Heft 5, August 1921.

[5] Schleicher, Taschenbuch für Bauingenieure 1943, Seite 127.

Für einen Entnahmesunk gelten ähnliche Überlegungen:

$$q = v \cdot F = z \cdot B_m \cdot c$$

$$c = \sqrt{g \cdot \frac{F_m}{B_m}}; \; c' = c \pm u$$

$$z \cdot B_m \cdot l = Q$$

In Tabelle 1 ist für den Normalquerschnitt des Wesel-Datteln-Kanals (Abb. 1) eine zahlenmäßige Berechnung durchgeführt. Da v und z zunächst unbekannt sind, werden zweckmäßig für z verschiedene Werte, z. B. 0,05; 0,10; 0,15 m usw. angenommen und hierfür die Werte F, B, B_m, F_m bestimmt. Die während des Wellendurchgangs im Kanal bewegte sekundliche Wassermenge ergibt sich dann aus $q = z \cdot B_m \cdot c$ und die zugehörige Strömungsgeschwindigkeit aus $q = F \cdot v$. Wenn, wie im vorliegenden Fall, der Schleusenabfluß bekannt ist, können z, c und v für die jeweilige Füll- bzw. Entleerungswassermenge bestimmt werden. Bei der Ermittlung ist zunächst angenommen, daß vor Beginn des Schleusenbetriebes der Kanal strömungslos war. Das Ergebnis ist auf Abb. 11 in einem Diagramm gezeigt, aus dem bei gegebenem q die Werte z und v abgelesen werden können. Für $q = 40$ m³/sek. ergibt sich z. B. eine Schwallhöhe $z = 0{,}22$ m und eine Strömungsgeschwindigkeit $v = 0{,}40$ m/sek.

In der gleichen Weise ist ein Entnahmesunk berechnet. Das Ergebnis ist in Abb. 11 nach unten aufgetragen.

Die Tabelle 2 enthält die Werte, die sich ergeben, wenn im Kanal außer den durch die Schleusungswellen erzeugten Strömungen eine von Westen nach Osten, also bergwärts gerichtete Wassergeschwindigkeit herrscht, wie sie dem Vollbetrieb der Pumpwerke entspricht. Auch diese Werte sind in dem Diagramm Abb. 11 eingetragen.

Während der Pumpbetrieb die Wasserspiegeländerungen nur unwesentlich beeinflußt, werden die Strömungsgeschwindigkeiten um annähernd die vollen, dem Pumpbetrieb entsprechenden Wassergeschwindigkeiten verkleinert oder vergrößert. Da die Pumpströmung der durch Füllschwall oder Entnahmesunk erzeugten Strömung entgegenläuft, werden bei den ursprünglichen Schleusungswellen die resultierenden Wassergeschwindigkeiten kleiner als ohne Pumpbetrieb, während sie bei den rücklaufenden Wellen, bei denen sich die Strömungsrichtung umkehrt, größer werden. Abb. 11 enthält dann noch die entsprechenden Werte für die Vorhäfen.

Auf Abb. 12 ist der Umriß einer Schwallwelle dargestellt, wie sie sich nach dem Diagramm aus der Füllkurve der Schleuse Hünxe (Abb. 2) ergeben würde, und zwar in Kurve a) für den Vorhafen und in Kurve b) für den normalen Kanalquerschnitt. Der Vergleich mit den aus den Versuchen auf Abb. 7 gefundenen Formen zeigt erhebliche Unterschiede. Es müssen also noch weitere, bisher in der Rechnung nicht erfaßte Einflüsse auf die Wellenform einwirken. Diese sind:

a) Einfluß der Vorhäfen,
b) Einfluß der Wandreibung,
c) Formänderungen infolge der Ungleichheit der Wellengeschwindigkeit.

Zu a) Einfluß der Vorhäfen:

Die Welle entsteht zunächst im Vorhafen, dessen Querschnitt von dem des Kanals erheblich abweicht. (Ein gemittelter Querschnitt des unteren Vorhafens Hünxe ist auf Abb. 1 dargestellt.) Nach dem Diagramm, Abb. 11, entspricht dabei der größten Schleusungsmenge von 45 m³/sek. eine Wasserspiegelhebung

$z = 0{,}11$ m. Wenn die Welle mit dieser Höhe den Kanal erreicht, kann zunächst nur derjenige Teil des Zuflusses in den Kanal eintreten, der dieser Höhe z entspricht, also nur etwa 18 m³/sek. Die restlichen 45—18 = 27 m³/sek. werden reflektiert und füllen dabei den Vorhafen auf, bis die für 45 m³/sek. Abfluß im Kanal erforderliche Höhe z erreicht ist. Dabei erleidet der Schwall eine Verzögerung und formt sich in ähnlicher Weise um, wie dies bei einer Hochwasserwelle geschieht, die durch ein Rückhaltebecken läuft. Die Größe des Vorhafens hat also ebenso wie der Gesamtinhalt der Schleusenkammer einen erheblichen Einfluß auf die Form der Schwallwelle.

Es bezeichnen:

O	die Oberfläche des Vorhafens in m²
q_{t_0}; q_{t_1}	die aus der Schleuse dem Vorhafen zufließende Wassermenge zur Zeit t_0 bzw. t_1 in m³/sek.
$t_1 - t_0 = \triangle t$	das beobachtete Zeitintervall in Sekunden
q_{z_m}	mittlerer Zufluß im Zeitintervall $= \frac{q_{t_0} + q_{t_1}}{2}$ in m/sek.
q_{a_0}; q_{a_1}	die aus dem Vorhafen in den Kanal fließende Wassermenge z. Z. t_0 bzw. t_1
q_{a_m}	mittlerer Abfluß aus dem Vorhafen in den Kanal im Zeitintervall $= \frac{q_{a_0} + q_{a_1}}{2}$
z_0; z_1	jeweilige Schwallhöhen im Kanal zur Zeit t_0 bzw. t_1 in m
$O \cdot x$	die im Vorhafen im Zeitintervall $\triangle t$ zurückgehaltene Wassermenge in m³.

$$z_1 = z_0 + x; \quad O \cdot x = \triangle t \, (q_{z_m} - q_{a_m})$$

$$q_{z_m} = c \cdot B_m \cdot \frac{z_0 + z_1}{2};$$

$$2 \cdot O \cdot x = \triangle t \cdot \left[(q_{t_0} + q_{t_1}) - c \cdot B_m \cdot (z_0 + (z_0 + x)) \right]$$

c und B_m sind aus dem Diagramm Abbildung 11 zu entnehmen.

Für eine Schwallwelle ist die zahlenmäßige Berechnung durchgeführt und das Ergebnis auf Abb. 12 in den Kurven c und f aufgetragen. Die Werte der Kurve f sind dabei aus den z-Werten der Kurve c nach dem Diagramm der Abb. 11 ermittelt.

Die umgeformte Welle liegt demnach, wie zu erwarten war, zwischen den Umrissen, die früher für den Kanalquerschnitt und den Vorhafen ermittelt waren. Der Scheitel der umgeformten Welle bleibt unter der Kurve a, dafür wird die Welle erheblich länger. Während die Entleerung der Schleuse nach Abb. 2 nur 10½ Minuten dauert, liegt zwischen Anfang und Ende der umgeformten Welle ein Zeitraum von 20 Minuten. Dem Vorhafen strömen aus der Schleuse maximal 45 m³/sek., und zwar ca. 2,5 Minuten lang zu, demgegenüber beträgt die größte Abflußmenge im Kanal nur 32 m³/sek. und auch dies nur für kurze Zeit. Die Welle erreicht den Scheitelpunkt ca. 8 Minuten nach Beginn der Schleusenentleerung. Dies ist auch die Erklärung für die unter I 4 erwähnte Beobachtung, daß der Wellenscheitel bei km 12,2 erst 11 Minuten nach Beginn der Entleerung eintrifft. Da der Wellenfuß für den 1000 m langen Weg bis km 12,2 etwa $\frac{1000}{5} = 200$ Sek. = ca. 3 Minuten braucht, ergibt sich für den Scheitel 3 + 8 = 11 Minuten.

Für das Ausmaß der Wellenumformung ist das Verhältnis zwischen dem durch die Oberfläche bestimmten Rückhaltevermögen des Vorhafens und dem Kammerinhalt andererseits maßgebend. Es beträgt im vorliegenden Fall $\frac{45000\ m^2 \cdot 0{,}20}{17400}$ = ca. 0,5. Bei einem kleineren Kammerinhalt (z. B. geringes Gefälle) würde bei sonst gleichen Verhältnissen der Wellenscheitel noch niedriger werden, während er andererseits bei größerem Kammerinhalt sich dem Größtwert der Kurven mehr nähern würde, wenn er ihn auch auf keinen Fall überschreitet. Bestätigt wird dies auch durch die schon erwähnten früheren Versuche an anderen Haltungen des Wesel-Datteln-Kanals.

Dabei ergab sich nach der unter I 6 genannten Quelle:

Beobachtete Schwallkurven im Unterwasser der Schleusen:

Schleuse	Datteln	Flaesheim	Dorsten
Gefälle	7,50 m	4,0 m	9,0 m
Kammerinhalt	21 200 m³	11 500 m³	26 200 m³
Dauer der Entleerung	11 Minuten	7 Minuten	11 Minuten
Schwallscheitel in Höhe	16 cm	13 cm	21 cm
tritt auf	nach Ende der Entleerung	nach 5 Min.	nach 8 Min.

Beobachtete Sunkkurven im Oberwasser der Schleusen:

Schleuse	Ahsen	Dorsten	Hünxe
Gefälle	7,0 m	9,0 m	6,0 m
Kammerinhalt	20 300 m³	26 200 m³	17 400 m³
Sunktiefe	16 cm	22 cm	14 cm

Trotzdem bei allen genannten Schleusen die größte Entnahme- oder Füllmenge gleich ist, weisen sowohl die Höhen der Scheitel untereinander als auch die Tiefen der Sunke erhebliche Unterschiede auf und nehmen mit der Größe des Kammerinhaltes zu.

Die theoretisch ermittelte Kurve c ist in Abb. 8 den bei dem Versuch am 20. 11. 38 tatsächlich beobachteten Schwallwellen gegenübergestellt. Die Übereinstimmung in Form und Inhalt ist recht gut, im ganzen scheint die Welle etwas nach hinten verschoben. Auch die Kurve der aus den z-Werten der Kurve c über das Diagramm ermittelten theoretischen Wassergeschwindigkeiten weicht nur wenig von der Messung ab. Die Erklärung für das zeitliche Zurückbleiben der theoretischen Kurve wird sich später ergeben.

Zu b) Einfluß der Wandreibung:

Der Einfluß der Wandreibung auf die Schleusungswellen äußert sich in zweifacher Weise, und zwar einmal dadurch, daß die Form der Welle schon bei ihrer Entstehung etwas verändert wird und ferner durch allmählichen Verzehr der Energie der Welle, die so allmählich abgebaut und schließlich ganz zum Verschwinden gebracht wird. Dabei hängt der Reibungswiderstand nicht von der Wellengeschwindigkeit, sondern von der erheblich kleineren Wassergeschwindigkeit ab.

Läuft ein Schwall mit der Wellengeschwindigkeit c und der entsprechenden Wassergeschwindigkeit v durch den Kanal, so hat er dabei einem Reibungswiderstand zu überwinden, den Krey in der erwähnten Veröffentlichung annähernd zu $W = \frac{l \cdot v^2 \cdot B}{k^2}$ ansetzte.

k ist der Beiwert der Formel $v = k \cdot \sqrt{R \cdot J}$

Die Bewegungsgleichung nimmt demnach die Form an:

$$\gamma \cdot F \cdot z + \gamma \cdot \frac{z}{2} \cdot \triangle F - \frac{\gamma \cdot l \cdot v^2 \cdot B}{k^2} = \frac{\gamma}{g} \cdot F \cdot c \cdot v$$

Daraus ergibt sich mit

$$v^2 = \frac{z^2 \cdot B_m{}^2 \cdot c^2}{F^2} \text{ und } F \cdot v = z \cdot B_m \cdot c$$

$$c_R = \frac{\sqrt{g \frac{F_m}{B_m}}}{1 + \frac{g \cdot l \cdot B \cdot B_m \cdot z}{k^2 \cdot F^2}}$$

In Tabelle 3 ist die Berechnung für die Schwallwelle, die bisher ohne Berücksichtigung der Reibung ermittelt war, durchgeführt. Das Ergebnis ist in Abb. 12 als Kurve d eingetragen. Durch die Reibung wird demnach die Schwallhöhe mit ca. 20 cm etwa 2 cm größer und der Abfall der Welle erfolgt etwas langsamer. Bei einem Sunk würde sich entsprechend die Sunktiefe etwas vergrößern und der Wiederanstieg würde etwas langsamer erfolgen. Da der Einfluß der Reibung von der Länge der Welle abhängt, wird er bei langen Wellen, d. h. größeren Kammerinhalten stärker sein als bei kurzen. Im ganzen bleibt er jedoch gering und wird im allgemeinen vernachlässigt werden können, wenn nicht außergewöhnliche Verhältnisse wie z. B. besonders große Kammerinhalte vorliegen.

Erheblicher wirkt die Reibung dagegen auf den allmählichen Abbau der Wellen bei ihrem Lauf durch den Kanal ein. Bevor jedoch dies näher untersucht wird, möge kurz die Wirkung der Wellengeschwindigkeit auf die Form der Wellen erläutert werden.

Zu c) Einfluß der Wellengeschwindigkeit auf die Form einer Welle:

In der Formel $c = \sqrt{g \frac{F_m}{B_m}}$ ist $\frac{F_m}{B_m}$ etwa proportional der Wassertiefe T. Die Wellengeschwindigkeit c nimmt also mit wachsendem T zu, so daß die höheren Teile der Welle etwas schneller laufen, als die tieferen. (Aus Abb. 6 sahen wir z. B., daß der Schwall schneller läuft als der Sunk.) Auch innerhalb einer Einzelwelle treten daher während des Laufes durch den Kanal innere Verschiebungen auf, und zwar muß bei der Schwallwelle der Kopf steiler werden und der Scheitel weiter nach vorn rücken, während bei einem Sunk das Gegenteil der Fall ist. Nach Tabelle 1 beträgt für z = o die Wellengeschwindigkeit c = 5,09 m/sek. und für z = 0,20 = 5,17 m/sek. Die 11 km lange Haltung wird von der Welle in etwa $\frac{11000}{5,14}$ = ca. 2000 Sek. durchlaufen. Dabei würde sich der Wellenscheitel gegenüber dem Fußpunkt um (5,17—5,09) · 2000 = 0,08 · 2000 = 160 m nach vorn verschoben haben. Im Vergleich zur Gesamtlänge der Welle von ca. 5600 m ist diese Verschiebung so gering, daß sie praktisch kaum in Erscheinung tritt und bei der rechnerischen Vorausbestimmung von Wellenformen vernachlässigt werden kann. Immerhin kann sie eine Erklärung dafür geben, daß, wie wir unter a) sahen, die theoretisch ermittelte Schwallwelle gegenüber der tatsächlich beobachteten etwas zurückbleibt.

Auch in einem einzelnen Kanalquerschnitt ist die Wellengeschwindigkeit nicht über die ganze Wasserspiegelbreite gleich, da ja die Wassertiefe nach den Ufern zu abnimmt. In der Mitte des Kanals laufen demnach die Wellen schneller als am Rande, so daß auch hierdurch die ursprüngliche Welle allmählich umgeformt werden muß. Dieser Einfluß ist jedoch rechnerisch nicht zu erfassen. Die gute Übereinstimmung der ohne seine Berücksichtigung er-

mittelten Wellenform mit der tatsächlich beobachteten läßt jedoch den Schluß zu, daß die Wirkung dieses Einflusses nur gering sein kann.

2. Einfluß der Reibung auf den Abbau der Wellen.

Es bleibt nun noch die Frage zu prüfen, wie die Reibung die Energie der Welle allmählich verzehrt und diese selbst abbaut. Auch hierfür ist die Berechnung von Krey in der genannten Veröffentlichung angegeben:

Das gesamte Arbeitsvermögen einer Schwall- oder Sunkwelle beträgt

$$\mathcal{E} = \int_0^l \frac{\gamma}{g} \cdot F\,dl \cdot \frac{v^2}{2} + \int_0^l \gamma \cdot B_m \cdot dl \cdot \frac{z}{2}$$

wobei das 1. Integral die kinetische und das 2. die potentielle Energie darstellt. Mit

$$z = \frac{F \cdot v}{B_m \cdot c} = \frac{q}{B_m \cdot c} \text{ und } c = \sqrt{g \frac{F_m}{B_m}}$$

werden beide Integrale gleich, das gesamte Arbeitsvermögen einer Welle wird damit

$$\mathcal{E} = \int \frac{\gamma}{g} \cdot F\,dl \cdot v^2 = \int \gamma \cdot B_m \cdot dl \cdot z^2$$

Der Reibungswiderstand des fließenden Wassers auf der Strecke $\triangle l$ kann annähernd gleich

$$W = \gamma \cdot F \cdot \triangle l \cdot J = \frac{\gamma \cdot \triangle l \cdot B}{k^2} \cdot v^2$$

gesetzt werden.

In der Zeit dt wird von dem Wellenteil $\triangle l$ eine Reibungsarbeit geleistet.

$$-d\mathcal{E} = \frac{\gamma \cdot \triangle l \cdot B \cdot v^2}{k^2} \cdot v \cdot dt$$

Diese geht von dem Arbeitsvermögen der Welle dauernd verloren. Setzt man aus der Arbeitsgleichung für v seinen Wert

$$v = \left(\frac{g \cdot \mathcal{E}}{\gamma \cdot F \cdot \triangle l}\right)^{\frac{1}{2}}$$

ein, so erhält man die Differenzialgleichung

$$\mathcal{E}^{-\frac{3}{2}} \cdot d\mathcal{E} = -\frac{g}{F}\frac{B}{k^2}\sqrt{\frac{g}{\gamma \cdot F \cdot \triangle l}} \cdot dt$$

oder zwischen o und t integriert

$$\mathcal{E}^{-\frac{1}{2}} = \frac{1}{2}\frac{g}{F}\frac{B}{k^2}\sqrt{\frac{g}{\gamma \cdot F \cdot \triangle l}} \cdot t + \mathcal{E}_0^{-\frac{1}{2}}$$

Dabei bedeutet $\mathcal{E}_0$ die ursprüngliche Wellenenergie bei der Entstehung. Setzt man nun wieder für $\mathcal{E}$ bzw. $\mathcal{E}_0$ die Werte nach Gleichung

$$\mathcal{E} = \frac{\gamma}{g} \cdot F \cdot \triangle l \cdot v^2$$

ein, so erhält man die Wassergeschwindigkeit zu jeder beliebigen Zeit und an jeder beliebigen Stelle aus:

$$\frac{1}{v} = \frac{1}{v_0} + \frac{1}{2}\,\frac{g}{k^2}\,\frac{B}{F}\cdot t$$

Aus v ist z dann leicht zu berechnen bzw. aus dem Diagramm zu entnehmen. B und F sind zwar nicht konstant, sondern ändern sich mit z. Da die Änderungen bei den hier zu betrachtenden Wellen jedoch nicht erheblich sind, genügt es, mit Mittelwerten zu rechnen.

Eine zahlenmäßige Berechnung ist für eine Schwallwelle auf Tabelle 4 durchgeführt. Als Ausgangswerte sind dabei $z_o = 18$ cm und $v_o = 0{,}35$ m/sek. zugrunde gelegt, wie sie etwa dem Mittelwert der beiden auf Abb. 7 dargestellten ersten Schwallwellen km 12,2 am 20. 11. 1938 entsprechen. Die Werte für B, B_m und F sind aus Tabelle 1 bzw. dem Diagramm zu entnehmen. Das Ergebnis ist in Abb. 13 dargestellt. Man sieht, daß besonders am Anfang die Werte für z und v schnell durch die Reibung abgebaut werden. Zum Vergleich sind die Werte z und v eingetragen, die den in Abb. 7 aufgetragenen Schwallwellen aus den Beobachtungen am 20. 11. 1938 entsprechen, d. h. von Wellen, die an den einzelnen Meßpunkten nicht durch entgegenkommende andere Wellen gestört sind. Es zeigt sich, daß die z-Werte gut mit den theoretisch ermittelten Kurven übereinstimmen. Daß die an den Stationen km 12,2 und 7,3 bei dem Versuch beobachteten v-Werte größer sind als die errechneten, liegt daran, daß bei dem Versuch, wie schon früher festgestellt wurde, nicht die mittleren Geschwindigkeiten für den ganzen Querschnitt erfaßt sind. Im übrigen zeigen auch die in Abb. 9 dargestellten Beobachtungen an der Haltung Datteln-Ahsen den allmählichen Abbau der Wellen.

Im ganzen stimmen die theoretischen Berechnungen von Schleusungswellen mit den gemachten Beobachtungen so gut überein, daß aus ihnen Form und Verhalten der Wellen genügend genau vorausbestimmt werden können. Wie wir gesehen haben, spielt dabei neben der Größe der sekundlichen Abflußmengen der Gesamtinhalt der Kammer und die Größe des Vorhafens eine wichtige Rolle. Auch erhebliche Kammerinhalte werden durch die Speicherung der Vorhäfen so umgeformt, daß sie für die Schiffahrt unschädlich werden. In demselben Sinne wirken auch Kanalverbreiterungen oder seitliche Häfen und Wasserflächen. Dabei ist es jedoch wichtig, daß die Verbindungen zwischen ihnen und dem Kanal genügend breit sind, da sonst beim Durchlauf der Wellen kräftige Seitenströmungen entstehen können, die für die Schiffahrt unbequem werden würden. So mußte an einem bestehenden Kanal, an dem eine seitliche große Wasserfläche durch eine schmale Verbindungsöffnung angeschlossen war, wegen derartiger Strömungen die Verbindung nachträglich verbreitert werden. Die Schleusungswellen, die in die Seitenfläche eintraten, wurden dort reflektiert und trafen bei ihrem Rücklauf am Kanal zu einem Zeitpunkt ein, an dem dort die Hauptwelle schon abgelaufen war. Die Folge war ein kräftiges Gefälle und eine für die Kanalschiffahrt lästige Seitenströmung.

Zur weiteren Nachprüfung für die durch solche Erweiterungen bewirkte Dämpfung von Schleusungswellen wurde am 24. 4. 1948 ein Versuch an der Haltung Ahsen-Flaesheim des Wesel-Datteln-Kanals durchgeführt. Etwa 1200 m oberhalb der Schleuse Flaesheim ist dort an den Kanal ein ca. 6,5 ha großes Kiesbaggerloch angeschlossen. Während einer Füllung der Schleuse Flaesheim wurden kurz vor und hinter ca. 50 m breiten Abzweigung die Wasserstände und Strömungsgeschwindigkeiten gemessen. Da Meßflügel nicht

zur Verfügung standen, konnten die Geschwindigkeiten nur durch Schwimmermessung bestimmt, d. h. nur die Oberflächengeschwindigkeiten und Durchschnittswerte über die gesamte Meßdauer gefunden werden.

Es ergab sich, daß vor der Abzweigung sowohl die Absenkungen des Kanalspiegels als auch die Strömungsgeschwindigkeiten erheblich größer sind ($z = 11^1/_2$ cm, $v = 0{,}30$ m/sek.) als dahinter ($z = 9$ cm, $v = 0{,}12$ m/sek.). Behinderungen der durchgehenden Schiffahrt durch schädliche Seitenströmungen an der Abzweigstelle sind bisher nicht aufgetreten. Trotzdem dürfte bei der Anlage von Kanalhäfen, wenn man die Wirkung der Schleusungswellen betrachtet, den neuerdings auch aus anderen Gründen vielfach angewandten seitlichen Dreieckshäfen der Vorzug vor Stichhäfen zu geben sein.

Sind Kanäle mit Doppelschleusen ausgerüstet, so wird damit gerechnet werden müssen, daß beide Kammern gleichzeitig gefüllt oder entleert werden. Dabei verdoppeln sich die Abflußmengen und bei gleichem Kanalquerschnitt müssen auch die Spiegeländerungen und Strömungsgeschwindigkeiten entsprechend anwachsen. Genügend große Vorhäfen sind deshalb auch aus diesem Grunde wichtig.

III. Kraftwerkswellen in Schiffahrtskanälen.

1. Entstehung der Wellen.

In Schiffahrtskanälen, die gleichzeitig auch als Zu- oder Ableitungen für Wasserkraftwerke dienen, treten außer den Schleusungswellen noch Wellen auf, die durch eine plötzliche Änderung in der Kraftwassermenge verursacht werden können. Es dürfte deshalb von Wert sein, auch diese Wellen einer kurzen Beobachtung zu unterziehen und dabei Abhilfemaßnahmen zu zeigen, die an ausgeführten Anlagen getroffen wurden, um solche Wellen auf ein für die Schiffahrt unschädliches Maß herabzusetzen.

Werden die Generatoren eines Wasserkraftwerkes plötzlich entlastet, z. B. beim Bruch der Freileitungsverbindung zum Netz, so sperren die automatischen Regler den Zufluß zu den Turbinen ab. Mit Rücksicht auf die Spannungsregelung werden die Schließzeiten der Regler immer recht kurz sein, d. h. 2 bis 4 Sekunden. Es tritt dabei im Oberwasser des Kraftwerkes ein Stauschwall und im Unterwasser ein Absperrsunk auf. Der umgekehrte Fall einer plötzlichen Belastung aller Turbinen von 0 auf Vollast kommt praktisch nicht vor. In der Regel wird die Anordnung so sein, daß das Kraftwasser vom Wehr aus in einen gemeinsamen Kanal geführt wird, der sich dann in einer bestimmten Entfernung vor der Schleuse bzw. dem Kraftwerk in 2 Kanäle teilt, von denen der eine in den Vorhafen für die Schleuse übergeht und der andere zum Kraftwerk führt. (Z. B. Neckarstaustufen Wieblingen und Ladenburg, Rheinseitenkanal Kembs.) Ebenso können sich die beiden Unterwasserkanäle wieder zu einem gemeinsamen Kanal vereinigen (z. B. Shannon-Kraftwerk, Irland). Wenn die vom Kraftwerk ausgehenden Wellen an den Trennpunkten der Kanäle ankommen, laufen sie einerseits in dem gemeinsamen Kanal weiter und treten andererseits auch in die nur der Schiffahrt dienenden Kanalteile und Vorhäfen ein. Dabei können die in diesen Kanalteilen entstehenden Sunk- und Schwallwellen größer und für die Schiffahrt unbequemer werden als die in den gemeinsamen Kanälen entstehenden Wellen. Diese Vorgänge lassen sich gut an einem Modellversuch verfolgen, der z. Z. für das Shannon-Kraftwerk in Irland zur Vermeidung von Störungen der Schiffahrt durchgeführt wurde[6]). Da dort vom Kraftwerk mehrere Freileitungen ab-

[6]) „Modellversuche für die Schußrinne des Shannon-Kraftwerkes" von Professor Dr. Ludin, Zeitschrift „Der Bauingenieur" 9. Jahrg. 1928, Heft 11.

gehen, konnte damit gerechnet werden, daß von der Gesamtleistung des Kraftwerkes etwa die Hälfte plötzlich ausfallen könnte. Dabei würden durch die Turbinenregler innerhalb von 2 Sek. ca. 300 m³/sek. plötzlich abgesperrt werden, so daß im Oberwasser ein Stauschwall und im Unterwasser ein Absperrsunk von solcher Stärke auftreten würden, daß sie für die Schiffahrt nicht mehr tragbar gewesen wären. Nach dem Versuch am Modell im Maßstab 1 : 50 trifft z. B. der Absperrsunk an dem Punkt, wo sich der Unterkanal der neben dem Kraftwerk liegenden Schleuse wieder mit dem Kraftwerkskanal vereinigt, nach 28,5 Sekunden ein und erreicht dort nach weiteren 14 Sekunden seinen tiefsten Punkt mit 0,625 m, um dann mit kurzen Pendelschwingungen annähernd auf dieser Höhe zu bleiben. In dem gemeinsamen weiteren Verlauf des Kanals läuft der Sunk mit 9,25 m/sek. weiter und hat dabei nach weiteren 250 m noch eine Tiefe von 0,50 m. Die in den Schleusenunterkanal eintretende Sunkwelle erreicht das 280 m entfernte Untertor ca. 70 Sekunden nach dem Abschluß der Turbinen (c = 6,75 m/sek.). Die Sunktiefe an der Schleuse erreicht dabei aber 1,40 m, also mehr als das Doppelte der Absenkung an der Abzweigung, und die Senkungsgeschwindigkeit des Wasserspiegels steigt dabei auf 3,3 cm/sek. Diese starke Absenkung ist offenbar außer durch die Reflexion dadurch verursacht, daß sich im Schleusenunterkanal ein starker Sog einstellt und die vorher ruhende Wassermasse in Bewegung bringt. Dabei sinkt der Wasserspiegel an der Schleuse nicht nur entsprechend der Sunktiefe im Unterkanal ab, sondern schwingt darüber hinaus, bis er nach einiger Zeit wieder zurückschwingt und das Wasser wieder zur Schleuse hin zurückströmt.

Die Verhältnisse lagen bei dem Shannon-Kraftwerk besonders ungünstig, da die Kraftwassermenge verhältnismäßig groß ist und die Schleuse keinen unteren Vorhafen hat, der dämpfend wirken könnte. Das Beispiel zeigt aber, mit welchen Erscheinungen bei gemeinsamen Kraftwerks- und Schiffahrtsbetrieb gerechnet werden muß. Entscheidend ist dabei die Ausbauwassermenge des Kraftwerks bzw. diejenige Teilmenge, die plötzlich abgesperrt werden kann, wobei diese von der Aufteilung der Gesamtmenge auf die einzelnen Turbinen und der elektrischen Schaltung abhängt. Dabei wird auch zu untersuchen sein, ob die Schleusungswellen durch die Kraftwasserwellen verstärkt oder abgeschwächt werden. Im allgemeinen wird bei Flußkanalisierungen mit Seitenkanälen an einem Wehr jeweils nur eine Schleusen- und Kraftstufe hängen, so daß sich die Wirkungen der Schleusen- und Kraftwasserwellen nicht addieren (z. B. Neckarstaustufen Ladenburg und Wieblingen). Sind jedoch an einem solchen gemeinsamen Schiffahrt- und Kraftkanal mehrere Stufen hintereinander geschaltet, so kann ein durch die Turbinen der Oberstufe verursachter Absperrsunk mit einem Entnahmesunk der Schleuse der Unterstufe zusammentreffen, desgl. ein Kraftwasserstauschwall der unteren Stufe mit einem Schleusenfüllschwall aus der Oberstufe. Dabei treten zwar keine Erhöhungen der Wassergeschwindigkeiten ein, aber es addieren sich die jeweiligen Wasserspiegeländerungen.

2. Mittel zur Abschwächung von Kraftwerkswellen.

Auch Kraftwerkswellen werden durch genügend große Vorbecken im Ober- und Unterwasser wirkungsvoll gedämpft. Darüber hinaus sind an manchen Stellen noch besondere Einrichtungen getroffen worden, von denen einige hier erwähnt seien.

Bei dem Shannon-Kraftwerk ist neben dem Kraftwerk ein Leerschuß angeordnet, der durch eine Segmentschütze verschlossen ist, die durch ein Fallgewicht in der Reglerschlußzeit von 2 Sekunden geöffnet wird. Dabei wird

schlagartig eine Wassermenge von ca. 120 m³/sek. freigegeben, d. i. ca. 1/3 derjenigen Menge, die durch die Turbinen plötzlich abgesperrt wird. Wie die mit dieser Einrichtung durchgeführten Modellversuche zeigten, gelang es damit, den Sunk am Schleusenunterhaupt von 1,40 m auf 0,65 m, also um mehr als 50 v. H. herabzusetzen und die Strömung im Schleusenunterkanal erheblich zu ermäßigen. Bedingung ist dabei, daß das Öffnen des Leerschusses gleichzeitig mit dem Schließen der Turbinenleitapparate erfolgt, damit der Absperrsunk der Turbinen bereits beim Entstehen kräftig gedämpft wird. Im vorliegenden Fall wird die Öffnungsbewegung für den Leerschuß über Relais von den elektrischen Vorgängen ausgelöst, die die Ursache für das Abschalten der Turbinen sind.

Eine andere Einrichtung ist von Dr.-Ing. Böß beschrieben[7]).

Hier ist neben einem Kraftwerk, das in 3 Turbinen max. 18 m³/sek. ausnutzt, ein Heyn'scher Wasseregel (Heber) von 13 m³/sek. Leistung eingebaut. Zweck war hier, den Unterlieger von den Betriebsschwankungen des Kraftwerks unabhängig zu machen. An der fertigen Anlage wurden Versuche durchgeführt und dabei auch die Schwallwellen aufgenommen, die bei plötzlichem Abschluß der Turbinen unter der Wirkung des Hebers entstehen. Das Anspringen des Hebers wird durch den Schwall selbst ausgelöst und erfolgt schon bei 8 cm Schwallhöhe mit voller Leistung. Der Heber tritt 8 Sekunden nach Abschluß der Turbinen in Tätigkeit, baut den bis dahin im Oberwasser entstandenen Stauschwall sofort stark ab und führt ihn in 40 Sek. auf 6 cm zurück. Es entsteht also nur ein kurzer und in seiner Höhe stark verringerter Schwall. Da, wie die Betrachtung der Schleusenwellen zeigte, Schwall- und Sunkwellen in den Vorhäfen um so mehr abgeschwächt werden, je kürzer sie sind, können demnach auch solche Heber in Verbindung mit genügend großen Wasserflächen, wie sie im Ober- und Unterwasser von Kraftwerken meist vorhanden sind, wesentlich zur Dämpfung von Kraftwerkswellen beitragen.

IV. Einfluß der Wellen auf die Gestalt des Querschnitts und den Schutz des Ufers und der Sohle.

Den bei den Schleusungs- und Kraftwerkswellen auftretenden Änderungen des Wasserspiegels und der Wassergeschwindigkeiten muß bei der Bestimmung von Form und Größe des Kanalquerschnitts und bei der Wahl des Schutzes der Querschnittsbegrenzung Rechnung getragen werden.

1. Änderung des Wasserspiegels.

Das Steigen des Kanalspiegels, das außer durch die Schleusungs- und Kraftwerkswellen auch durch Windstau verursacht werden kann, berücksichtigt man bei neuzeitlichen Kanälen bei der Festlegung der Brückenunterkanten. Das ist besonders wichtig in der Nähe der Schleusen, da bei der Reflexion der Wellen die Spiegeländerungen sich im Umkehrbereich verdoppeln. Dieser Bereich ist gleich der halben Wellenlänge, im vorliegenden Falle des Wesel-Datteln-Kanals also 5600/2 = 2800 m. Eine Erhöhung des Wellenscheitels tritt aber, wie wir gesehen haben, auch ein, wenn eine rücklaufende Welle einem neuen, von der oberen Schleuse kommenden Schwall begegnet. In kurzen Haltungen sind solche Begegnungen nicht nur häufiger als in langen, sondern es haben auch die sich begegnenden Wellen infolge der kürzeren Wege weniger Energie verloren, so daß kräftige Erhöhungen

[7]) „Versuche an einem Heyn'schen Wasseregel bei der Wasserkraftanlage der Papierfabrik Schoeller & Hoesch in Gernsbach" von Reg.-Baurat Dr.-Ing. Paul Böß, Bautechnik, Jahrg. 11, Heft 33 vom 1. August 1933, S. 503—505.

der ursprünglichen Wellen die Folge sein können. Es ist daher besonders in kurzen Haltungen wichtig, der lichten Höhe der Brückenunterkanten über dem Kanalspiegel ein ausreichendes Sicherheitsmaß zuzuschlagen, und zwar nicht nur im Bereich der Schleusen, sondern auf der ganzen Haltungslänge.

Die beschriebenen Erscheinungen treffen mit veränderten Vorzeichen auch auf die Sunkwellen zu. Damit sich begegnende Schiffe auch dann, wenn sie von einem Sunk erfaßt werden, noch in der Nähe des Ufers genügend Spielraum unter der landseitigen Kimm vorfinden, muß der Kanal in Höhe der Böden beladener Schiffe eine genügende Breite haben. Dies ist selbst bei den neueren Kanälen nicht immer genügend beachtet. Die schon von anderer Seite im Hinblick auf den Schiffahrtsbetrieb vorgeschlagenen größeren Breiten für künftige Kanäle würden deshalb auch mit Rücksicht auf die Schleusungswellen von Nutzen sein, besonders in kurzen Haltungen, in denen die Sunktiefen bei Begegnungen von noch wenig geschwächten Wellen größer sein können, als in langen. Häufig pflegt man kurze Haltungen zwischen zwei Schleusen als verlängerte Vorhäfen zu betrachten und ihnen schon deshalb eine größere Breite zu geben. So hat auch die 3 km lange Haltung des Wesel-Datteln-Kanals zwischen den Schleusen Datteln und Ahsen statt der Normalbreite von 34,50 m eine Spiegelbreite von 46,50 m erhalten, und es ist wohl auch diesem Umstand mit zuzuschreiben, daß Schwierigkeiten, die auf die Schleusungswellen zurückzuführen wären, bisher nicht aufgetreten sind.

2. Änderung der Wassergeschwindigkeit.

Wie die Versuche zeigten, treten auch in Kanälen, die lediglich der Schiffahrt dienen und nicht ständig in der einen oder anderen Richtung durchströmt sind, unter der Wirkung der Schleusungswellen Wassergeschwindigkeiten auf, die am Wesel-Datteln-Kanal bis zu 0,70 m/sek. betragen. Dabei würden die Böschungen und die Sohle des Kanals, wenn sie aus leicht beweglichen Böden bestehen, angegriffen werden. Im allgemeinen erhalten jedoch solche Kanäle stets einen Uferschutz, da sie sonst schon durch die Bug- und Heckwellen der Schiffe beschädigt würden. Bei den neuzeitlichen deutschen Kanälen hat sich für einen solchen Uferschutz, der im allgemeinen von 1 m ober- bis 1 m unterhalb des Wasserspiegels reicht, ein 30 cm starker Steinwurf in einer Neigung von 1 : 2,5 bis 1 : 3 gut bewährt und als ausreichend bewiesen. Im Gegensatz zu den kurzen Bug- und Heckwellen der Schiffe steigen die langen Schleusungswellen nur ganz allmählich mit sehr flacher Steigung an, so daß durch sie verursachte Schäden bisher nicht beobachtet sind. Lediglich in unmittelbarer Nähe der Schleusen können beim schnellen Füllen und Entleeren der Kammern stärkere Angriffe auf die Uferbefestigung auftreten, die auf die dabei entstehenden Wirbel und stehenden Walzen zurückzuführen sind. Ein genügend widerstandsfähiger Schutz ist jedoch auch hier durch eine Packung von größeren Steinen oder Trockenpflaster leicht zu erreichen.

Während die Bug- und Heckwellen nur die seitlichen Böschungen des Kanals angreifen, wirken sich die durch die Schleusungswellen verursachten Wasserströmungen auf den ganzen Querschnitt, also auch auf die Sohle und die tiefer liegenden Böschungsteile aus. Bestehen diese aus leicht beweglichen Böden, so könnten sie durch die Strömung angegriffen und beschädigt werden. Der Betrieb mit Schraubenfahrzeugen, der bei den neueren Großschiffahrtskanälen die Regel sein dürfte, verlangt jedoch für solche Böden eine Auskleidung gegen die Angriffe des Schraubenwassers, die so widerstandsfähig ist, daß sie auch zusätzliche Angriffe, die durch die Schleusungswellen verursacht werden, aufnehmen kann. Ein lediglich durch die Schleusungswellen bedingter Schutz wird daher im allgemeinen nur in Ausnahmefällen notwendig werden.

Gefährlich können in Kraftwasserstraßen, die auch als Zu- und Ableitung für Wasserkraftwerke dienen, Wellen werden, die durch den Kraftwerksbetrieb verursacht werden. Bei plötzlichem Abschluß der Turbinen können sie Höhen von 1 m und mehr erreichen und durch die mit ihnen verbundene starke Sogwirkung zu Schäden an den Ufern und in ungünstigen Fällen auch zum Einsturz von Böschungen führen. Widerstandsfähige Ufersicherungen sind daher in diesen Fällen besonders wichtig.

V. Wirtschaftlicher Vergleich zwischen einem festen Schutz der Querschnittsbegrenzung und einer Vergrößerung des Querschnitts.

Werden in einem Kanal die Wassergeschwindigkeiten so groß, daß Beschädigungen der Kanalumgrenzung (Böschung und Sohle) zu befürchten sind, so kann man dem entweder durch eine Vergrößerung des Kanalquerschnittes oder durch einen festen Schutz auf Böschung und Sohle begegnen.

Diese Frage möge am Beispiel des Wesel-Datteln-Kanals erörtert werden, wobei Preise zugrunde gelegt sind, wie sie in den Jahren 1938/39 bei Kanalbauten im Bereich der Wasserstraßendirektion Münster festgestellt wurden.

Soll die bei den Versuchen am Wesel-Datteln-Kanal beobachtete größte Wassergeschwindigkeit von etwa 0,70 m/sek., die für leicht bewegliche Böden (Sand, feiner Kies) zu groß sein würde, auf das hierfür zulässige Maß von 0,30 bis 0,40 m/sek. herabgesetzt werden, so müßte hierfür die Querschnittfläche des Kanals etwa verdoppelt werden. Demgegenüber würde es zweifellos wirtschaftlicher sein, die gefährdeten Teile der Kanalumgrenzung mit einem festen Schutz zu versehen. Bei den westdeutschen Schiffahrtskanälen ist, soweit ein solcher außer in der Wasserlinie auch für die tiefer liegenden Böschungsteile und die Sohle zum Schutz gegen den Schraubenstrahl erforderlich war, im allgemeinen eine Steinschüttung von 30 cm Stärke verwendet worden, deren Kosten durchschnittlich 3,80 RM/m² betrugen. Auch eine gleich starke Schüttung aus dem Abraum von Steinbrüchen mit rund 60 v. H. Steingehalt hat sich bei den Erweiterungsarbeiten des Dortmund-Ems-Kanals gut bewährt und würde auch da, wo in besonderen Fällen Angriffe durch die von Schleusungswellen verursachte Strömung zu befürchten wären, ausreichen. Die Kosten stellten sich hierfür auf durchschnittlich 2,70 RM/m². Da der Umfang des wasserbenetzten Querschnittes beim Wesel-Datteln-Kanal 37 m beträgt, würden für den laufenden Meter Kanallänge etwa 140,— DM bei 30 cm starker Steinschüttung, bzw. 100,— DM für eine Auskleidung mit Bruchabraum aufzuwenden sein. Demgegenüber sind die Kosten für 1 m³ Kanalaushub einschließlich Transport und Einbau bzw. Ablagerung im großen Durchschnitt zu 1,80 bis 2,00 DM anzusetzen, so daß für eine Verdoppelung des jetzt 91,63 m² betragenden Querschnitts rund 184,00 DM für den laufenden Meter Kanallänge aufzuwenden wären. Dabei ist angenommen, daß der Wasserspiegel des Kanals etwa in Geländehöhe liegt. In ungedichteten Strecken wird er im allgemeinen tiefer, d. h. etwa in Höhe des Grundwasserspiegels zu legen sein, wobei sich die Menge des erforderlichen Mehraushubes entsprechend vergrößern würde. Da mit Rücksicht auf die zulässige größte Böschungsneigung es nicht möglich sein würde, die Querschnittsvergrößerung nur nach der Tiefe vorzunehmen, müßte gleichzeitig der Kanal verbreitert werden. Hierdurch würden noch zusätzlich Kosten für den Grunderwerb entstehen. Hat der Kanal eine Dichtungsschale, so müßte man auch die Kosten für deren Erweiterung berücksichtigen.

In den wohl seltenen Fällen, wo besondere Maßnahmen zum Schutz der Kanalumgrenzung gegen die Wirkung der Schleusungswellen erforderlich werden, wird es daher wirtschaftlicher sein, Sohle und Wandungen mit einem

festen Schutz zu versehen. Wie wir gesehen haben, können solche Wellen aber auch durch eine Vergrößerung der Vorhäfen und den Anschluß seitlicher Wasserflächen wirkungsvoll herabgesetzt werden, wenn man nicht die sekundlichen Füll- und Entnahmemengen verringern und damit eine Verlängerung der Schleusungsdauer in Kauf nehmen will. Dabei hängt die Entscheidung darüber, welche dieser Mittel einzeln oder zusammen die zweckmäßigste und wirtschaftlichste Lösung ergeben, von den besonderen Umständen des einzelnen Falles ab, so daß allgemein gültige Regeln hierfür nicht gegeben werden können.

Zusammenfassung.

Die Betrachtung der am Wesel-Datteln-Kanal mit Schleusungswellen durchgeführten Versuche zeigte, daß für die Form solcher Wellen außer der sekundlichen Schleusungswassermenge auch der Inhalt der Schleusenkammer sowie die Größe der Schleusenvorhäfen eine ausschlaggebende Rolle spielen. Die durch die Speisungspumpwerke erzeugte Strömung wirkt sich praktisch nur auf die durch die Wellen erzeugte Wassergeschwindigkeit aus, der Einfluß auf die Wasserspiegeländerung ist unwesentlich. Die rechnerische Ermittlung von Schleusungswellen an Hand der hierfür entwickelten Formeln führt zu einem Ergebnis, das gut mit den Versuchsbeobachtungen übereinstimmt. In den Kanälen, die gleichzeitig als Kraftwasser- und Schiffahrtsstraßen dienen, können Wellen, die durch die Kraftwerke verursacht werden, die Wirkung der Schleusungswellen verstärken und zu Schwierigkeiten für die Schiffahrt führen. Einige ausgeführte Beispiele zeigten die Möglichkeit, derartige Kraftwerkswellen soweit zu dämpfen, daß sie für die Schiffahrt unschädlich werden. Nachdem dann weiter der Einfluß betrachtet wurde, den die Schleusungswellen auf die Gestalt des Kanalquerschnitts sowie auf den Schutz der Ufer und Sohle ausüben, wurde untersucht, ob da, wo besondere Maßnahmen in dieser Hinsicht notwendig werden, ein fester Schutz der Kanalumgrenzung wirtschaftlicher sein würde als eine Vergrößerung des Querschnitts.

Tabelle 1

Berechnung von Schleusungswellen

a) eines Schwalles ohne Pumpbetrieb.

$$c = \sqrt{g \frac{Fm}{Bm}} \; ; \quad q = c \cdot Bm \cdot z \; ; \quad v = \frac{q}{F}$$

$$F = 91{,}63\ m^2 \; ; \quad B = 34{,}50\ m$$

z	0	5	10	15	20	25	30	cm
F	91,63	93,36	95,10	96,85	98,61	100,38	102,15	m^2
B	34,50	34,70	34,90	35,10	35,30	35,50	35,70	m
Bm	–	34,60	34,70	34,80	34,90	35,00	35,10	m
Fm	–	92,50	93,37	94,24	95,12	96,01	96,89	m^2
c	5,09	5,11	5,14	5,16	5,17	5,18	5,19	m/sek
q	0	8,84	17,50	26,95	36,20	45,35	54,60	m^3/sek
v	0	0,095	0,184	0,278	0,368	0,452	0,534	m/sek

b) eines Sunkes ohne Pumpbetrieb.

z	0	5	10	15	20	25	30	cm
F	91,63	89,91	88,20	86,49	84,81	83,15	81,46	m^2
B	34,50	34,30	34,10	33,90	33,70	33,50	33,30	m
Bm	–	34,40	34,30	34,20	34,10	34,00	33,90	m
Fm	–	90,77	81,92	89,06	88,22	87,38	86,54	m^2
c	5,10	5,08	5,07	5,06	5,04	5,03	5,01	m/sek
q	0	8,75	17,40	26,00	34,40	42,80	51,00	m^3/sek
v	0	0,098	0,197	0,301	0,405	0,514	0,625	m/sek

Tabelle 2

Berechnung von Schleusungswellen

a) eines Schwalles bei Betrieb von 4 Pumpen

$c' = \sqrt{g \cdot \frac{Fm}{Bm}} - u$; $v' = v - u$; $u = \frac{12{,}56}{F}$ m/sek

$q = c' \cdot Bm \cdot z$; $q' = q - 12{,}56\ m^3/sek$; $F = 91{,}63\ m^2$; $B = 34{,}50$ m

z	0	5	10	15	20	25	30	cm
F	91,63	93,36	95,10	96,85	98,61	100,38	102,15	m^2
B	34,50	34,70	34,90	35,10	35,30	35,50	35,70	m
Bm	—	34,60	34,70	34,80	34,90	35,00	35,10	m
Fm	—	92,50	93,37	94,24	95,12	96,01	96,89	m^2
c	5,10	5,11	5,14	5,16	5,17	5,18	5,19	m/sek
u	0,135	0,134	0,132	0,129	0,127	0,125	0,123	m/sek
c'	4,863	4,98	5,01	5,03	5,04	5,06	5,07	m/sek
q	0	8,62	17,40	26,21	35,20	44,25	53,40	m^3/sek
q'	−12,56	−3,94	4,84	13,65	22,64	31,69	40,84	m^3/sek
v	− 0,135	− 0,04	0,051	0,141	0,234	0,315	0,40	m/sek

b) eines Sunkes bei Betrieb von 4 Pumpen

$c' = \sqrt{g \cdot \frac{Fm}{Bm}} + u$; $v' = v - u$; $u = \frac{12{,}56}{F}$ m/sek

$v = \frac{q'}{F}$; $q' = q - 12{,}56\ m^3/sek$

z	0	5	10	15	20	25	30	cm
F	91,63	89,91	88,20	86,49	84,91	83,15	81,46	m^2
B	34,50	34,30	34,10	33,90	33,70	33,50	33,30	m
Bm	—	34,40	34,30	34,20	34,10	34,00	33,90	m
Fm	—	90,77	89,92	89,06	88,22	87,38	86,55	m
c	5,10	5,08	5,07	5,06	5,04	5,03	5,00	m/sek
u	0,137	0,139	0,142	0,145	0,147	0,151	0,154	m/sek
c'	4,863	5,22	5,21	5,21	5,19	5,18	5,15	m/sek
q	0	8,95	17,90	26,70	35,30	44,00	52,50	m^3/sek
q'	−12,56	− 3,16	5,34	14,14	22,70	31,44	39,94	m^3/sek
v'	− 0,135	− 0,035	0,059	0,164	0,268	0,378	0,491	m/sek

Einfluß der Reibung auf die Form einer Schwallwelle.

Tabelle 3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Zeit nach Beginn der Welle sek	Δl m	c m/sek	B m	B mittel m	Bm m	Bm mittel m	F m^2	F mittel m^2	z m	z mittel m	k^2	$\frac{q}{k^2}\cdot\frac{\Delta l\cdot B\cdot Bm\cdot z}{F^2}$	1+Sp. 13	c_R m/sek	z_R m
0"		5,09	34,50		34,50		91,62		0,031					5,09	0
	610			34,50		34,50		91,62		0,034	2260	0,0127	1,013		
120"		5,14	34,50		34,50		91,62		0,037					5,07	0,038
	780			34,70		34,60		93,36		0,072	"	0,0336	1,047		
270"		5,17	34,90		34,70		95,10		0,107					4,93	0,108
	1090			35,10		34,80		96,85		0,143	"	0,0885	1,136		
480"		5,14	35,30		34,90		98,61		0,180					4,54	0,200
	1200			35,10		34,80		96,85		0,140	"	0,095	1,231		
720"		5,09	34,90		34,70		95,10		0,100					4,14	0,11
	2260			34,70		34,60		93,36		0,059	"	0,076	1,307		
1170"		5,09	34,50		34,50		91,62		0,018					3,90	0,022

c = Wellengeschwindigkeit ohne Berücksichtigung der Reibung
z = Schwallhöhe " " " " "
c_R = Wellengeschwindigkeit mit " " " "
z_R = Schwallhöhe " " " " "

$$= \frac{q}{Bm\cdot c_R} = \frac{c}{1+\frac{q}{k^2}\cdot\frac{\Delta l\cdot B\cdot Bm\cdot z}{F^2}}$$

Abbau einer Schwallwelle durch den Einfluß der Reibung.

Tabelle 4

$\frac{1}{v} = \frac{1}{v_0} + \frac{1}{2} \cdot \frac{g}{k^2} \cdot \frac{B}{F} \cdot t_i$ $\qquad z = \frac{F \cdot v}{Bm \cdot c}$

$z_0 = 0{,}18$ m

$k = 47{,}5$ $\qquad k^2 = 2260$

$v_0 = 0{,}35$ m/sek

Nach Tabelle 1 ist für $z = 0$ $\quad i = 0{,}20$

$c_{mittel} = \frac{5{,}09 + 5{,}17}{2} = 5{,}13$ m/sek

$B = 34{,}50$ m $\qquad 35{,}30$ m

$F = 91{,}63\ m^2 \qquad 98{,}61\ m^2$

$B_{m\,mittel} = \frac{34{,}50 + 34{,}90}{2} = 34{,}70$ m

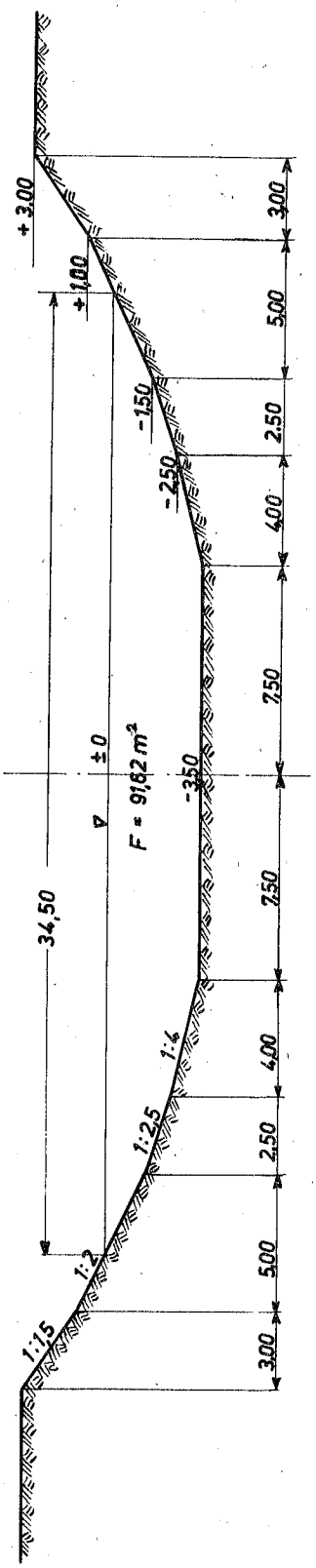
$\frac{g}{k^2} \cdot \frac{B}{F} = \frac{1{,}635}{1000} \qquad \frac{1{,}543}{1000}$

$F_{m\,mittel} = \frac{91{,}63 + 98{,}61}{2} = 95{,}12\ m^2$

Mittelwert $\frac{1{,}588}{1000}$

Weglänge $l = t \cdot c_{mittel}$

Zeit	0'	5'	10'	15'	20'	30'	40'	50'	60'	1 St.20'	1St.40'	2 St.	2½St.	3 St.	3½St.	4 St.
v m/sek	0,35	0,32	0,30	0,29	0,26	0,23	0,22	0,19	0,18	0,15	0,135	0,12	0,095	0,09	0,08	0,065
z m	0,18	0,171	0,16	0,155	0,140	0,125	0,120	0,105	0,10	0,08	0,075	0,065	0,051	0,05	0,04	0,035
Weglänge km	0	1,54	3,08	4,62	6,15	9,22	10,23	15,4	18,50	24,60	30,80	37,0	46,2	55,5	64,5	74,0



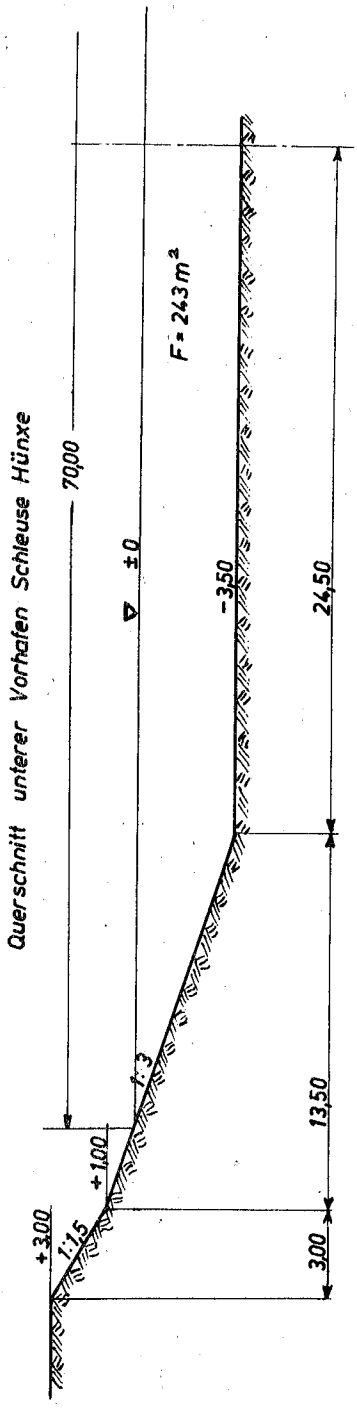


Abb. 1
Querschnitte des Wesel-Datteln-Kanals

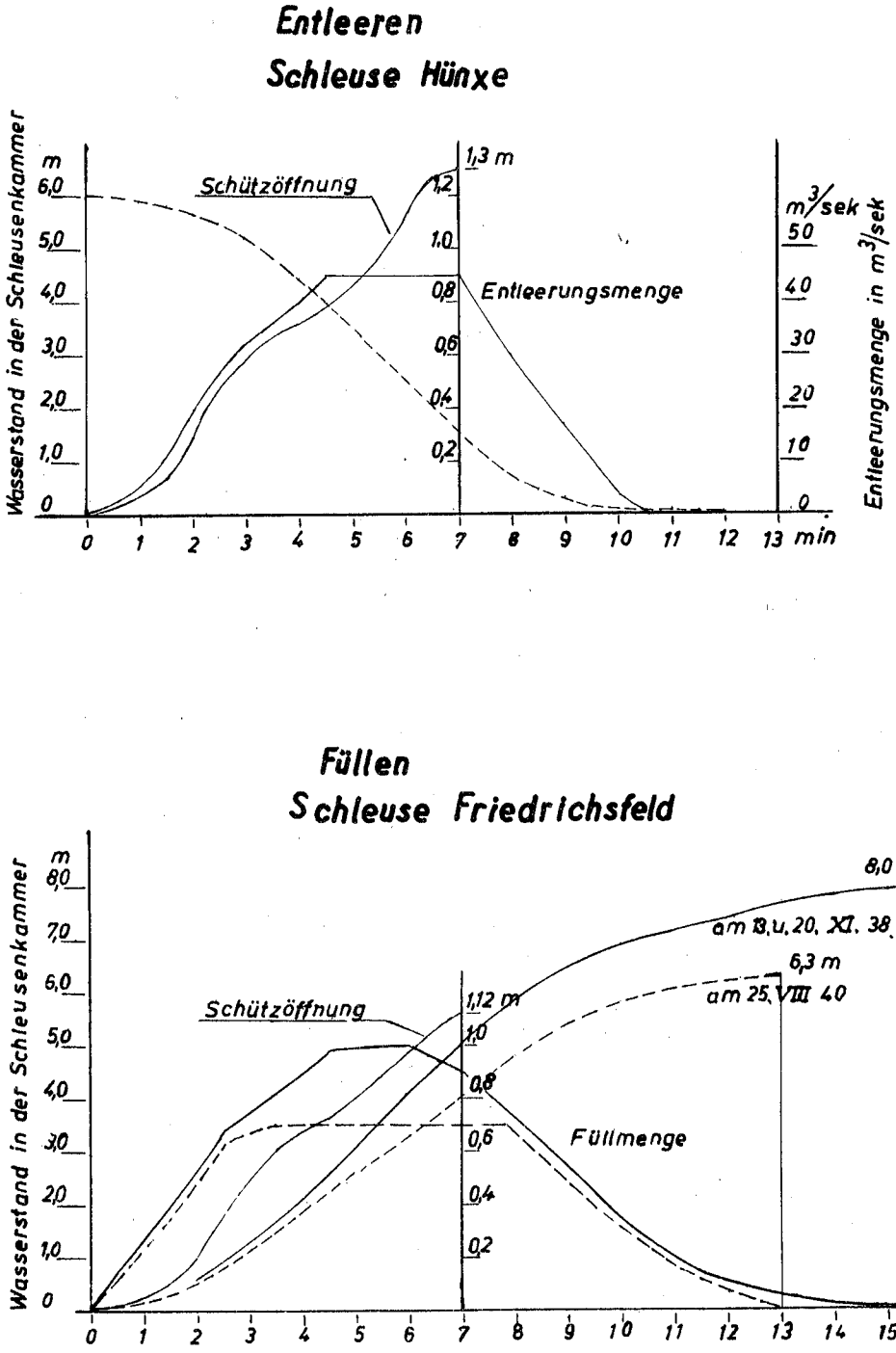
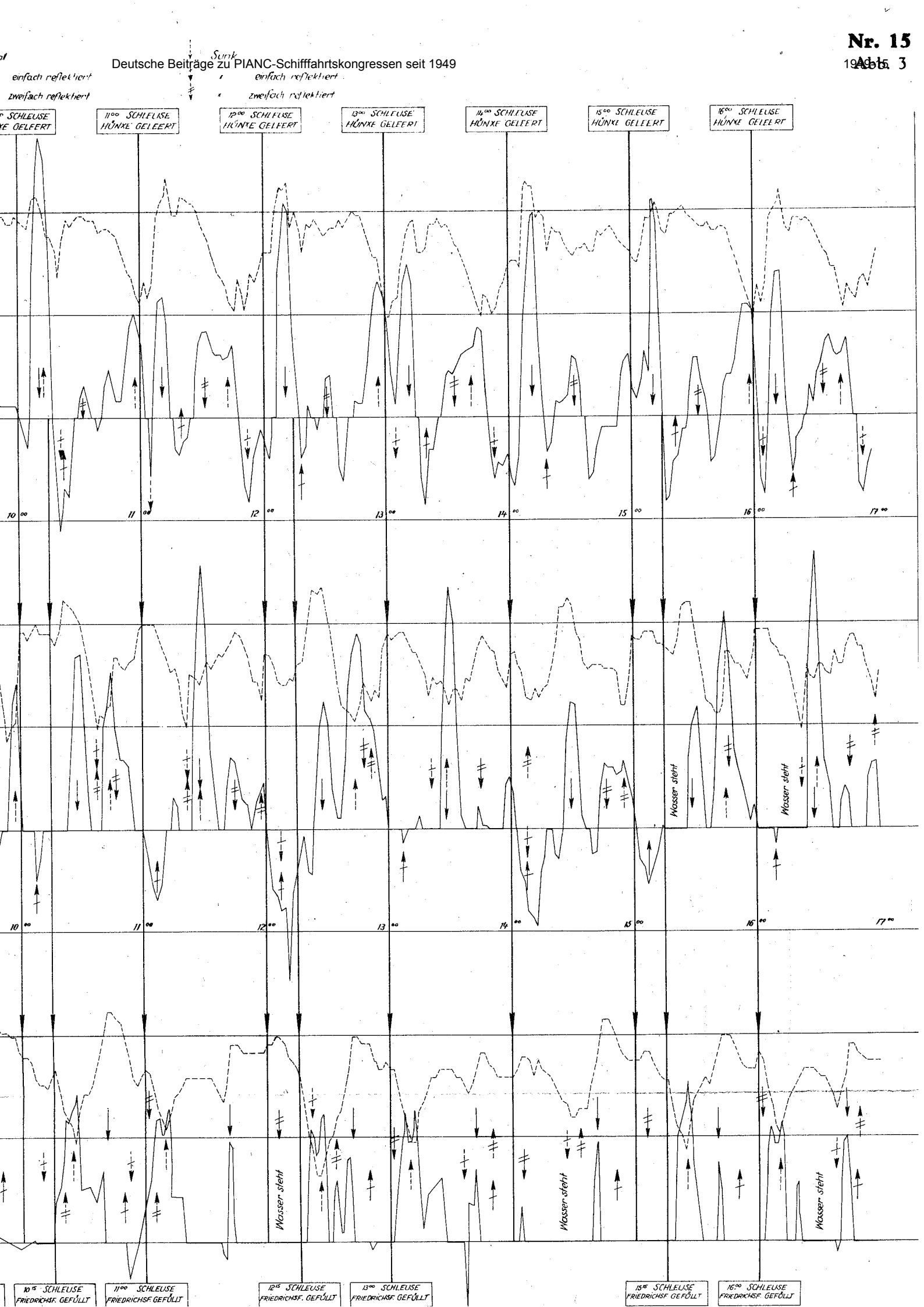


Abb. 2
Schützöffnungen, sekundl. Füll- bzw. Entnahmemengen und Wasserspiegel in den Schleusenkammern der Schleusen Hünxe und Friedrichsfeld


Sunk
einfach reflektiert
zweifach reflektiert
einfach reflektiert
zweifach reflektiert
SCHLEUSE HÜNXE GELEERT
11⁰⁰ SCHLEUSE HÜNXE GELEERT
12⁰⁰ SCHLEUSE HÜNXE GELEERT
13⁰⁰ SCHLEUSE HÜNXE GELEERT
14⁰⁰ SCHLEUSE HÜNXE GELEERT
15⁰⁰ SCHLEUSE HÜNXE GELEERT
16⁰⁰ SCHLEUSE HÜNXE GELEERT
10 00
11 00
12 00
13 00
14 00
15 00
16 00
17 00
Wasser steht
Wasser steht
Wasser steht
Wasser steht
Wasser steht
10¹⁵ SCHLEUSE FRIEDRICHSF. GEFÜLLT
11⁰⁰ SCHLEUSE FRIEDRICHSF. GEFÜLLT
12¹⁵ SCHLEUSE FRIEDRICHSF. GEFÜLLT
13⁰⁰ SCHLEUSE FRIEDRICHSF. GEFÜLLT
15¹⁵ SCHLEUSE FRIEDRICHSF. GEFÜLLT
16⁰⁰ SCHLEUSE FRIEDRICHSF. GEFÜLLT

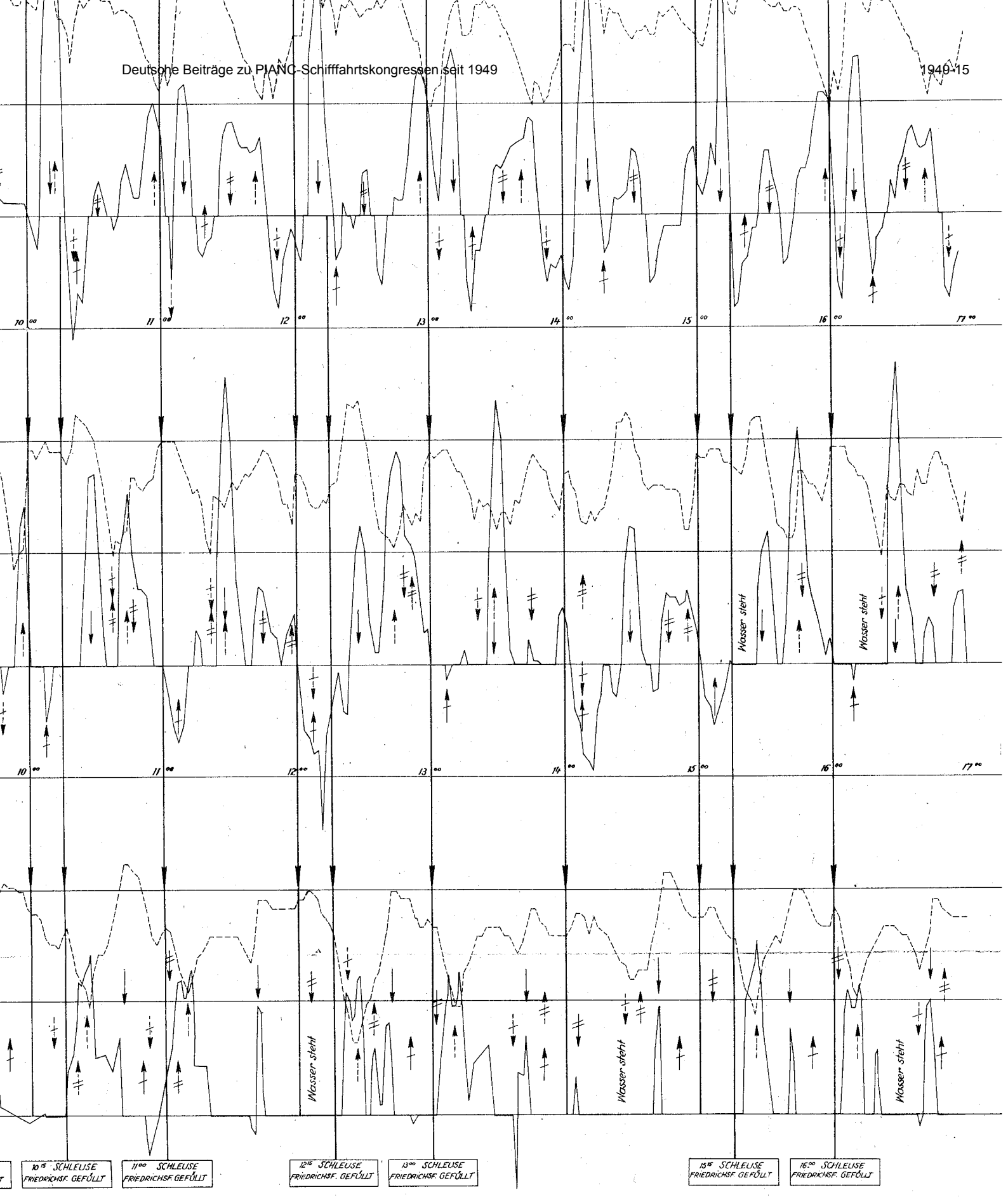
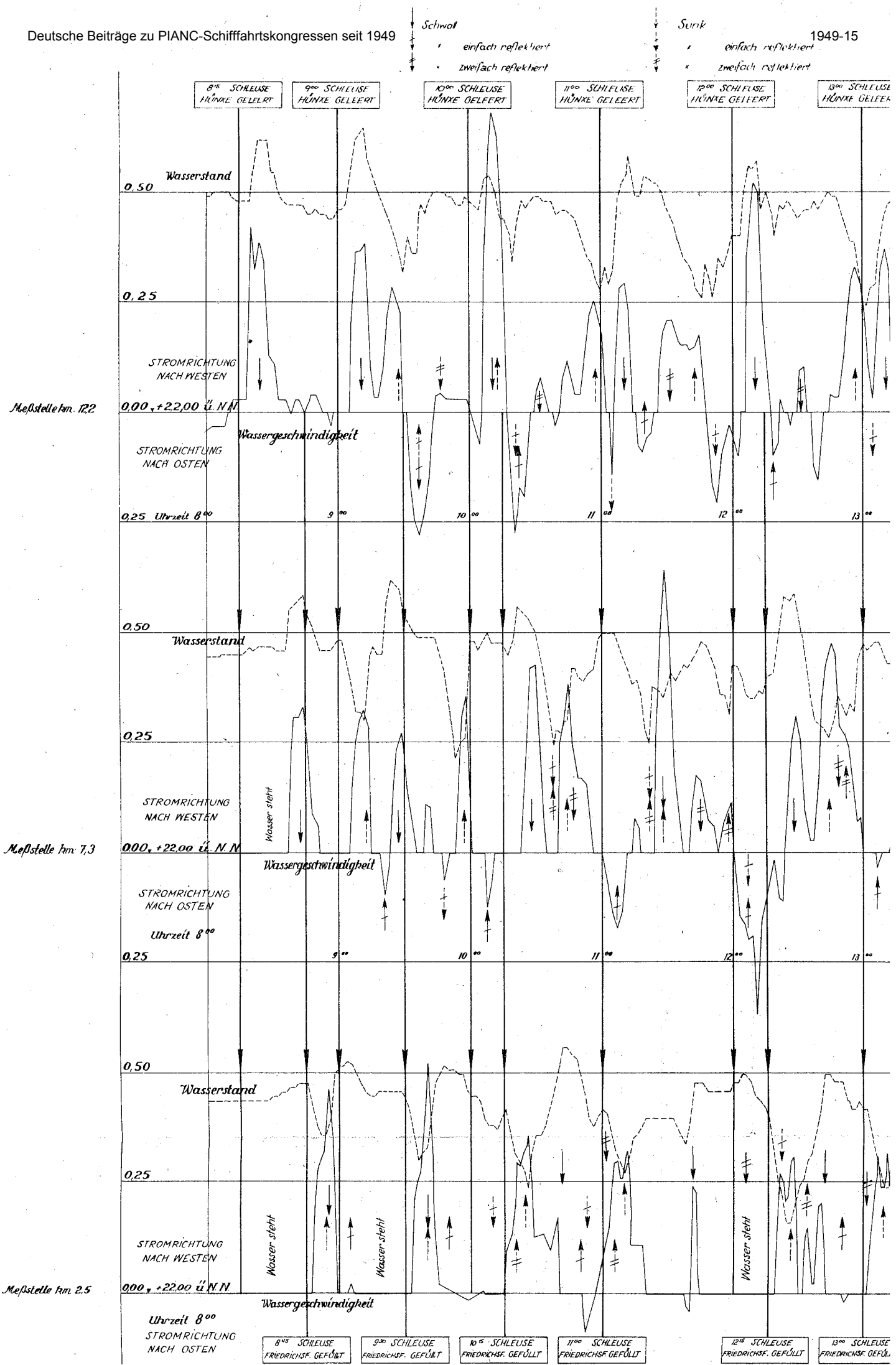


Abb. 3
Wasserstände und Strömungsgeschwindigkeiten in der Haltung Friedrichsfeld—Hünxe des Wesel-Datteln-Kanals am 20. 11. 1938


Schwall
einfach reflektiert
zweifach reflektiert
Sunk
einfach reflektiert
zweifach reflektiert
8¹⁵ SCHLEUSE HÜNXE GELEERT
9⁰⁰ SCHLEUSE HÜNXE GELEERT
10⁰⁰ SCHLEUSE HÜNXE GELEERT
11⁰⁰ SCHLEUSE HÜNXE GELEERT
12⁰⁰ SCHLEUSE HÜNXE GELEERT
13⁰⁰ SCHLEUSE HÜNXE GELEERT
Wasserstand
0,50
0,25
STROMRICHTUNG NACH WESTEN
0,00 = +22,00 ü. N.N.
Meßstelle km 12,2
Wassergeschwindigkeit
STROMRICHTUNG NACH OSTEN
0,25
Uhrzeit 8⁰⁰ 9⁰⁰ 10⁰⁰ 11⁰⁰ 12⁰⁰ 13⁰⁰
0,50
Wasserstand
0,25
STROMRICHTUNG NACH WESTEN
Wasser steht
0,00 = +22,00 ü. N.N.
Meßstelle km 7,3
Wassergeschwindigkeit
STROMRICHTUNG NACH OSTEN
Uhrzeit 8⁰⁰
0,25
9⁰⁰ 10⁰⁰ 11⁰⁰ 12⁰⁰ 13⁰⁰
0,50
Wasserstand
0,25
STROMRICHTUNG NACH WESTEN
Wasser steht
Wasser steht
Wasser steht
0,00 = +22,00 ü. N.N.
Meßstelle km 2,5
Wassergeschwindigkeit
Uhrzeit 8⁰⁰
STROMRICHTUNG NACH OSTEN
8⁴⁵ SCHLEUSE FRIEDRICHSF. GEFÜLLT
9³⁰ SCHLEUSE FRIEDRICHSF. GEFÜLLT
10¹⁵ SCHLEUSE FRIEDRICHSF. GEFÜLLT
11⁰⁰ SCHLEUSE FRIEDRICHSF. GEFÜLLT
12¹⁵ SCHLEUSE FRIEDRICHSF. GEFÜLLT
13⁰⁰ SCHLEUSE FRIEDRICHSF. GEFÜLLT

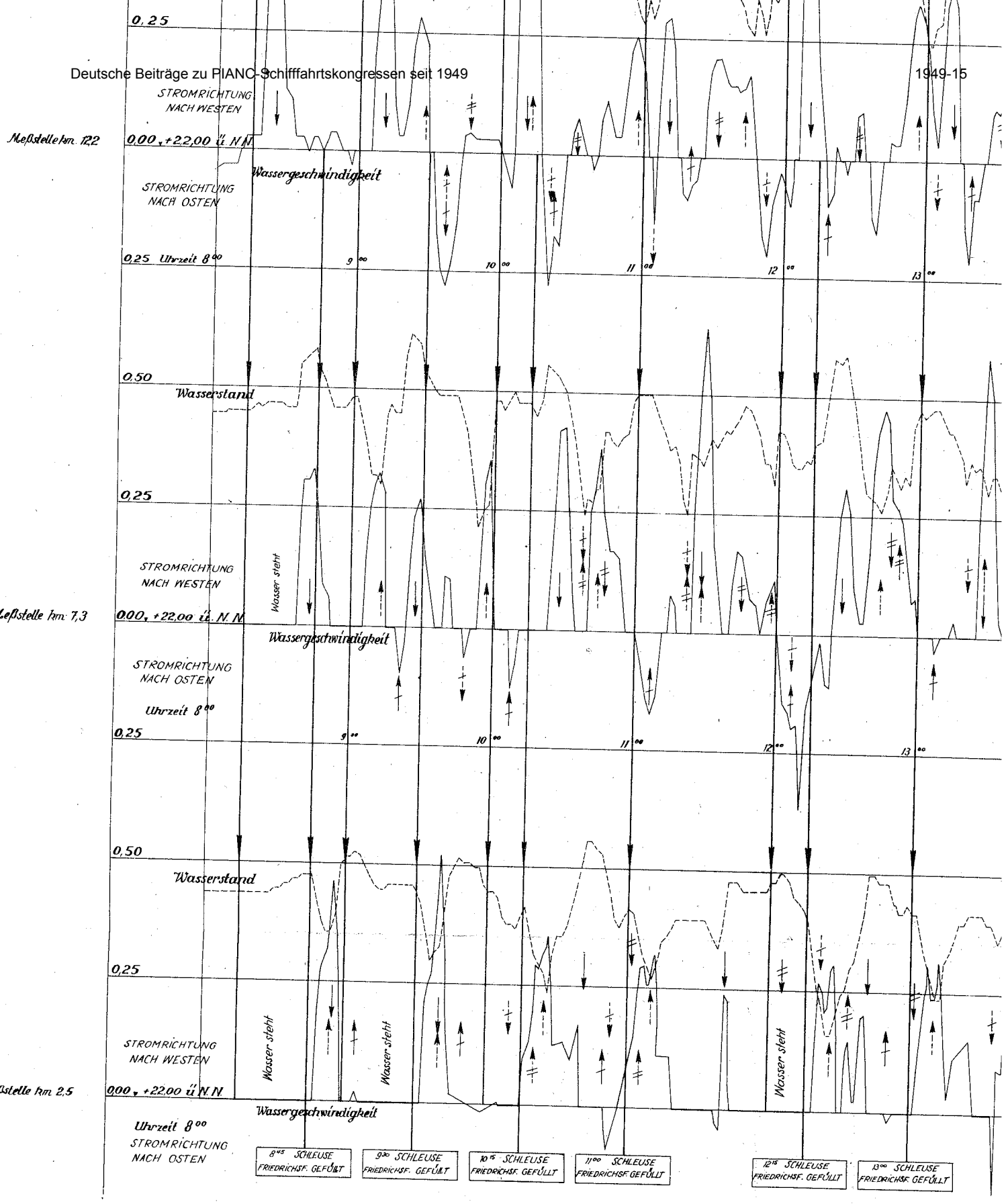


Abb. 3
Wasserstände und Strömungsgeschwindigkeiten in der
Friedrichsfeld—Hünxe des Wesel-Datteln-Kanals am 20.

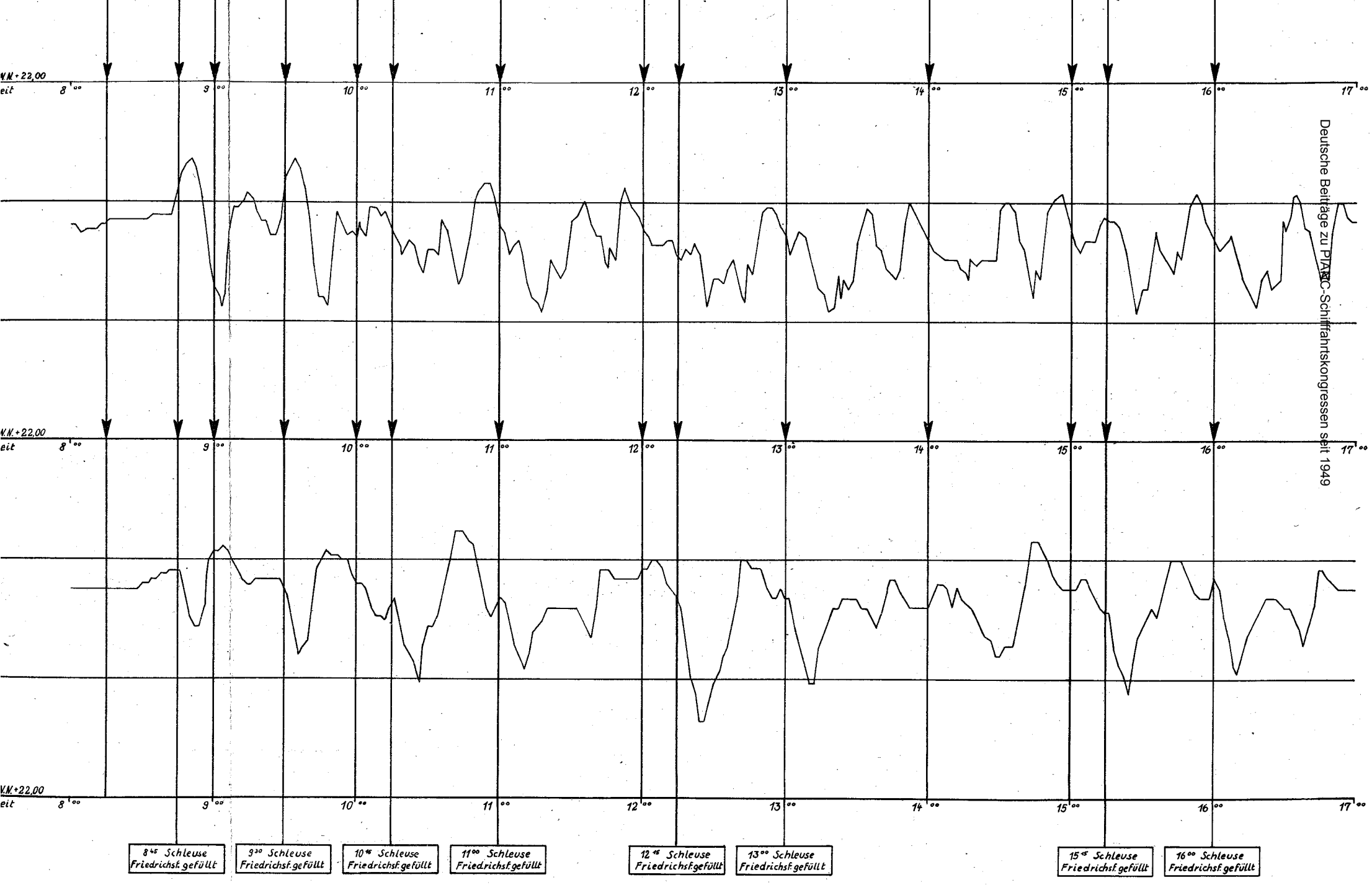


Abb. 4
Wasserstände in der Haltung Friedrichsfeld—Hünxe am 20. 11. 1938
(kein Pumpbetrieb)

Deutsche Beiträge zu PIANC-Schiffahrtskongressen seit 1949

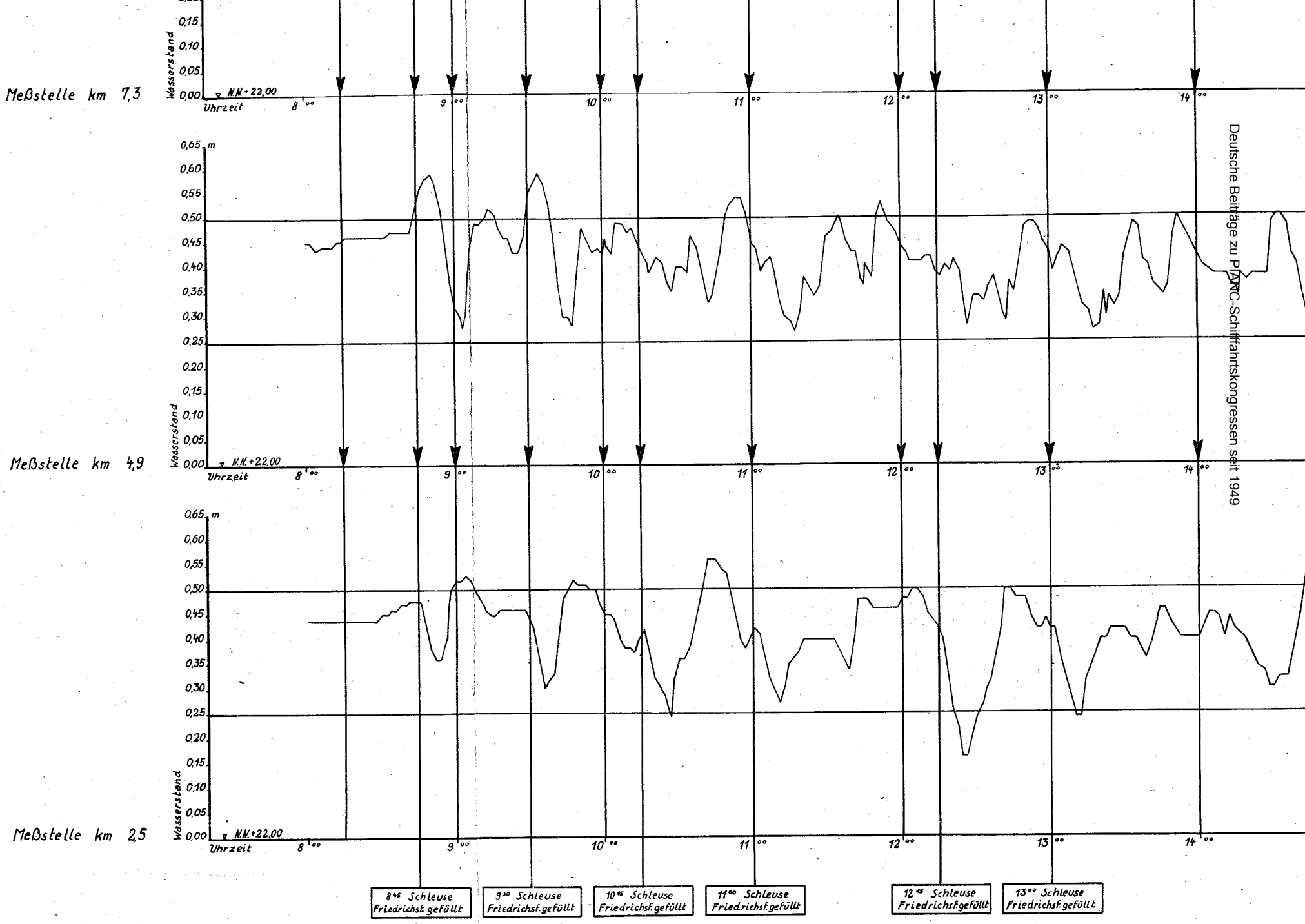
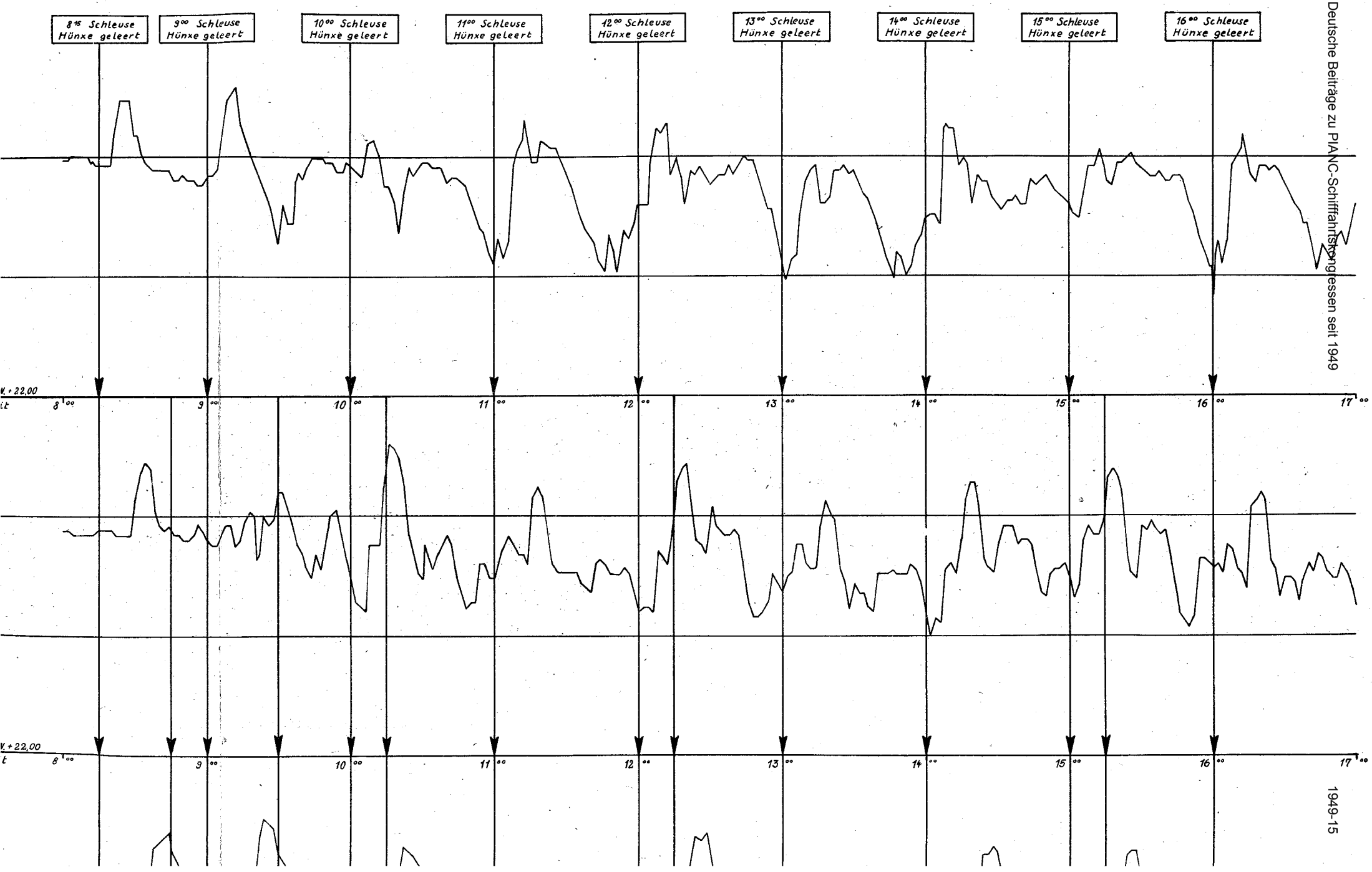
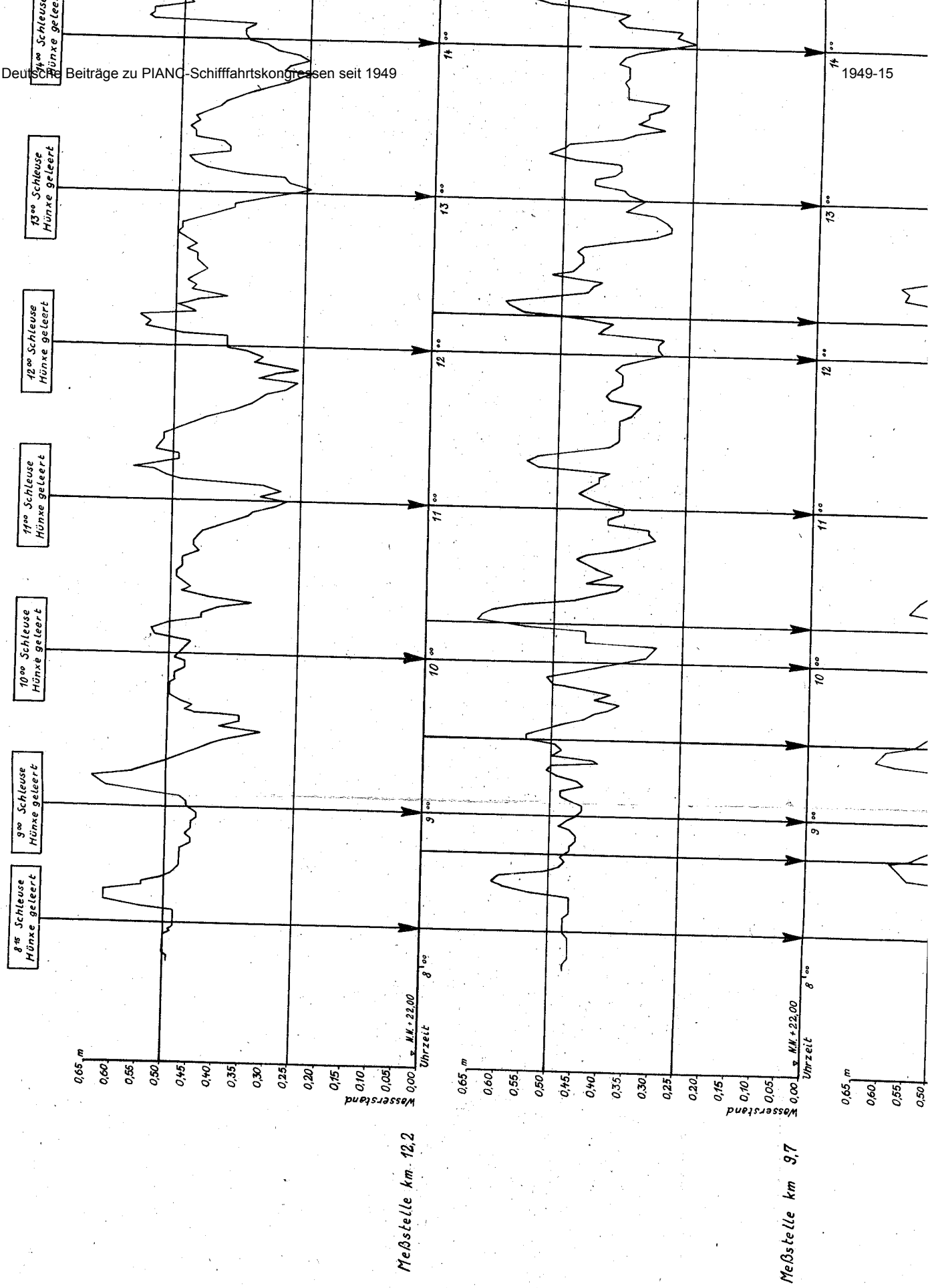


Abb. 4
Wasserstände in der Haltung Friedrichsfeld—Hünxe am 20. 11. 1938
(kein Pumpbetrieb)

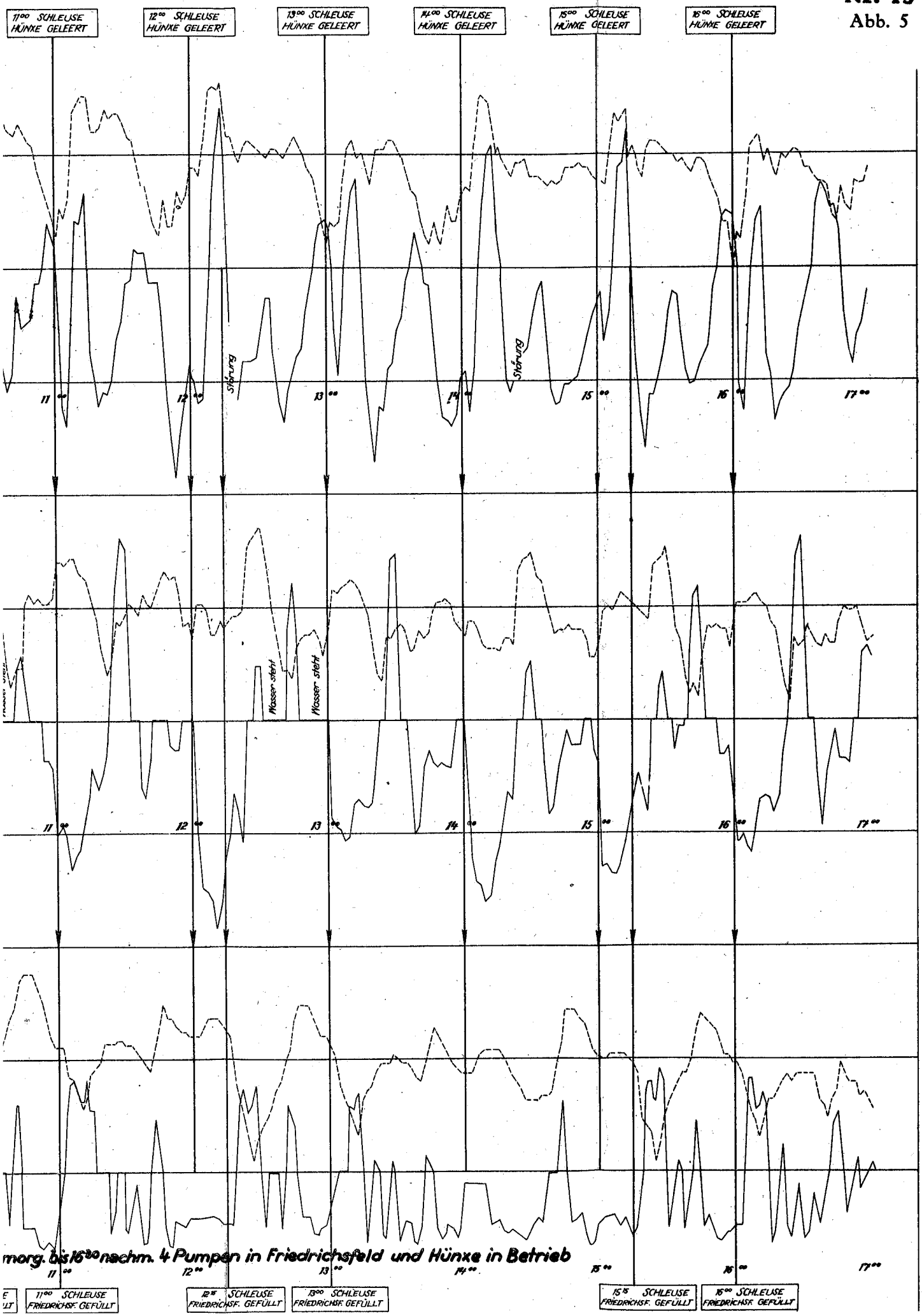
Deutsche Beiträge zu PIANC-Schiffahrtskongressen seit 1949



Deutsche Beiträge zu PIANC-Schifffahrtskongressen seit 1949


8 45 Schleuse Hünxe geleert
9 00 Schleuse Hünxe geleert
10 00 Schleuse Hünxe geleert
11 00 Schleuse Hünxe geleert
12 00 Schleuse Hünxe geleert
13 00 Schleuse Hünxe geleert
14 00 Schleuse Hünxe geleert
Wasserstand
m
0,65
0,60
0,55
0,50
0,45
0,40
0,35
0,30
0,25
0,20
0,15
0,10
0,05
0,00
N.N. + 22,00
Uhrzeit
8 00
9 00
10 00
11 00
12 00
13 00
14 00
Meßstelle km 12,2
Meßstelle km 9,7

Nr. 15
Abb. 5


11⁰⁰ SCHLEUSE HÜNXE GELEERT
12⁰⁰ SCHLEUSE HÜNXE GELEERT
13⁰⁰ SCHLEUSE HÜNXE GELEERT
14⁰⁰ SCHLEUSE HÜNXE GELEERT
15⁰⁰ SCHLEUSE HÜNXE GELEERT
16⁰⁰ SCHLEUSE HÜNXE GELEERT
Sturz
Sturz
11 ⁰⁰
12 ⁰⁰
13 ⁰⁰
14 ⁰⁰
15 ⁰⁰
16 ⁰⁰
17 ⁰⁰
Wasser steht
Wasser steht
morg. bis 16³⁰ nachm. 4 Pumpen in Friedrichsfeld und Hünxe in Betrieb
11⁰⁰ SCHLEUSE FRIEDRICHSF. GEFÜLLT
12¹⁵ SCHLEUSE FRIEDRICHSF. GEFÜLLT
13⁰⁰ SCHLEUSE FRIEDRICHSF. GEFÜLLT
15¹⁵ SCHLEUSE FRIEDRICHSF. GEFÜLLT
16⁰⁰ SCHLEUSE FRIEDRICHSF. GEFÜLLT

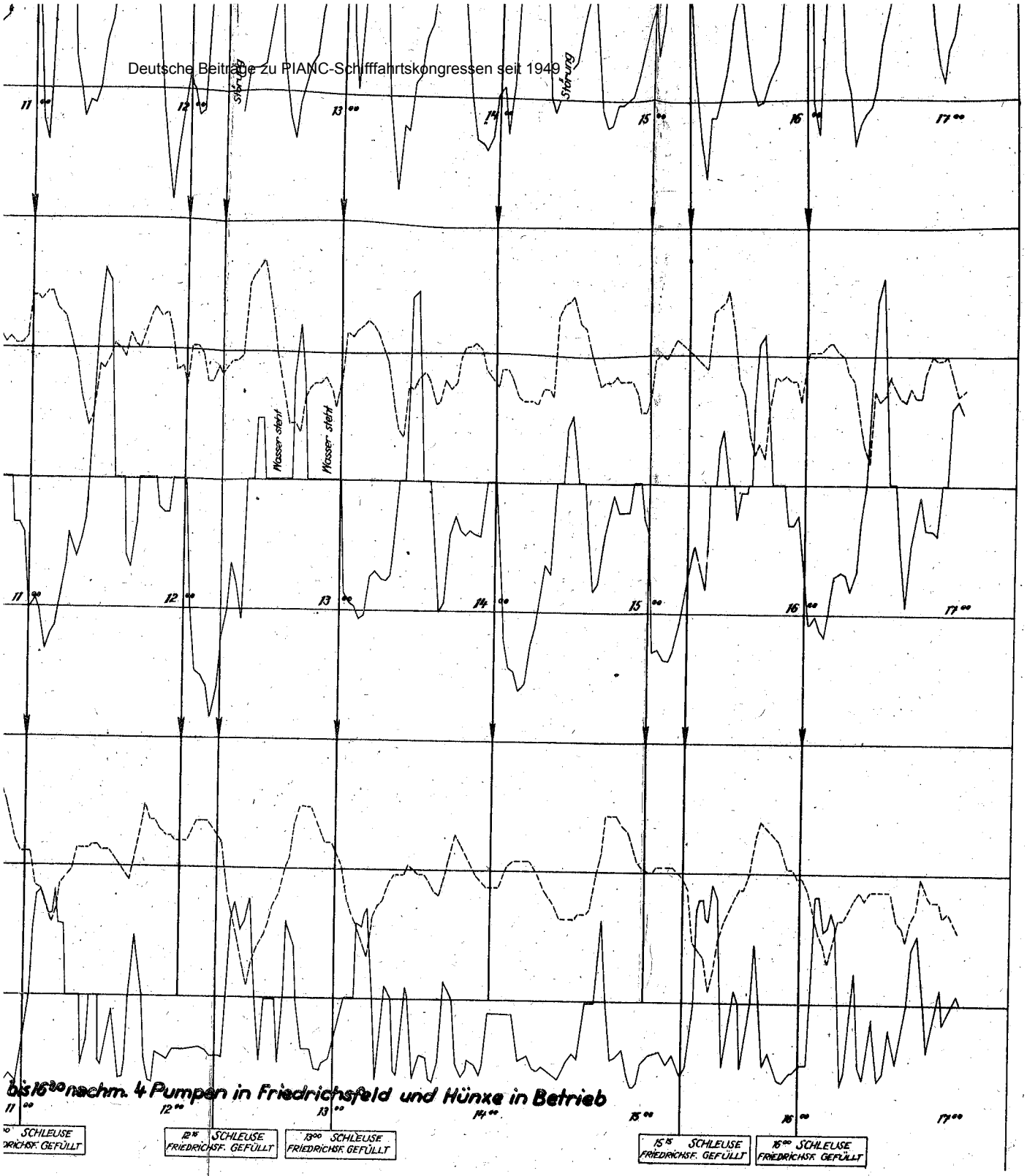
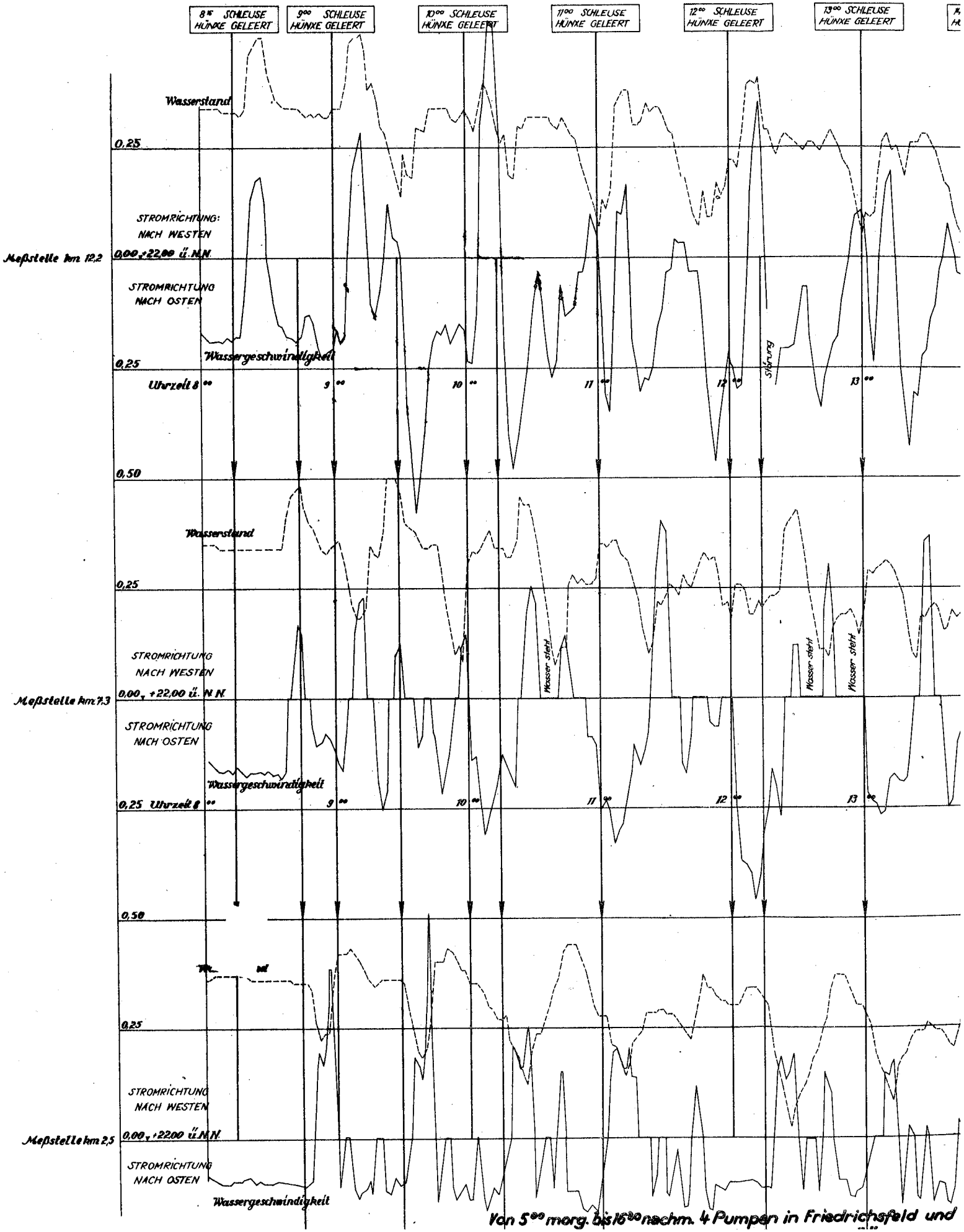


Abb. 5

inde und Strömungsgeschwindigkeiten in der Haltung
sfeld—Hünxe des Wesel-Datteln-Kanals am 13. 11. 1938


8⁰⁰ SCHLEUSE HÜNXE GELEERT
9⁰⁰ SCHLEUSE HÜNXE GELEERT
10⁰⁰ SCHLEUSE HÜNXE GELEERT
11⁰⁰ SCHLEUSE HÜNXE GELEERT
12⁰⁰ SCHLEUSE HÜNXE GELEERT
13⁰⁰ SCHLEUSE HÜNXE GELEERT
Wasserstand
0,25
STROMRICHTUNG: NACH WESTEN
Meßstelle km 12,2
0,00 = +22,00 ü. N.N.
STROMRICHTUNG NACH OSTEN
0,25
Wassergeschwindigkeit
Uhrzeit 8⁰⁰ 9⁰⁰ 10⁰⁰ 11⁰⁰ 12⁰⁰ 13⁰⁰
Störung
0,50
Wasserstand
0,25
STROMRICHTUNG NACH WESTEN
Meßstelle km 7,3
0,00 = +22,00 ü. N.N.
Wasser steht
Wasser steht
Wasser steht
STROMRICHTUNG NACH OSTEN
Wassergeschwindigkeit
0,25 Uhrzeit 8⁰⁰ 9⁰⁰ 10⁰⁰ 11⁰⁰ 12⁰⁰ 13⁰⁰
0,50
0,25
STROMRICHTUNG NACH WESTEN
Meßstelle km 2,5
0,00 = +22,00 ü. N.N.
STROMRICHTUNG NACH OSTEN
Wassergeschwindigkeit
Von 5⁰⁰ morg. bis 16³⁰ nachm. 4 Pumpen in Friedrichsfeld und

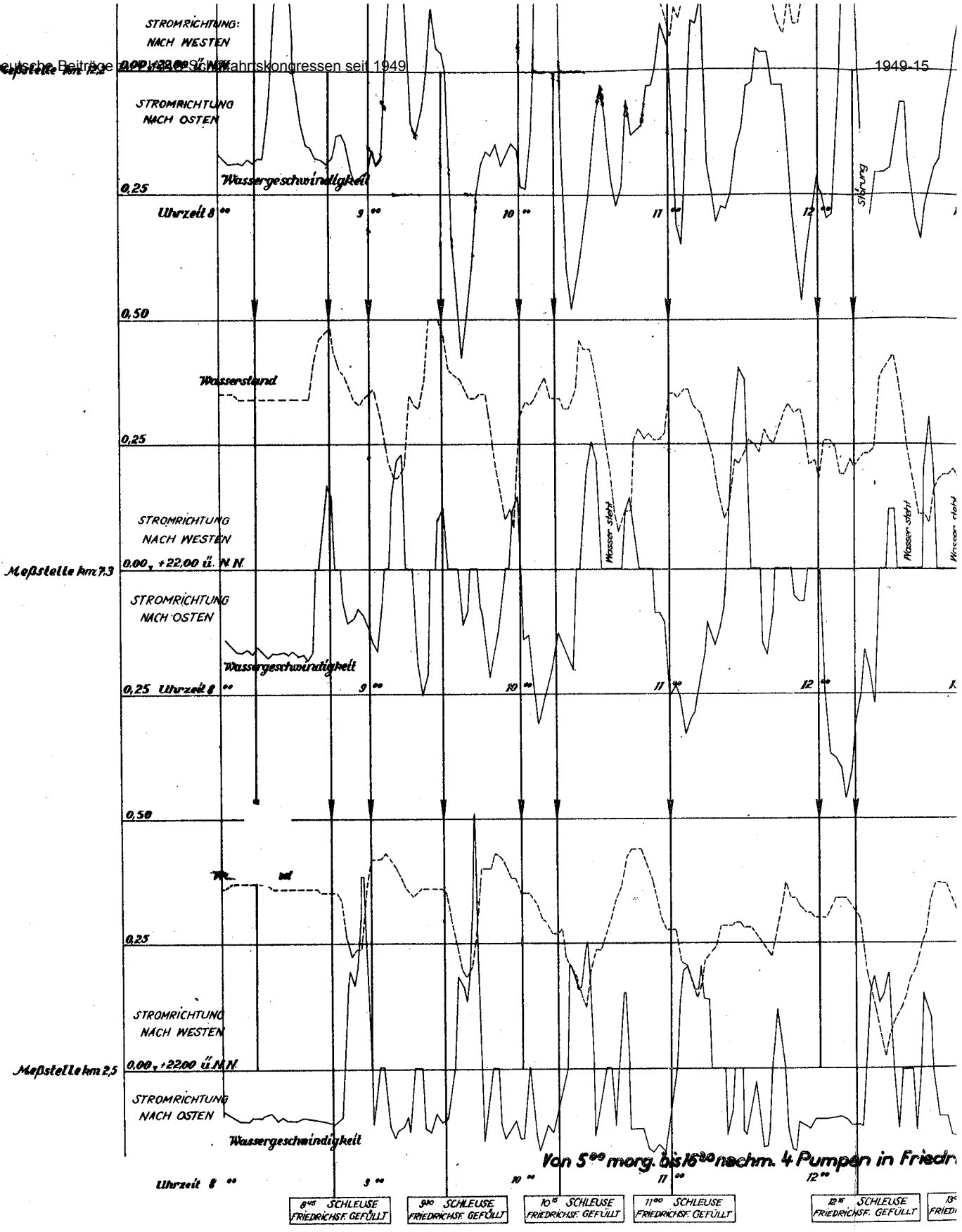


Abb. 5
Wasserstände und Strömungsgeschwindigk
Friedrichsfeld—Hünxe des Wesel-Datteln-K

Abb. 6

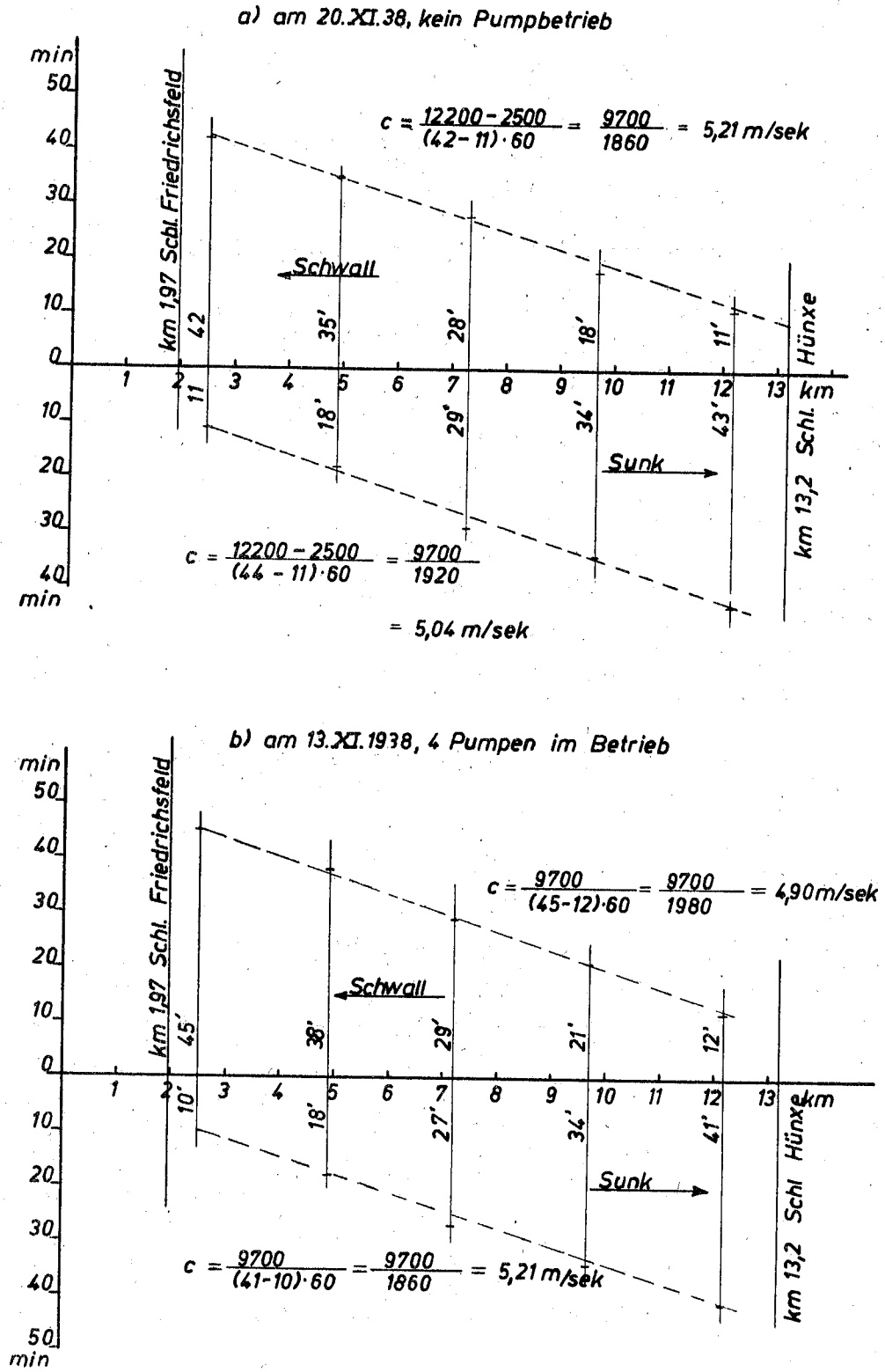


Abb. 6
Gemittelte Laufgeschwindigkeiten der Scheitel aller Schwall- und Sunkwellen

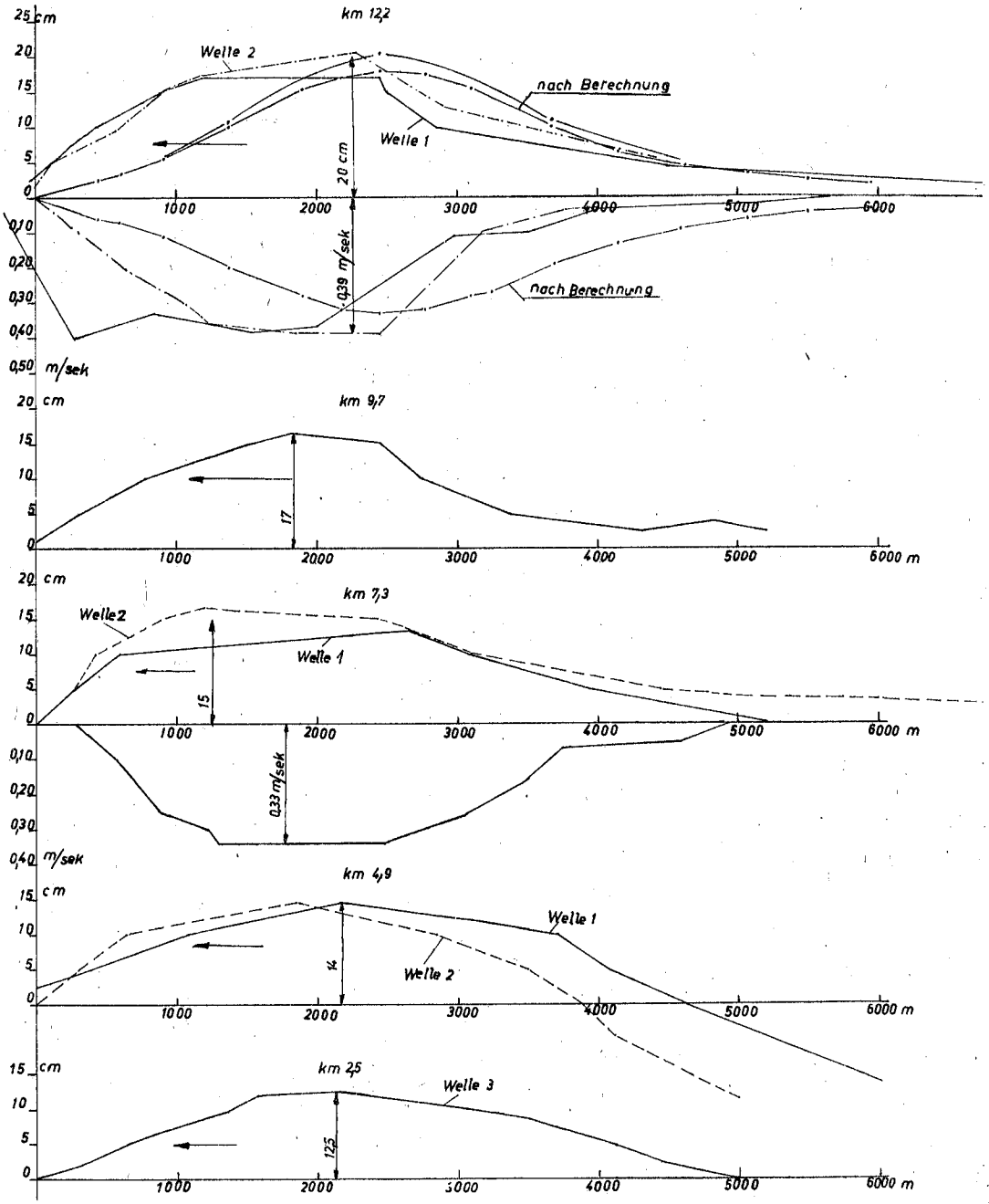


Abb. 7
Darstellung einzelner Schwallwellen

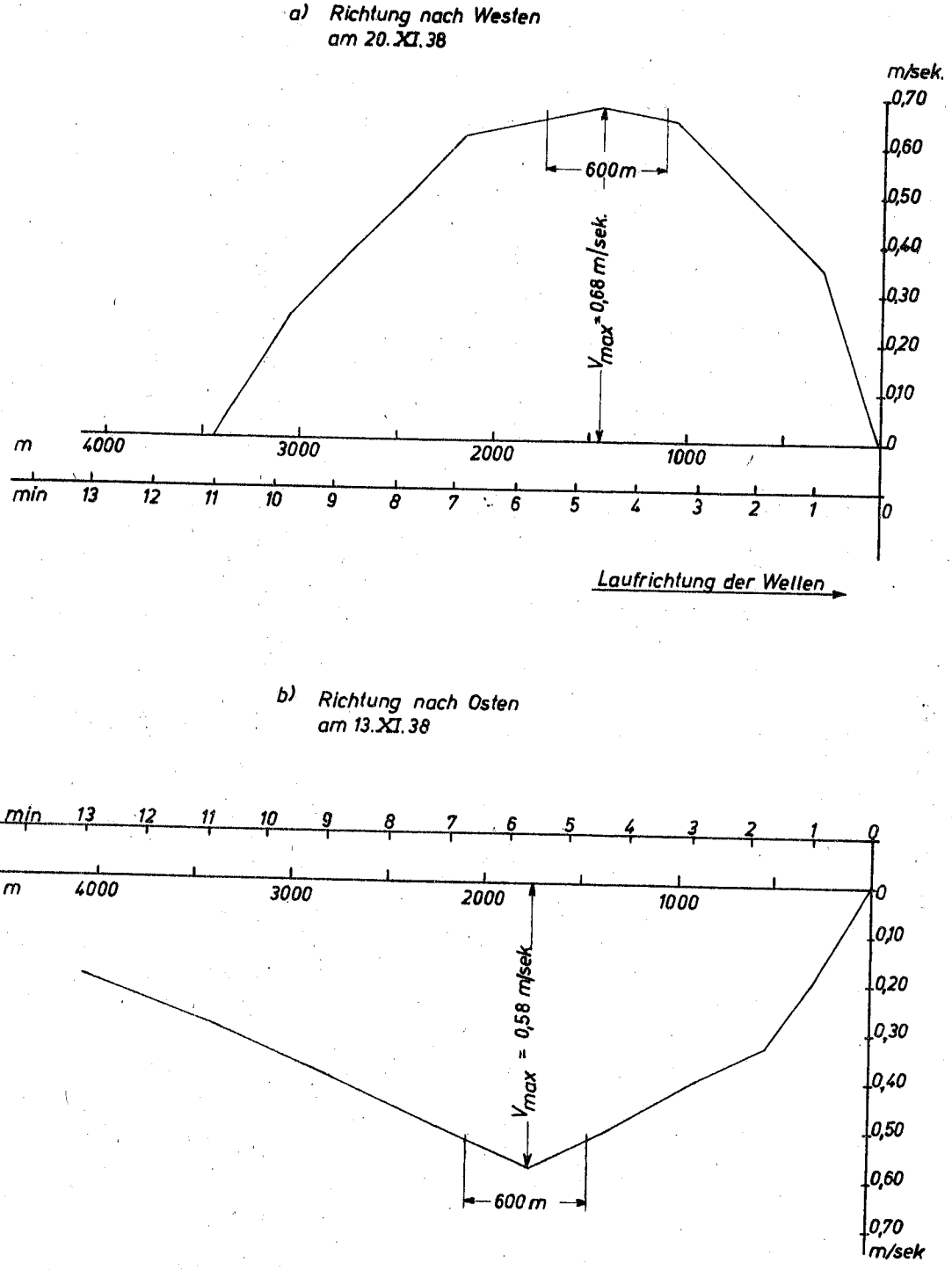


Abb. 8
Größte gemessene Strömungsgeschwindigkeiten

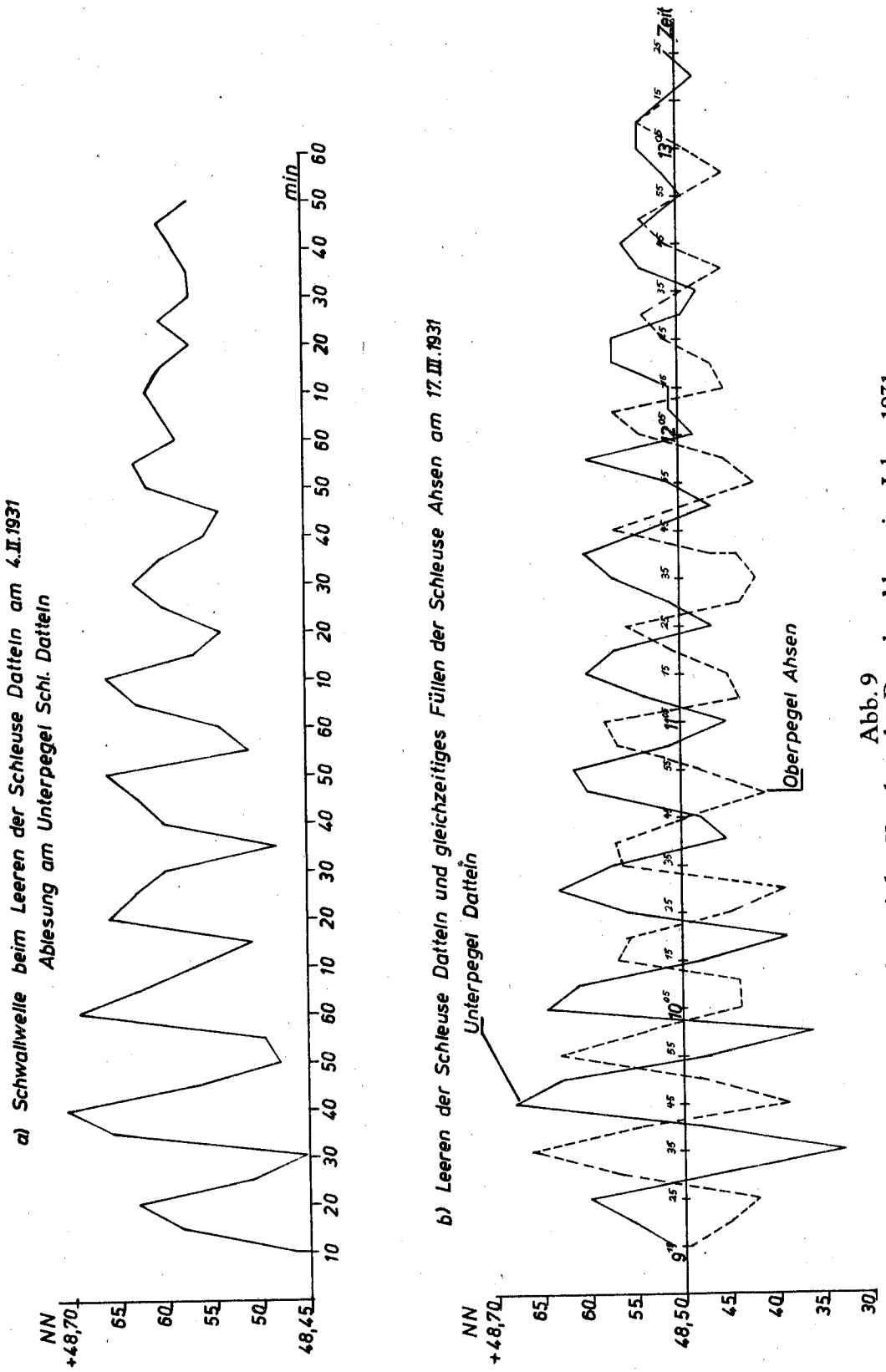


Abb. 9
Versuche auf der Kanalstrecke Datteln–Ahsen im Jahre 1931

Abb. 10a

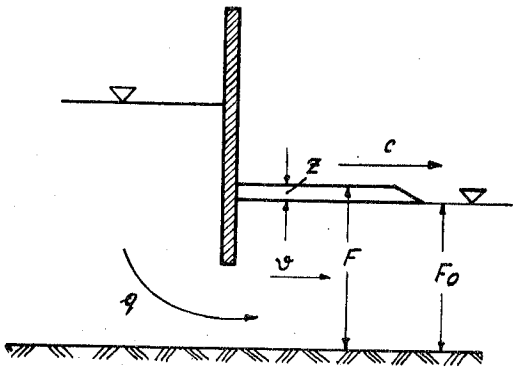
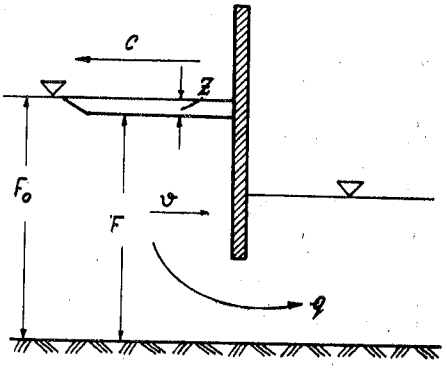


Abb. 10b



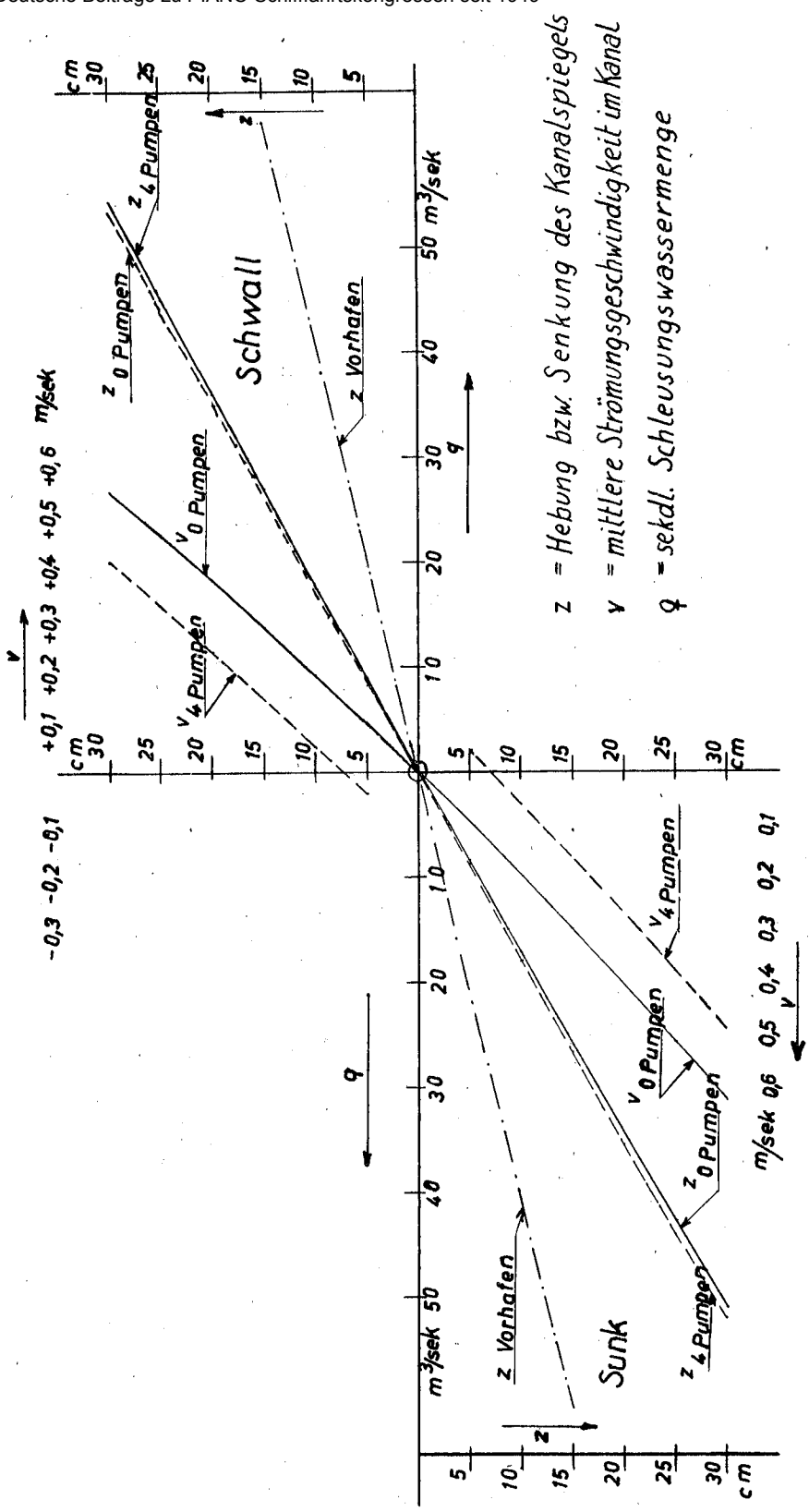


Abb. 11
Diagramm

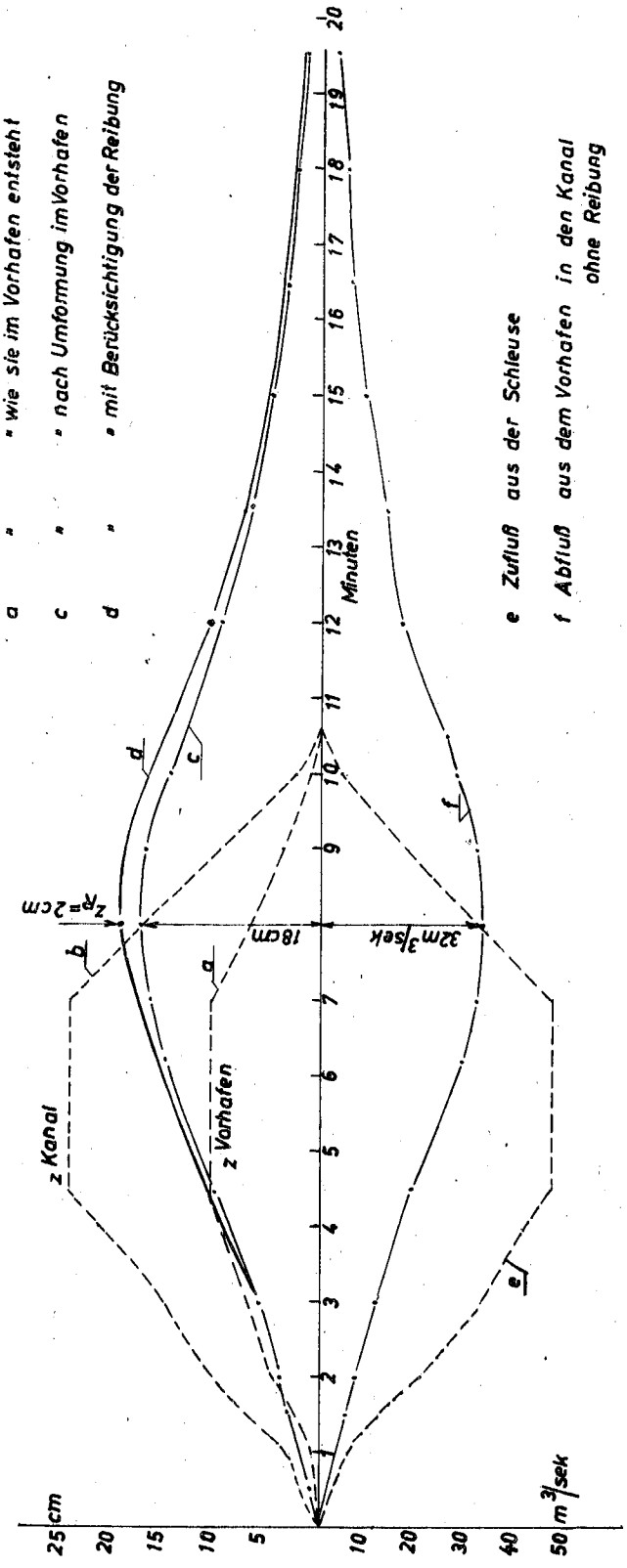


Abb. 12
Darstellung einer berechneten Schwallwelle

Abb. 13

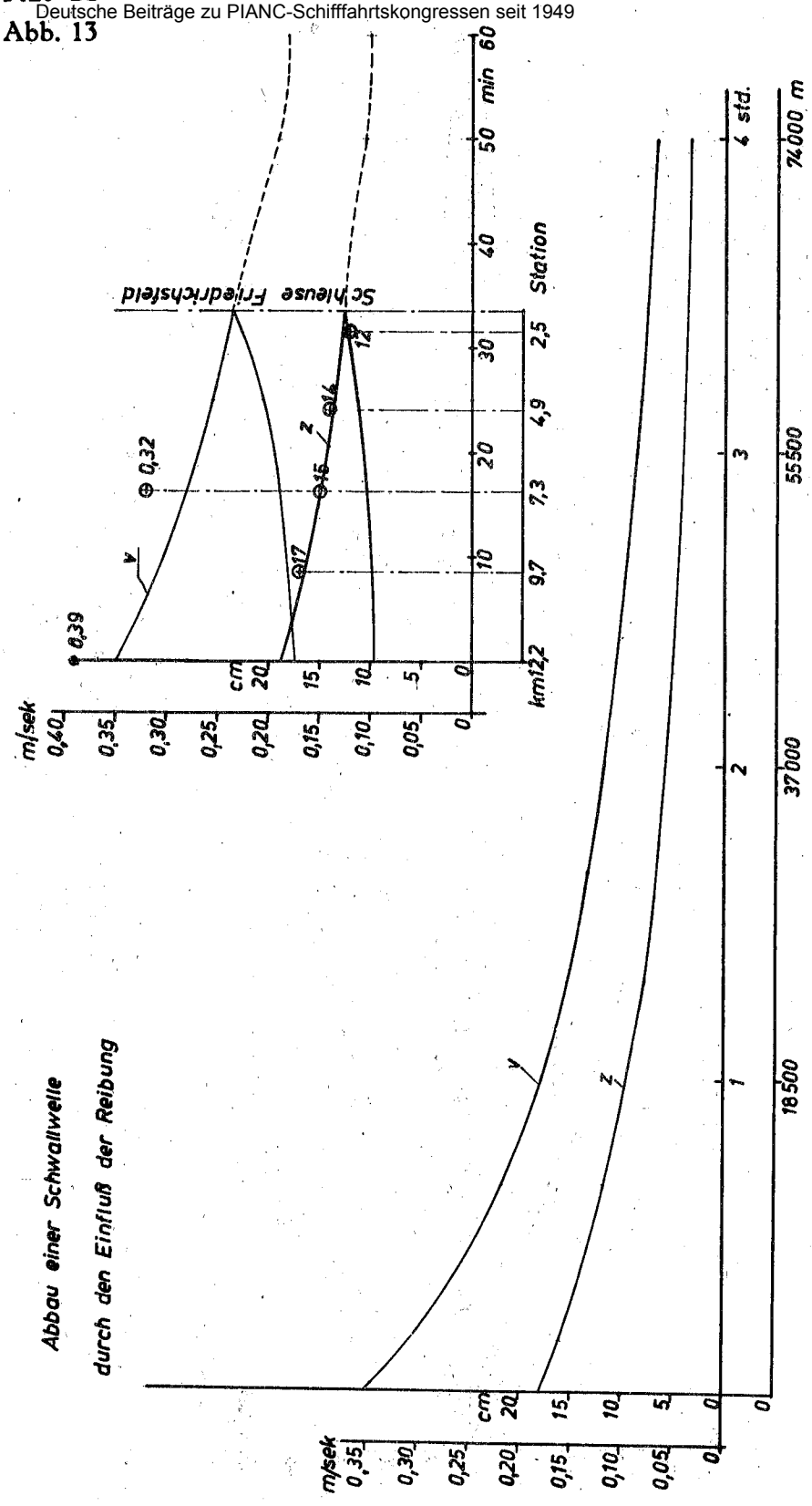


Abb. 13
Abbau einer Schwallwelle durch den Einfluß der Reibung

16

Der volkswirtschaftliche Wert der großen Binnengewässer. Möglichkeit und Ergebnis seiner zahlenmäßigen Erfassung unter Berücksichtigung des Verkehrs und der außerhalb des Verkehrs liegenden Funktionen der Gewässer.

Von Dr. habil. Karl Förster, München.

I. Teil.

Die Problematik der Aufgabe und ihre einschränkende Formulierung.

Die Ströme, Flüsse und Seen gehören zu den naturgegebenen Reichtümern eines Landes. Ihr Wasser kann für die Menschen, die in ihrer Nähe wohnen, zum Quell des Wohlstandes werden. Das gilt besonders für die Gebiete, die sonst wasserarm sind. Regelmäßig wiederkehrende Überschwemmungen sind oftmals die Voraussetzung für die Fruchtbarkeit großer Landstriche. Der Fischreichtum der Binnengewässer kann in erheblichem Umfang zur Ernährung der anwohnenden Bevölkerung beitragen. Schon bei geringer wirtschaftlicher Entwicklung können die Binnengewässer in beschränktem Umfang dem Personen- und Güterverkehr dienen. In wenig erschlossenen Gebieten sind die Ströme häufig die einzigen Verkehrswege von einiger Bedeutung. Schiffsmühlen nützen die Strömung aus. Bei hochentwickelter Wirtschaft werden die Ströme zu Verkehrswegen erster Ordnung und erzeugen in modernen Kraftwerken bedeutende Energiemengen. Aber sie richten durch Überschwemmungen und Versumpfungen auch oft erhebliche Schäden an.

Damit sind die wirtschaftlichen Wirkungen der Binnengewässer nicht erschöpft. Die günstigen Verkehrsbedingungen fördern die Siedlung und insbesondere Handel, Gewerbe und Industrie und können in Verbindung mit Bodenschätzen zur Entwicklung größter Industriegebiete führen. Man kann beobachten, daß die Gebiete, die vom Binnenschiffahrtsverkehr befruchtet werden, in ihrer gewerblichen Entwicklung im großen Durchschnitt wesentlich weiter fortgeschritten sind als diejenigen, die dieses Vorteils entbehren. So war im Jahre 1895 in Preußen die Zahl der Erwerbstätigen in den hauptsächlich in Betracht kommenden Gewerbeabteilungen B (Bergbau und Industrie) und C (Handel und Verkehr) auf 1 qkm in den an Wasserstraßen gelegenen Kreisen doppelt so groß wie in den übrigen (26 : 13 Erwerbstätige/qkm). Die Zunahme der Erwerbstätigen in der Zeit

von 1882 — 1895 betrug in solchen Kreisen reichlich das 3fache gegenüber den übrigen (8 : 2½ Erwerbstätige/qkm*).

Eine ähnliche Wirkung kann von der Erzeugung elektrischer Energie ausgehen. Sie ist die geeignetste und bequemste Kraftquelle für kleinere Betriebe der Industrie, des Handwerks und der Landwirtschaft wie auch die Voraussetzung für das Bestehen zahlreicher Betriebe der Großindustrie.

Die Förderung von Handel und Industrie bewirkt wieder eine Steigerung des Volkseinkommens, eine Wertsteigerung von Grundstücken und Anlagen und eine Erhöhung des Steueraufkommens. Berührt das Binnengewässer die Gebiete mehrerer Nationen, so kann von ihm auch eine Vertiefung der Beziehungen zwischen den Nationen ausgehen, die wiederum erhebliche wirtschaftliche Folgen hat. Was läßt sich nun überhaupt von diesen Werten erfassen und in welchen Grenzen läßt es sich erfassen?

Um den absoluten Wert eines Binnengewässers zu ermitteln, müßte man den von der Natur gegebenen ursprünglichen Wert zu dem Werte addieren, der auf Kapitalinvestierungen zum Zwecke der Schiffbarmachung oder Verbesserung der Schiffahrt, der Elektrizitätserzeugung, von Hochwasserschutz, Meliorationen und dergl. beruht. Daß ein ursprünglicher, durch die Natur gegebener, von späteren Kapitalinvestierungen unabhängiger Wert besteht, ist offensichtlich. Stellt man theoretisch zwei gleich große Gebiete mit im übrigen gleichen wirtschaftlichen Gegebenheiten einander gegenüber, von denen nur das eine von einem größeren Binnengewässer durchzogen ist, so wird man zu dem Ergebnis kommen, daß letzteres wertvoller ist. Kann man generelle Regeln aufstellen, um diesen ursprünglichen Wert zu erfassen?

Am besten kommt man dem Problem durch einen Vergleich nahe. Die großen Binnengewässer gewähren ihren Anwohnern ähnliche Vorteile wie das Meer. Auch das Meer trägt zur menschlichen Ernährung bei. Es liefert Fische, Salz und anderes. Es ist ebenfalls ein Fahrweg und zwar der billigste, den es gibt. Es kann sogar der Elektrizitätserzeugung dienen. Man befaßt sich mit dem Problem, durch Ausnützung der Gezeiten oder der Temperaturunterschiede des Meerwassers elektrischen Strom zu erzeugen. Beide, Binnengewässer und Meere, dienen in ähnlicher Weise dem Sport und der Erholung. Um den Vergleich weiter zu führen, wird man ebenfalls sagen müssen, daß von zwei gleichgroßen Gebieten sonst gleicher wirtschaftlicher Gegebenheiten dasjenige, welches ans Meer grenzt, im allgemeinen wertvoller ist, als dasjenige ohne Seeküste. Aber wie will man das Meer bewerten?

Würde man dies tun, so käme man ins Uferlose. Das gleiche gilt aber von dem ursprünglichen Werte der großen Binnengewässer. So hoch er auch ist und wie hoch er auch seitens der Politiker, die ebenso um die Freiheit der Meere wie auch um die Freiheit der Schiffahrt auf großen Strömen gekämpft haben und noch kämpfen, eingeschätzt werden mag, wir können keine Regeln für seine Ermittlung aufstellen.

Aber ein anderer Gedankengang führt uns weiter.

Beide, die natürlichen Binnengewässer und das Meer, umfassen — genau so wie der trockene Grund und Boden — volkswirtschaftliche Reserven, die der Erschließung harren. Zu den volkswirtschaftlichen

*) Vgl. die Denkschrift des Reichsverkehrsministeriums vom Februar 1927 „Zur Frage der Reichswasserstraßenpolitik" S. 13.

Reserven gehören ausbaufähige Binnenschiffahrtswege und unausgebaute, ihrer Natur nach unerschöpfliche Wasserkräfte genau so wie unerschlossene Kohlen-, Erz- oder Erdölvorkommen. Die volkswirtschaftlichen Reserven werden durch Zusammenfassung der drei Produktionsfaktoren Natur, Arbeit und Kapital erschlossen. Das Ergebnis ist die Neuschaffung von Kapital im volkswirtschaftlichen Sinn, von neuen „produzierten Produktionsmitteln". Die Frage nach der volkswirtschaftlichen Bewertbarkeit und die volkswirtschaftliche Bewertung dieses mit Hilfe der in den großen Binnengewässern ruhenden volkswirtschaftlichen Reserven erzeugten oder zu erzeugenden Kapitals im Sinne von „produzierten Produktionsmitteln" sei das Thema dieser Arbeit.

Es handelt sich also nicht mehr um die Bewertung der großen Binnengewässer als solche, da dies nicht zum Ziele führen kann, sondern — wesentlich eingeschränkt — um die volkswirtschaftliche Bewertung der Anlagen, die errichtet worden sind oder errichtet werden sollen, um die Schiffbarkeit großer Binnengewässer zu verbessern oder überhaupt herzustellen, ihre Wasserkräfte auszunutzen, Landwirtschaft und Gewerbe Wasser zuzuführen, aber auch Überschwemmungen zu verhindern und Versumpfungen zu beseitigen.

Wohl bei jedem größeren, derartigen Zielen dienenden Vorhaben hat man Berechnungen darüber aufgestellt, ob das in die Binnengewässer für einen oder mehrere Zwecke zu investierende Kapital hinreichenden Nutzen abwerfen wird. Diese Berechnungen können einfach, aber auch kompliziert sein. Verhältnismäßig einfach sind sie z. B. in dem Gutachten von Gelpke „Die Rentabilitätsfrage der Rhein-Schiffahrt, Basel 1906". Dort wird der Satz aufgestellt, daß die Aufnahme des Verkehrs Straßburg—Basel dann wirtschaftlich begründet ist, wenn die tonnenkilometrischen „Selbstkosten" niedriger ausfallen als im Eisenbahnverkehr. Die Frage wird an Hand der Gegenüberstellung der Frachtsätze der wichtigsten Güter für die hauptsächlichen Entfernungen jeweils für Bahn und Binnenschiffahrt bejaht und damit das Problem als gelöst betrachtet.

Klassisch sind die Untersuchungen von Sympher in dem Gutachten: „Die Rhein-Schiffahrt von Straßburg zum Bodensee vom Mai 1914". Sie haben in ihrem Aufbau die Grundlage für spätere Untersuchungen über andere Projekte gegeben und berücksichtigen auch die zu gewinnenden Wasserkräfte. Sie werden uns noch beschäftigen.

Bei der Bewertung muß man die Aufwendungen für die Anlage ihrem regelmäßigen Nutzen*) gegenüberstellen. Erbringt der Nutzen den normalen Kapitaldienst der Anlage, so ist sie rentabel. Unter Umständen werden die Aufwendungen im Verhältnis zum Nutzen weit zurücktreten, wie z. B. bei der Verbesserung der Schiffahrtsverhältnisse auf bereits schiffbaren Strömen. Da es sich oft um Anlagen von sehr langer Lebensdauer handelt, können die Tilgungsraten entsprechend niedrig angesetzt werden.

Ohne daß dies in den Berechnungen zum Ausdruck kommen darf, sei gesagt, daß Kapitaldienste auf lange Zeit insofern eine gewisse Problematik einschließen, als Minderungen des Geldwertes oft schuldtilgend wirken, während die Anlagen selbst ihren Wert behalten.

Die Ermittlung der Aufwendungen ist noch verhältnismäßig einfach. Sie lassen sich in Kostenanschlägen niederlegen und stehen bei der Voll-

*) zum Begriff des „Nutzens" vgl. II. Teil 3 c.

endung der Anlagen rechnerisch fest. Äußerst schwierig ist jedoch die Ermittlung des Nutzens, der zum großen, ja vielleicht zum größten Teil, nicht rechnerisch erfaßt werden kann.

Bei der Bearbeitung des Themas kommt es auf das Grundsätzliche, nicht auf Einzelheiten an. Das Wesentliche ist die Methodik. Diese soll an einem Beispiel aus der Praxis klargestellt werden. Die dargelegte Methodik kann man dann unter Berücksichtigung der abweichenden naturgegebenen, wirtschaftlichen und politischen Verhältnisse anderer Projekte auf diese anwenden.

Als Beispiel wurde die teils vollendete, teils im Bau befindliche oder projektierte Rhein-Main-Donau-Großschiffahrtsstraße gewählt.

II. Teil.

Untersuchung der Möglichkeit einer Lösung am Beispiel der Rhein-Main-Donau-Großschiffahrtsstraße.

1. Das Projekt der Rhein-Main-Donau-Großschiffahrtsstraße.

Aufgabe der im Jahre 1921 gegründeten Rhein-Main-Donau A.-G., deren Anteile sich ausschließlich in öffentlicher Hand befinden, ist es, den Rhein, den verkehrsreichsten Strom Europas, mit der Donau, dem im schiffbaren Teil längsten Strom Europas, über den Main zu einer Schiffahrtsstraße für 1500-t-Schiffe von etwa 3400 km Länge zu verbinden.

Bei Beginn der Arbeiten waren Rhein und Main von Rotterdam bis Aschaffenburg mit 620 km Länge und die Donau von Passau bis Sulina über 2180 km für die Großschiffahrt geeignet, so daß also der Main von Aschaffenburg bis Bamberg, die Kanalstrecke von Bamberg bis Beilngries, die Altmühl von Beilngries bis Kelheim und die Donau von Kelheim bis Passau noch auszubauen waren.

Die Schiffahrtsstraße wird durch die Rhein-Main-Donau A.-G. erstellt. Die fertigen Schiffahrts-Anlagen gehen sofort in den Besitz des Reiches (jetzt des Bundes) über. Dagegen bleiben die Wasserkraftwerke bis zum Konzessionsende im Besitz der Gesellschaft, die sie auch betreibt. Schiffahrtsanlagen und Kraftwerke werden nach einheitlichem Plan als zusammenhängende Bauwerke ausgeführt. Gewinne, die die Gesellschaft aus der Elektrizitätserzeugung erzielt, werden zu Gunsten der Schiffahrtsstraße verwendet. Bis zum Jahre 1942 war die Strecke Aschaffenburg—Würzburg (165 km) fertiggestellt und die Strecke Passau-Regensburg (153 km) soweit reguliert, daß sie für 1000-t-Schiffe befahrbar ist. Im Bau befindet sich die Strecke Würzburg—Bamberg (138 km). Neu zu bauen oder auszubauen sind noch die Strecken Bamberg—Kelheim (166 km) und Kelheim—Regensburg (32 km).

An Kraftwerken sind 16 mit etwa 90 000 kW Leistung und etwa 600 Millionen kWh Jahresarbeit gebaut. Das vordringliche Energieprogramm der Gesellschaft umfaßt bis zum Jahre 1951/52 5 Werke mit einer Leistung von 18 200 kW und einer Jahresarbeit von etwa 105 Millionen kWh. Auf längere Sicht sind einschließlich dieser 5 Werke 45 Wasserkraftwerke mit einer Jahresarbeit von etwa 2100 Millionen kWh geplant. Hierzu gehören auch die im Konzessionsgebiete der Gesellschaft liegenden Werke der Oberen Donau und des unteren Lech.

2. Wege zur Ermittlung des Wertes der Rhein-Main-Donau-Großschiffahrtsstraße in den Untersuchungen aus der Zeit von 1919 bis 1932.

Die wichtigste Vorarbeit zur Ermittlung des Wertes der RMD-Verbindung ist „die Untersuchung über die verkehrswirtschaftliche Bedeutung eines Main-Donau-Kanals, ausgearbeitet vom Tarifamt der Bayrischen Staatseisenbahnen von 1919". Sie beruht auf Gedankengängen, wie sie Sympher entwickelt hat, und geht von einem Vergleich der Frachten aus. Zeigt sich dabei, daß die Wasserstraße das Gut billiger fahren würde als die anderen Verkehrsmittel, so ergibt sich für diese Verkehrsbeziehung eine Überlegenheit der Wasserstraße.

Bei einem Frachtenvergleich, der systematisch auf einen größeren Bezirk ausgedehnt ist, kann man für einzelne Güter aus bestimmter Versandstation Gebiete abgrenzen, für die die geplante Wasserstraße billigere Frachten gewähren kann als andere Verkehrsmittel. Dieses Gebiet nennt man Einflußgebiet der Wasserstraße.

Mit Hilfe der Einflußgebiete lassen sich die Mengen erfassen, die für die Wasserstraße gewonnen werden können. Auf Grund der Mengen kann man durch Frachtvergleichung wiederum die Frachtersparnisse errechnen, die bei der Beförderung auf dem neuen Verkehrsweg eintreten.

Da der Wasserbeförderung gegenüber der Eisenbahn gewisse Nachteile anhaften wie gröbere Behandlung der Güter und längere Transportdauer, wurde bei der Abgrenzung des Einflußgebietes die Wasserfracht der um einige Prozent gekürzten Bahnfracht gegenübergestellt. Damals wurde davon ausgegangen, daß der Kanal frühestens im Jahre 1930 eröffnet werden könne. Demgemäß wurden Zahlen über die Verkehrsentwicklung vor dem 1. Weltkrieg mit dem Zusatz wiedergegeben, daß man ab 1930 mit einer Verkehrssteigerung von jährlich 5 v. H. gegenüber 1912/13 rechnen könne.

Da der Verkehr auf dem Kanal einer gewissen Anlaufzeit bedarf, kommt die Untersuchung zu folgenden Verkehrsmengen:

1930	1 640 000 t	1945	10 433 000 t
1935	6 649 000 t	1950	13 301 000 t
1940	8 165 000 t		

Nach Untersuchungen über die Richtung des Verkehrs mit günstigen Ergebnissen ermittelt die Denkschrift nunmehr den sogenannten volkswirtschaftlichen Nutzen der Großschiffahrtsstraße und erfaßt darunter

die Einnahmen aus Schiffahrtsabgaben zuzüglich der Frachtersparnisse.

Bei einem voraussichtlichen Gesamtverkehr von 10 Mill. t errechnet sie den kapitalisierten Wert des volkswirtschaftlichen Nutzens des Kanals bei 5 v. H. Zinsen zu 1020 Mill. Mark. „Demnach hätte im Jahre 1913 der Bauaufwand und der kapitalisierte Betriebs- und Unterhaltsaufwand 1020 Mill. Mark erreichen dürfen, ohne daß die Wirtschaftlichkeit der Großschiffahrtsstraße gefährdet gewesen wäre."

Der Ausfall, der den Eisenbahnen durch Abwanderung des Verkehrs auf die Wasserstraße entsteht, wurde bei diesen Versuchen bewußt nicht in

Ansatz gebracht. Der anfängliche Verkehrsverlust gleiche sich nahezu regelmäßig nicht nur aus, sondern verwandle sich sogar in einen erheblichen Mehrverkehr. Auch Sympher kam im Gutachten über die Rhein-Schiffahrt von Straßburg bis zum Bodensee von 1914 zu folgender Feststellung: „Das Endergebnis der Verkehrsentwicklung, in der eine neue, leistungsfähige, an richtiger Stelle befindliche Wasserstraße erbaut wurde, ist stets das gewesen, daß die letztere in langsamer aber stetiger Entwicklung Verkehrsziffern erreichte, die man früher kaum für möglich hielt, und daß die Eisenbahnen zwar gewisse, aber infolge des sehr allmählichen Anwachsens der Schiffahrt noch mäßige Ausfälle hatten und schließlich ebenfalls eine starke Verkehrssteigerung aufwiesen."

Die Denkschrift des Tarifamts der Bayerischen Staatseisenbahnen schließt mit einer Untersuchung über den Wettbewerb anderer projektierter Wasserstraßen und kommt zu dem Ergebnis, daß lediglich die Rhein-Neckar-Donau-Verbindung für die Rhein-Main-Donau-Verbindung einen gewissen, aber nicht entfernt ausschlaggebenden Verlust an Transportgut bringen würde.

Die weiteren Untersuchungen über die Wirtschaftlichkeit der Rhein-Main-Donau-Großschiffahrtsstraße (s. Lit.-Verz.), bauen größtenteils auf derjenigen von 1919 auf. So sagt der Reichsverkehrsminister in der Denkschrift vom 18. 1. 1928: „Im Jahre 1925 haben diejenigen Verkehrsvorgänge, die für die Frage des Ausbaues der Main-Wasserstraße von besonderer Bedeutung sind (nordwestliche Richtung — Kohlenverkehr) seit dem Jahre 1913 eine Entwicklung genommen, die keinen Anlaß bietet, diesem Ausbau, soweit der Verkehrsumfang an sich in Betracht kommt, eine ungünstigere Beurteilung zuteil werden zu lassen, als es seinerzeit in den Untersuchungen des Bayerischen Tarifamtes geschehen ist. Eher könnte man sogar die Möglichkeit einer günstigeren Beurteilung annehmen."

„Auch auf der Donau" zeigt „der Verkehr eine deutliche Zunahme (von 1913—1925 im Verhältnis von 100 : 122)".

In ganz präziser Form werden die Sympherschen Gedankengänge für die RMD-Großschiffahrtsstraße in der Denkschrift der Rhein-Main-Donau A.-G. von 1932 mit folgendem Ergebnis angewandt:

„Rechnet man unter die Jahreserträgnisse nicht allein die effektiven Einnahmen aus Schiffahrtsabgaben und Stromabsatz sondern auch die Gesamtheit der Frachtersparnisse bei der Güterbeförderung auf der Wasserstraße gegenüber dem Eisenbahntransport, so übersteigen in den ersten 10 Jahren die jährlichen Kosten die jährlichen Erträgnisse, während im 11. Jahr der Ausgleich erfolgt und von da ab die Jahreserträgnisse bedeutend rascher als die Jahreskosten steigen und mit dem Vollbetrieb des Hafens Nürnberg sogar den 3fachen Betrag erreichen werden. Also selbst bei einem weit geringeren Verkehrsvolumen als dem angenommenen ist noch eine hinreichende Rentabilität in volkswirtschaftlichem Sinne zu erwarten" (vgl. Bild 1).

Aber auch wenn sich diese Vorarbeiten im wesentlichen auf die Sympherschen Gedankengänge und die Untersuchungen von 1919 stützen, so bringen sie doch Erörterungen, die in das rein statistische Symphersche Schema nicht hereinpassen. So stellt schon die Denkschrift des Main-Donau-Stromverbandes von 1920 fest: Der wirkliche volkswirtschaftliche Nutzen sei naturgemäß wesentlich größer als derjenige, der sich aus Schiffahrtsabgaben und Frachtersparnissen ergäbe, denn es bedürfe kaum der Erwähnung, daß die neue Wasserstraße auf die unter ihrem Einfluß stehenden

Gebiete wirtschaftlich außerordentlich befruchtend einwirken müsse und dadurch die Steuerkraft ganzer Länder gehoben würde. Der erhebliche Nutzen, der sich dadurch für die Allgemeinheit ergebe, sei rechnungsmäßig nicht feststellbar.

Die Denkschrift des Reichsverkehrsministers vom 18. 1. 1928 betont im Gegensatz zur Untersuchung von 1919 die überwiegend verkehrs- und wirtschaftspolitische Einstellung des Unternehmens unter Zurücktreten des privatwirtschaftlichen Rentabilitätsgedankens. Das Anlage-Kapital würde innerhalb der Konzessionsdauer durch die laufenden Einnahmen (Schiffahrtsabgaben) getilgt werden können und die Zinsverluste würden durch die Frachtvorteile ausgeglichen. Sie stellt als volkswirtschaftliche Ziele des Kanalbaues auf:

a) Das Land Bayern, das hauptsächlich infolge seiner ungünstigen Verkehrslage zu den großen Seehäfen an der allgemeinen wirtschaftlichen Entwicklung nicht durchweg in gleichem Maße hatte teilnehmen können wie die übrigen Teile Deutschlands, sollte verkehrswirtschaftliche Standortsbedingungen erhalten, wie sie die meisten übrigen deutschen Wirtschaftsgebiete bereits besitzen.

b) Das Wirtschaftsgebiet der Donau und der Balkanländer sollte in möglichst günstige Verkehrsbeziehungen zur deutschen Wirtschaft gebracht werden.

3. Die Kritik an den bisherigen Lösungsversuchen.

Die erste Frage bei der Prüfung der wirtschaftlichen Zweckmäßigkeit der RMD-Großschiffahrtsstraße ist diejenige nach der privatwirtschaftlichen Rentabilität. Die zweite Frage geht dahin, ob man mit dem Sympherschen statistischen Verfahren auch einigermaßen exakt den volkswirtschaftlichen Nutzen der Wasserstraße berechnen kann.

Dabei sei für die folgenden Untersuchungen unterstellt, daß zur Zeit der vorzunehmenden Berechnungen die politischen und wirtschaftlichen Verhältnisse derart stabilisiert sind, daß man für längere Zeit mit einiger Sicherheit bestimmte Frachtrelationen zwischen Binnenschiffahrt und Eisenbahn und bestimmte jährliche Gütermengen für die in Frage kommenden Transporte zugrunde legen kann.

Unter diesen Voraussetzungen läßt sich die erste Frage lösen, indem man die Einnahmen aus Schiffahrtsabgaben und aus Elektrizitätserzeugung den laufenden Ausgaben für Verzinsung, Amortisation, Betrieb und Verwaltung gegenüberstellt.

Bei dem volkswirtschaftlichen Nutzen dagegen genügt es nicht, die privatwirtschaftliche Rentabilität zuzüglich der Frachtersparnisse zu ermitteln und zu einer einheitlichen Rechnung zusammenzustellen, wie dies in Bild 1 geschehen ist. Dieses Verfahren birgt mehrere Probleme in sich.

a) Zunächst kommt es logischerweise nicht auf die Ersparnis an Frachten, d. h. an Entgelten für die Beförderungsleistung an. Volkswirtschaftlich gesehen interessiert hier nicht, wieviel die Schiffahrtsunternehmungen oder Eisenbahnen an den Transporten verdienen. Das wesentliche sind vielmehr die Kosten oder anders gesagt der volkswirtschaftliche Aufwand, der auf die Transporte entfällt*). Aber bei der Ermittlung der Kosten wiederum müßte man zur Feststellung des Einflußgebietes der Wasserstraße und der Transportmengen — genau wie in der Untersuchung von 1919 — die Frachten

*) Vgl. Most: „Die Tarifpolitik der Deutschen Reichsbahn" Seite 44.

zugrunde legen, weil Einflußgebiet und Transportmengen von den Frachten, nicht von den Kosten abhängen.

Die Ermittlung der Kosten stößt aber sowohl im Eisenbahn- wie im Binnenschiffahrtsverkehr auf große Schwierigkeiten. Bei dem hohen Anteil der festen Kosten an den Beförderungleistungen hängen die Kosten der einzelnen Beförderungleistung weitgehend von der Ausnützung der Verkehrskapazität ab, schwanken also laufend. Wichtig ist für die Kostenermittlung der Binnenschiffahrt, daß von den auf die Wasserstraßen verwendeten öffentlichen Geldern bei Strömen nach neueren Ermittlungen etwa 1/3, bei kanalisierten Flüssen 2/3 und bei Kanälen bis zu 95 v. H. auf die Schiffahrt entfallen. Mit generellen Feststellungen, wie sie z. B. in der Denkschrift des Reichsverkehrsministeriums vom Februar 1927 enthalten sind, wonach die Selbstkosten je tkm im Wasserstraßenverkehr im Durchschnitt kaum 1/3 derjenigen des Eisenbahnverkehrs erreichen*), ist für unsere Untersuchungen noch nicht allzuviel gesagt. Auch generelle Kostenkurven, wie sie u. a. früher von Tecklenburg und Vogt für die Eisenbahn und von Pirath für die Binnenschiffahrt aufgestellt sind**) führen nicht weiter. Auf natürlichen nicht kanalisierten Strömen sind die Kosten niedriger als auf kanalisierten und auf diesen wiederum niedriger als auf Kanälen. Auch darf man bei solchen Errechnungen nicht nur die Kosten der Kanalstrecke in Rechnung stellen, sondern müßte für die entsprechenden Transporte auch die Kosten auf den vorlaufenden und anschließenden Stromstrecken mitberücksichtigen, ebenso wie auch die Kosten für die Zubringer und Ablauftransporte der Eisenbahn.

Es ist daher kaum möglich, über die Differenz der Kostensumme aller auf der RMD-Großschiffahrtsstraße zu erwartenden Transporte und der Kostensumme der entsprechenden Bahntransporte Untersuchungen mit einigermaßen exakten Ergebnissen anzustellen.

Aber man kann damit rechnen, daß sich die Frachten im Laufe der Zeit nach den Kosten ausrichten. Auf Grund dieser Erwägung könnte man bei der Zugrundelegung von Durchschnittsfrachten für längere Zeit und bei einigermaßen stabilen wirtschaftlichen Verhältnissen zu immerhin brauchbaren Ergebnissen kommen.

Über dieses grundsätzliche Bedenken könnte man also hinwegkommen.

b) Einen anderen Einwand gegen die Symphersche Berechnungsmethode kann man folgendermaßen formulieren: Die Reichsbahn müsse ihre vollen Kosten für die Fahrbahn decken. Wenn die privatwirtschaftliche Rentabilität der Kanalstrecke nicht gegeben sei, so dürfe man die Frachtvorteile nicht der Binnenwasserstraße zugute rechnen, weil man sonst das eine Unternehmen subventionieren und dem anderen seinen Verkehr nehmen würde.***) Hiergegen läßt sich Verschiedenes vorbringen:

aa) Zunächst dürfte es nicht richtig sein, Eisenbahn und Wasserstraße als sich gegenseitig schädigende Konkurrenz zu betrachten. Auf Grund richtiger wirtschaftspolitischer Intuition gebaute Wasserstraßen schädigen die Eisenbahn nicht, sondern führen ihr indirekt erhöhten Verkehr zu.

bb) Man kann sich sehr wohl auf den Standpunkt stellen, daß auch die Eisenbahn nicht oder nicht voll für die Kosten der Fahrbahn aufkommt. So

*) Vgl. Seite 7 der Denkschrift.

**) Vgl. Zusammenstellung bei Förster: „Energietransportkosten".

***) Vgl. hierzu Pirath. Die Beförderung von Massengütern auf Eisenbahn und Wasserstraßen.

führt Most in seiner „Tarifpolitik der Deutschen Reichsbahn" auf Seite 39 ff. aus, daß die Aufwendungen des Reiches für die Fahrbahn der Binnenwasserstraßen im Durchschnitt 0,04 Pf/tkm betragen haben, ein Betrag, der bei der Kostenermittlung und Frachtenbemessung überhaupt nicht ins Gewicht falle, während die Reichsbahn erhebliche Steuerbefreiungen genieße. Auch hätten im Grunde genommen die Mittel, aus denen die Reichsbahn ihre Fahrbahn finanziere, den Charakter von Steuern. „Diese Mittel kommen von den, wie von keiner Seite bestritten wird, weit über den Selbstkosten liegenden Frachten für höherwertige Güter, die nach Lage der Dinge, namentlich, nachdem der Kraftverkehr weitgehend an die Reichsbahntarifsätze gebunden ist, so gut wie keine Ausweichmöglichkeit auf billigere Transportmöglichkeiten haben". Diese Ansicht wird in der Literatur weitgehend vertreten.

cc) Schließlich kann es sich bei der Kanalstrecke um ein im Binnenschiffahrtssystem fehlendes Verbindungsstück handeln, das das System im ganzen so wesentlich im Werte erhöht, daß die Übernahme eines Teils des Kapitaldienstes genau so wenig ins Gewicht fällt, wie bei so manchen Eisenbahnstrecken, die sich — für sich allein betrachtet — nicht rentieren, aber im Gesamtinteresse trotzdem betrieben werden müssen. Dieser Gedanke wird später noch erörtert werden (s. 4 b).

dd) Endlich können die Kosten- bzw. Frachtersparnisse auch so hoch sein, daß ihnen gegenüber der Kapitaldienst nicht ins Gewicht fällt.

Sonach dürfte auch dieser Einwand gegen die Berechnungsmethode des volkswirtschaftlichen Nutzens mit Hilfe der Frachtersparnisse nicht ausschlaggebend sein.

c) Der Haupteinwand gegen die Errechnung des volkswirtschaftlichen Nutzens der Großschiffahrtsstraße mit Hilfe der Frachtvorteile liegt auf einem anderen Gebiete. In der Untersuchung von 1919 ist gesagt:

> „Aus den errechneten Einnahmen und Schiffahrtsabgaben sowie den erzielbaren Frachtersparnissen läßt sich unmittelbar der volkswirtschaftliche Nutzen der einzelnen Kanallinien bestimmen, soweit er rechnungsmäßig festgestellt werden kann."

Bei der Prüfung der Frage, welche von verschiedenen untersuchten Linienführungen bei einem Kanalbau gewählt werden soll, mögen diese Berechnungen mit Recht zugrunde gelegt werden. Aber zur Prüfung des volkswirtschaftlichen Nutzens des Großschiffahrtsprojektes als Ganzes ist die Methode ungenügend, ja sogar irreführend. Sie erweckt die Vorstellung, als ob mit diesen Rechnungen der volkswirtschaftliche Nutzen im wesentlichen erschöpft wäre. Aber das ist durchaus nicht der Fall. Diese fehlerhafte Vorstellung könnte dann umsomehr ins Gewicht fallen, wenn sich die Frachtrelationen aus irgendwelchen Gründen vorübergehend verschieben.

Der volkswirtschaftliche Nutzen erstreckt sich außer auf die Schiffahrtsabgaben und die Erträgnisse aus den Elektrizitätswerken auf jede noch so verschiedenartige Intensivierung des Wirtschaftslebens. Hier steht — wenigstens bei der RMD-Großschiffahrtsstraße — an erster Stelle die Intensivierung des Verkehrs, ein Begriff, der weit über die nach Sympher errechneten Verkehrsleistungen hinausgeht. Hierzu kommen neben den Erträgnissen der Elektrizitätswerke auch die mittelbaren Vorteile der erhöhten Elektrizitätserzeugung

für das Wirtschaftsleben, weiter die Belebung und Neuansiedlung von Industrie, Handel und Gewerbe, die Dezentralisation der Industrie längs der Wasserstraße, die Verbesserung des Absatzes der Landwirtschaft, die Behebung etwaiger Arbeitslosigkeit, die mit der Wirtschaftsbelebung verbundene Stärkung des Volkseinkommens, des Volksvermögens und damit auch der Steuerkraft und die völkerverbindende Wirkung zwischenstaatlicher Binnenschiffahrtswege (vgl. Einleitung von Teil I).

Neben einigen Ponderabilien, die sich auf die Schiffahrtsabgaben, die Erträge der Elektrizitätswerke und die in ihrer Problematik bereits behandelten Frachtersparnisse beschränken, stehen die viel wichtigeren Imponderabilien. Sie enthalten große Werte, die erörtert und geprüft werden müssen, aber rechnungsmäßig nicht feststellbar sind. Von der Einschätzung dieser Imponderabilien sollte die Entscheidung über die Durchführung des Unternehmens im wesentlichen abhängen.

Beim Bau einer Fabrik fragt man nach der Rentabilität. Sie soll unmittelbar geldlichen Gewinn bringen. Bei einer Großschiffahrtsstraße sind dagegen im Großen die gleichen Erwägungen anzustellen, wie im Kleinen beim Bau einer Landstraße.

Auf beiden Verkehrswegen steht — im Gegensatz zur Eisenbahn — die Benutzung jedem Verkehrsunternehmer offen, während die Eisenbahn nicht nur den Schienenweg, sondern auch das rollende Material und alles, was dazu gehört, mitumfaßt. Deshalb kann man auch nicht die Rentabilität einer Bahnlinie mit derjenigen eines Kanals unmittelbar in Vergleich setzen. Man müste sonst bei Ermittlung der Rentabilität des Kanals noch die Gewinne dazu rechnen, die die einzelnen Benutzer des Wasserweges durch die Benutzung des Kanals erzielen. Bei der Landstraße fragt man auch nicht nach der Rentabilität, sondern nach dem Nutzen, den sie dem Gebiete verschafft, das sie aufschließt, und den man niemals errechnen kann.

Eisenbahnbauten auf der einen Seite, Kanal- und Straßenbauten auf der anderen sind unter dem Rentabilitätsgesichtspunkt inkommensurabel, aber es hat immer Finanzierungsmöglichkeiten seitens des öffentlichen und auch seitens des privaten Kapitals für größere gemeinnützige Unternehmungen gegeben, sobald die Zweckmäßigkeit des betreffenden Unternehmens einmal genügend begründet und von den Kreisen, die von dem Unternehmen Nutzen haben werden, erkannt worden war.

Auf eine Tatsache sei noch hingewiesen: Allgemein kann man sagen, daß sowohl die deutschen Binnenhafengemeinden als auch die behördlichen Hafenbetriebe in den großen Seestädten Nordwesteuropas Zuschüsse erfordern. Ein Seehafen, ein Massenguthafen ist kein Erwerbsunternehmen, das sich unter normalen Verhältnissen selbst tragen und nach rein kaufmännischen Gesichtspunkten rentabel sein kann. Trotzdem wird man wohl vernünftigerweise nicht sagen können, daß die darin investierten Aufwendungen generell unwirtschaftlich wären.

4. Die Ergebnisse.

a) Die Ponderabilien.

Die letzten rechnerischen Ergebnisse für die Wirtschaftlichkeit der RMD-Großschiffahrtsstraße von 1932 sind in Bild 1 dargestellt. Später sind keine Untersuchungen über die Frachtersparnisse durchgeführt worden, weil dazu jahrelange Arbeiten gehören, und weil man die wirtschaftliche Zweckmäßigkeit des Baues der Großschiffahrtsstraße aus diesen Ergebnissen für

endgültig erwiesen hielt. Kam man schon beim Ausbau der Großschiffahrtsstraße bis Nürnberg zu derart günstigen Ergebnissen, so waren alle Zweifel an der wirtschaftlichen Zweckmäßigkeit der Großschiffahrtsstraße im ganzen ausgeschlossen.

Selbstverständlich könnte man auch jetzt wieder derartige Berechnungen aufstellen. Jedoch ist auf dem Gebiete der Frachten vieles im Fluß. Man kann aber annehmen, daß sich mit der Zeit wieder ähnliche Frachtrelationen einstellen werden, wie sie früher bestanden haben und den viel geringeren Kosten des Binnenschiffahrtstransportes gegenüber dem Eisenbahntransport entsprechen, und zwar für beide Verkehrsmittel vielleicht auf einer Kostenbasis von 180 v. H. gegenüber dem Stande kurz vor dem zweiten Weltkrieg. Eine ins Gewicht fallende Änderung der technischen Voraussetzungen für die Kostengestaltung bei der Binnenschiffahrt und bei der Eisenbahn ist in den letzten Jahrzehnten nicht eingetreten. Es dürfte sich auch eine ähnliche Verteilung der Verkehrsleistungen auf beide Verkehrsmittel ergeben wie vor dem Kriege.

b) Die Imponderabilien.

Imponderabilien auf dem Gebiete des Verkehrs.

Der Hauptvorteil der RMD-Großschiffahrtsstraße liegt darin, daß sie überhaupt erst ein deutsches und europäisches geschlossenes Binnenschiffahrtssystem schafft.

Rhein, Weser und Elbe haben die Querverbindung durch den Mittellandkanal zum Märkischen Kanalsystem und zur Oder erhalten. Die entsprechende Verbindung ist in Süddeutschland nicht vorhanden. Während Südwestdeutschland in Kehl, Mannheim und Heilbronn den Zugang zum Rhein mit Neckar hat, fehlt dieser für Süd- und Ostbayern. Auf der anderen Seite ist fast ganz Deutschland mit Westeuropa von der Binnenschiffahrtsverbindung nach Südosteuropa abgeschnitten. Main sowohl wie Donau gleichen deshalb Stichkanälen mit allen ihren verkehrsbeschränkenden Nachteilen, die in dem Augenblick aufhören, in dem der Kanal vollendet ist und der großzügigen Entwicklung des Durchgangsverkehrs kein Hindernis mehr im Wege steht.

Die RMD-Großschiffahrtsstraße hat in der Überquerung des Fränkischen Jura für das europäische Binnenschiffahrtssystem die gleiche Bedeutung wie sämtliche Alpenüberquerungen der Eisenbahn zusammengenommen für das europäische Eisenbahnnetz.

Holland, Belgien, Frankreich, die Schweiz, Deutschland, Österreich, die Tschechoslowakei, Ungarn, Jugoslawien, Bulgarien, Rumänien und Rußland sollen unmittelbar miteinander verbunden werden, abgesehen von den Ausstrahlungen der Großschiffahrtsstraße von der Nordsee nach Groß-Britannien, den nordischen Staaten und dem Atlantik und von der Donaumündung nach der Levante.

Dabei ist die zur Zeit bestehende Abschnürung Osteuropas für die volkswirtschaftliche Beurteilung der Rhein-Main-Donau-Großschiffahrtsstraße nicht so bedeutsam, wie man dies gemeinhin annehmen sollte.

Einmal wird entweder die Deutschland und Europa teilende Grenze fallen und Europa geeinigt werden oder es muß eine Entspannung eintreten, die sich auch auf die Handels- und Verkehrspolitik auswirkt. Einmal wird der Zeitpunkt kommen, an dem das latente, immer deutlicher in Er-

scheinung tretende Bedürfnis nach friedlichem Güteraustausch zwischen West- und Osteuropa wieder voll in Erscheinung tritt und sein Recht fordert. Durch die Verbindung von Main und Donau wird die im westlichen Teil Europas liegende Donaustrecke außerordentlich an Bedeutung gewinnen und eine hohe Anziehungskraft auf den Verkehr im östlichen Teil der Donau ausüben. Bei normalen Ernten besteht in der UdSSR kein großes Interesse an Tabak, Agrarprodukten, Holz und selbst mineralischen Produkten. Das Interesse an der Ausfuhr von Agrarprodukten nach dem Westen wird dasjenige an der Einfuhr von Industrieprodukten aus dem Westen steigern.

Zum anderen liegt die Bedeutung des Gesamtunternehmens nur zum geringeren Teil in einer Verbindung vom Schwarzen Meer nach Rotterdam, Amsterdam und Antwerpen. Dieser Verkehr ist seit jeher besser und billiger von der Seeschiffahrt bedient worden, als es auf der inneren Linie geschehen könnte.

Das vornehmste Ziel der RMD-Verbindung war von vornherein die Erschließung des Raumes zwischen den Nordseehäfen und Budapest für den Binnenschiffahrtsverkehr*). Das Ruhrrevier, Frankfurt/Main, Nürnberg, Regensburg, Linz und Wien sind die Knotenpunkte der künftigen Verkehrsentwicklung. Sie liegen außer Wien sämtlich westlich der Europa teilenden Linie. Das Hauptziel ist nach wie vor, Bayern und Österreich den billigen Massergutverkehr mit den Nordseehäfen und dem Ruhrgebiet in gleicher Weise zu ermöglichen, wie ihn Norddeutschland, Württemberg und Baden besitzen. Das ist alles trotz der Grenzen zwischen Ost und West möglich.

Diese Tatsache soll aber nicht darüber hinwegtäuschen, daß eine Höchstleistung im Güteraustausch auf der RMD-Großschiffahrtsstraße erst mit dem wirtschaftlichen Zusammenschluß ganz Europas und dem Wegfall aller administrativen Hindernisse, zu denen auch die Zollschranken gehören, erreicht werden kann.

Die Wirkungen der Großschiffahrtsstraße auf den europäischen Güteraustausch lassen sich dahin zusammenfassen:

1. Das Hinterland der Nordseehäfen, insbesondere von Amsterdam, Rotterdam, Antwerpen und Emden wird wesentlich erweitert, ebenso der Warenaustausch Frankreichs und der Schweiz.
2. Die Donaustaaten und insbesondere Österreich werden an das westeuropäische Industriegebiet angeschlossen.

Im Verkehr mit den Industriestaaten des Donauraums (Österreich und Tschechoslowakei) spielen in beiden Richtungen Rohstoffe, Halbfabrikate und Fertigwaren ungefähr die gleiche Rolle. Österreich bezieht Kohle aus dem Westen und kann Holz, Eisenerze und Erdöl liefern (vgl. Bild 2).

Die günstige Ausgleichsmöglichkeit zwischen Westeuropa und den agrarischen Donauländern (Ungarn, Jugoslawien, Bulgarien, Rumänien) ist schon oben hervorgehoben. Sie beziehen Fertigwaren und an Massengütern Salz, Kohle und Düngemittel und liefern pflanzliche und tierische Lebensmittel sowie Rohstoffe (Erdöl und Bauxit) und Halbfertigwaren. Da die Landwirtschaft in den agrarischen Donauländern weitgehend extensiv betrieben wird und die Hektarerträge bei Getreide nur die Hälfte derjenigen

*) Vgl. Koenigs „Wasserstraßenbaupolitik."

von Mitteleuropa betragen, läßt sich bei günstigen Absatz- und Preisverhältnissen die landwirtschaftliche Produktion dieser Länder noch sehr wesentlich erhöhen. Die Voraussetzung dafür ist der Bau der Großschiffahrtsstraße.

Großes Interesse an der Rhein-Main-Donau-Verbindung haben die Benelux-Staaten, Frankreich, die Schweiz und das Ruhrgebiet auf der einen Seite, und auf der anderen Seite Bayern und Österreich und zwar nicht nur im Sinne des Warenaustausches, sondern auch im Sinne der besseren Verwendung der Binnenschiffahrtsflotten, für die mit der RMD-Verbindung ein viel größerer Aktionsradius erwächst.

Bei der Betrachtung der Folgen für den deutschen Güteraustausch muß man sich bewußt sein, daß, wenn vielleicht auch unter vorübergehenden Schwankungen, mit einer starken Erhöhung der Anforderungen an die Verkehrsleistungen aller Verkehrsträger gerechnet werden muß. Die Gründe hierfür sind zu sehen:

a) in der Bevölkerungszunahme im Vereinigten Wirtschaftsgebiet um rund 20 v. H.,

b) in der Notwendigkeit des Baues von Arbeitsstätten und Wohnungen für die vergrößerte Bevölkerung,

c) in der Notwendigkeit des Aufbaues der zerstörten Städte und schließlich

d) in dem Strukturwandel der Industrie in Richtung auf eine Forcierung der Veredelungswirtschaft, die verstärkten Import und Export mit sich bringen wird.

Für Ruhrkohle und Eisen sind von der RMD-A.-G. gemeinsam mit der Reichsbahn Untersuchungen auf der Grundlage von 1929 durchgeführt worden, die die aus Bild 3—6*) ersichtlichen Frachtverbilligungen ergeben.

Für die Frachtverbilligungen gilt das unter 4a Gesagte. Man muß annehmen, daß sich mit der Zeit wieder ähnliche Frachtrelationen einstellen werden wie damals.

Für die Kohlentransporte ist beachtlich, daß vor dem zweiten Weltkrieg bei der Steinkohleneinfuhr nach Bayern ungefähr 60 v. H. auf die Ruhrkohle und 40 v. H. auf Schlesien, Sachsen, das Saargebiet und Böhmen entfielen. Bei der Braunkohle wurden in Nordbayern etwa 90 v. H. aus Böhmen, Mitteldeutschland und Sachsen und in Südbayern etwa 30 v. H. aus diesen Gebieten bezogen. Zur Zeit fallen aber diese Reviere großenteils aus, so daß das Ruhrgebiet diesen Anteil aufnehmen muß. Damit steigt aber die Bedeutung der RMD-Großschiffahrtsstraße, weil der Kanal der Transportweg für die Ruhrkohle ist, während die anderen Reviere auf die Eisenbahn angewiesen waren.

Für die Eisenwirtschaft ist es bedeutsam, daß der Kanal die großen Eisenerzlager des bayerischen Jura zwischen Bamberg und Regensburg anschneidet. Was der Mittellandkanal für die Salzgittererze, könnte der Rhein-Main-Donau-Kanal für die Doggererze des bayerischen Jura sein.

Groß wird die Bedeutung des Kanals für die Holzwirtschaft und für den Transport von Natursteinen und anderen Baustoffen sein. An weiteren Gütern stehen in erster Reihe Getreide und Mehl, die mit dem Wegfall der deutschen Schutzzollpolitik in erhöhtem Umfang über die Nordseehäfen nach Deutschland strömen werden,

*) Die Abkürzung der östlichen Mainschleife im Bild 3—6 fällt weg.

und Düngemittel. Nicht unerwähnt sei, daß sich an der Großschiffahrtsstraße auch Stapelplätze von internationaler Bedeutung bilden werden, von denen wiederum Banken, Versicherungs- und Handelsunternehmungen ihren Nutzen ziehen.

2. Große Verkehrsunternehmungen haben ein starkes Monopolbedürfnis. Das folgt aus ihrer Kostengestaltung und Tarifbildung. Es äußert sich in Kartellbildungen und Verstaatlichungen. Auf dem Gebiete der Eisenbahn ist die Entwicklung zum Monopolbetrieb besonders weit fortgeschritten. Eisenbahnunternehmungen über große Gebiete stellen eine gewaltige wirtschaftliche Macht dar, die darin eine weitgehende Rechtfertigung erfährt, daß das Verkehrsunternehmen auf Gedeih und Verderb mit dem von ihm überzogenen Wirtschaftsgebiet verbunden ist. Je mehr die Wirtschaft blüht, wird auch die Eisenbahn ihren Vorteil haben und in diesem Sinne haben alle großen, breite Flächen überspannende Eisenbahnunternehmungen eine auf den allgemeinen Nutzen abzielende Einstellung*).

Aber es hat sich im Verkehrsleben bewährt, daß neben der verstaatlichten Eisenbahn auch eine leistungsfähige Binnenschiffahrt zur Verfügung steht, die sich in privaten Händen befindet und auch wiederum in sich in freier Konkurrenz unter Umständen auch mit Betrieben des Auslandes steht und mit Ausnahme von kurzen Zeiten höchster Verkehrsbeanspruchung mit Frachten arbeiten muß, die an der Grenze der Rentabilität liegen. Voraussetzung für diesen Zustand ist selbstverständlich, daß Eisenbahn und Binnenschiffahrt miteinander konkurrenzfähig sind, so daß einen Teil der Transporte dieses Verkehrsmittel, einen anderen Teil jenes unter günstigeren Bedingungen abwickeln kann und ein weiterer Teil von beiden unter gleich günstigen Bedingungen transportfähig ist. Dies führt in einem anderen Sinne als dem üblichen staatsrechtlichen zu einer „Teilung der Gewalten". Die Binnenschiffahrt bringt, soweit es sich um Kanalneubauten und um die Schiffbarmachung bisher nicht oder nur beschränkt schiffbarer Gewässer handelt, eine zusätzliche Konkurrenz für die Bahn mit sich. Diese Konkurrenz hat sich aber nach den bisherigen Erfahrungen infolge der mit ihr verbundenen allgemeinen Belebung im großen gesehen für beide Verkehrsmittel wie auch für die gesamte Wirtschaft als vorteilhaft erwiesen.

Ein Beispiel aus früherer Zeit ist die Kanalisierung des Mains bis Aschaffenburg, ein neueres gibt die Entwicklung der Donauschiffahrt vor dem zweiten Weltkrieg.

Imponderabilien auf dem Gebiete der Energiewirtschaft.

Man kann die Baukosten für die Elektrizitätswerke und ihre Leistungsfähigkeit errechnen und sich ein Bild über den voraussichtlichen Stromabsatz und die voraussichtlichen Strompreise machen. Auch für die Energieerzeugung im Rahmen der Großschiffahrtsstraße Rhein-Main-Donau liegen entsprechende Berechnungen vor. Aber auch hier gibt es Imponderabilien, die schwer ins Gewicht fallen. Abgesehen von der allgemeinen Befruchtung, die genügende Versorgung mit Elektrizität für Industrie und Gewerbe mit sich bringt und auf die in den Ausführungen über die Industrieansiedlung (s. Abschnitt Bevölkerungspolitik) noch zurückzukommen sein wird, hat sich neuerdings eine instruktive Tatsache ergeben.

*) Vgl. Spieß. Zum Preisbildungsproblem.

Infolge Rückgang in der Belieferung mit elektrischem Strom hat Bayern im Frühjahr 1948 einen Produktionsausfall von 160 Mill. RM, im Winterhalbjahr 1948/49 einen solchen von 250 Mill. DM gehabt. Der Stromverbrauch der bayerischen Industrie ist von 281,4 Mill. kWh im September 1948 auf 235,5 Mill. im Oktober und 208 Mill. im November gefallen.

Nach Angaben des Bayerischen Statistischen Landesamtes betrug der Produktionsausfall in der bayerischen Industrie im

Oktober 1948	20,7	Millionen	DM oder	4,1 v. H.
November 1948	41,8	„	„ „	7,1 v. H.
Dezember 1948	63,2	„	„ „	11,3 v. H.

Es entspricht sonach die Differenz im Stromverbrauch zwischen September und Oktober 281,4 — 233,5 = 47,9 Mill. kWh einer Produktionseinbuße von 20,7 Mill. DM, zwischen September und November 73,4 Mill. kWh einer Produktionseinbuße von 41,4 Mill. DM. Im Monat Oktober ist also auf eine fehlende kWh ein Produktionsausfall von 0,43 DM und im November von 0,56 DM entfallen.

Infolge des besonderen Zufalls, daß der Rückgang der industriellen Erzeugung lediglich auf die Stromkrise zurückgeführt werden kann, läßt sich in diesem einen Fall mit großer Wahrscheinlichkeit berechnen, daß jede fehlende kWh einen Produktionsausfall im Werte von ungefähr 50 Pfennig verursacht hat. Der Produktionsausfall wäre noch höher, wenn nicht im Oktober und November 1948 der Minderverbrauch ausschließlich von der chemischen und metallurgischen Industrie getragen worden wäre, bei der ein verhältnismäßig hoher Anteil am Werte der Produktion auf die Stromkosten entfällt. Denn je geringer der Anteil der Stromkosten am Gesamtprodukt, desto höher ist naturgemäß der Produktionsausfall, der auf die kWh entfällt.

Das theoretisch wie praktisch Wesentliche an diesem Gedankengang liegt in einer weiteren Schlußfolgerung. Ist der gesamte Produktionsapparat auf eine höhere Stromabnahme eingestellt oder auch nur dafür empfänglich, als die bestehende Kapazität liefern kann, so entstehen, völlig unabhängig von privatwirtschaftlichen Rentabilitätserwägungen, Produktionsausfälle; oder positiv ausgedrückt, jede Kapazitätssteigerung der Elektrizitätserzeugung verursacht unter den oben dargelegten Voraussetzungen lediglich durch ihr Vorhandensein Produktionssteigerungen. Diese Produktionssteigerungen fallen unter den Begriff des „volkswirtschaftlichen Nutzens" und sind für gewöhnlich nicht zu errechnen, also Imponderabilien. Wie sehr aber die Wirtschaft auf eine Erhöhung des Stromverbrauchs eingestellt ist, ergibt der Trend des Verbrauchs an elektrischer Energie in nachstehender Tabelle*):

Entwicklung der Energieerzeugung der Erde.

	15 wichtige Länder Mrd. kWh	alle Länder Mrd. kWh
1929	218,67	310
1933	211,18	300
1935	255,85	365
1937	314,20	450

*) Taschenbuch für Energiewirtschaft 1939 S. 96 und 97.

Das Zurückbleiben des größten Teils Europas hinter den in der Elektrizitätsversorgungsdichte führenden Staaten der Welt zeigen folgende Zahlen*):

kWh je Einwohner 1937

Norwegen	2 760	USA	1 235
Kanada	2 464	Deutschland (Altreich)	747
(nur Elektrizitätsversorgungsunternehmen)		Großbritannien	509
		Frankreich	436
Schweiz	1 643	Italien	350
Schweden	1 269	Rußland	235

Bei der gegenwärtigen Situation in der Energiewirtschaft darf man mit Fug und Recht behaupten, daß jede auf vernünftiger wirtschaftlicher Basis aufgebaute Kapazitätserhöhung in der Elektrizitätserzeugung erheblichen volkswirtschaftlichen Nutzen mit sich bringt. Es handelt sich um einen Engpaß, der noch lange Zeit bestehen und sich infolge erhöhter Nachfrage nach elektrischem Strom noch mehr verstärken wird, aber doch überwunden werden muß.

In der Praxis hat man übrigens bei der Planung von Elektrizitätswerken größeren Umfangs schon seit jeher diese Imponderabilien berücksichtigt.

Der Ausbau der Wasserkraftwerke bedeutet eine erhebliche Ersparnis an Kohle und Grubenholz. An Kohle und Holz wird aber in Bayern, in Deutschland und in Europa noch längere Zeit großer Mangel herrschen. Kohle wird außerdem bei ihrer Verwendung zur Energieversorgung im Gegensatz zu ihrer Auswertung auf chemischem Wege nur sehr schlecht ausgenutzt. Die Schonung der Holzbestände ist bei dem derzeitigen Raubbau an den deutschen Wäldern eine besonders dringliche volkswirtschaftliche Aufgabe.

Imponderabilien auf dem Gebiete der Landeskultur.

Die Aufgaben der sogenannten Sicherungswasserwirtschaft**) (Gestaltung und Sicherung des Flußbettes, Aufhebung der zerstörenden Wirkung der natürlichen Reliefbildung im Talbereich) sind größtenteils gelöst. Sie haben bei der RMD-Großschiffahrtsstraße keine überragende Bedeutung, während sie im Falle der Kanalisierung der sogenannten Oberen Donau mit im Vordergrund stehen würden. Auf der anderen Seite spielen jedoch Fragen der Landeskultur eine erhebliche aber mehr negative Rolle. Bei Planung und Durchführung ist auf die Besiedlung und landwirtschaftliche Nutzung der Flußniederung, auf die Wirkung von Hochwasser und Eis, auf die Grundwasserverhältnisse und auf Eisenbahnen und Straßen Rücksicht zu nehmen. Die Schiffahrt erstrebt lange Haltungen, die Elektrizitätserzeugung große Stauhöhen, während die Landeskultur geringe Stauhöhen wünscht.

Be- und Entwässerungsanlagen kleineren Umfangs können mit der RMD-Großschiffahrtsstraße verbunden werden.

Die Kanalisierung des Mains und der Donau hat klimatisch günstige Folgen. Dadurch, daß die Ströme durch Staustufen abgeteilt in eine Kette von Seen verwandelt werden, „bleiben" große in den Seen angestaute Wassermengen „im Lande". Sie geben an ihrer großen Oberfläche an die

*) Taschenbuch für Energiewirtschaft 1939 S. 96 und 97.

**) Vgl. Leopold: Entwicklungsrichtlinien usw. (s. Lit. Verz.)

Luft Verdunstungswasser ab und fördern die Bildung von Niederschlägen. Auch wirken sie — wie alle Talsperren — ausgleichend auf die Lufttemperatur.

Interessante Beobachtungen hat man auf dem Gebiet der Fischerei gemacht: In der weitaus größten der Staustufen, der Kachletstaustufe an der Donau, hatten Fischereiinteressenten und Sachverständige eine erhebliche Schädigung der Fischerei angenommen.

Heute, 20 Jahre nach Inbetriebnahme der Kachletstufe, geht das einzige Urteil dahin, daß der Fischertrag durch den Stau nicht kleiner sondern größer geworden ist.

Es bestehen aber auch noch indirekte, günstige Einflüsse des Baues der Großschiffahrtsstraße auf Landwirtschaft und Gärtnerei. Der Wegfall der Getreidezölle wird die Umstellung von der Getreidewirtschaft auf die landwirtschaftliche Veredelungswirtschaft mehr denn je notwendig machen. Voraussetzung für die Umstellung sind jedoch günstige Absatzverhältnisse. Diese werden durch die Großschiffahrtsstraße geschaffen und zwar sowohl durch Verbesserung der Verkehrsverhältnisse als auch besonders durch den Konsum der Bevölkerung, die von der am Kanal angesiedelten und durch ihn geförderten Industrie lebt.

Imponderabilien auf dem Gebiete der Bevölkerungspolitik.

Der Bevölkerungszuwachs der heutigen amerikanischen Zone seit 1939 beträgt etwa 1/5 der Gesamtbevölkerung.

Der zum großen Teil aus industriell hoch entwickelten Gebieten (Sudetenland, Oberschlesien, Sachsen) stammende Einwanderungszuwachs ist vorwiegend auf dem Lande und in der Landwirtschaft untergekommen und nicht in der Industrie, für die er geeignet ist. Es müssen also Arbeitsmöglichkeiten in der Industrie geschaffen werden durch Förderung bestehender und Gründung neuer Industrien, wobei es darauf ankommt, daß man die jetzt aufs Land verteilte Zuwanderung nicht in den großen Städten zusammenballt. Hierzu bietet der Kanalbau die beste Gelegenheit durch seine billigen Frachten und außerdem durch die Bereitstellung billigen Stromes, der sozusagen als Nebenprodukt an den Staustufen anfällt. Die Ansiedlung von Industrie- und Kleingewerbebetrieben längs der Wasserstraße hat den großen Vorteil der Dezentralisation und vermeidet alle die Nachteile soziologischer Art, die große Industriezusammenballungen mit sich bringen.

Weiter oben ist schon ausgeführt, daß der Kanalbau ein bedeutendes Eisenerzbergbaurevier erschließt, dessen Erzeugung für Europa eine erhebliche Bedeutung gewinnen kann, und daß er die Holzindustrie und die Industrie der Steine und Erden in bedeutendem Maße zu fördern geeignet ist. Hinzu kommt aber noch folgendes:

Im Nürnberger Industriegebiet ist wie in den sächsischen und sudetendeutschen Industriegebieten die Fertigwarenerzeugung in allen Zweigen führend. Der fränkische Arbeiter ist wie die Zuwanderer aus jenen Gebieten anpassungsfähig und eignet sich besonders für Präzisionsarbeit. Die Nürnberger Industrie ist vorwiegend exportorientiert. Ihre Förderung kommt somit zugleich den Bestrebungen des E.R.P. entgegen, den deutschen Export zu heben. Auch der Nürnberger Handel ist bedeutsam (rund 55 000

Beschäftigte gegen 78 000 in Handwerk und Industrie 1936). Die Nürnberger Wirtschaft hatte schon vor der Aufrüstung eine steigende Tendenz. Während im Reichsdurchschnitt der Eisenbahngüterverkehr mengenmäßig von 1913 bis 1936 um 3,5 v. H. abgenommen hat, stieg er in Nürnberg um 2,7 v. H. auf 2,6 Mill. t.

Die Stromlieferung der Großkraftwerk-Franken-A.-G. in Nürnberg an Industrieabnehmer stieg von 1930 bis 1936 um 80 v. H. auf 87 Mill. kWh.

Die Nürnberger Industrie verfügt also über große Entwicklungsmöglichkeiten, die durch den Kanalbau mit seinen billigen Kohlen- und Eisenfrachten in hohem Grade unterstützt werden.

Mit dem Aufschwung des Nürnberger Wirtschaftslebens wird auch der Wiederaufbau der Stadt mit seinen hohen Transportanforderungen durch den Kanal Nutzen ziehen.

Imponderabilien auf dem Gebiete der Arbeitsbeschaffung.

Die wirtschaftlichen Verhältnisse Westeuropas und insbesondere Westdeutschlands sind noch weit von einer Konsolidierung entfernt. Im Laufe des Gesundungsprozesses wird man mit Perioden größerer Arbeitslosigkeit rechnen müssen. In solchen Lagen helfen große gemeinnützige Unternehmungen, die in das komplizierte privatwirtschaftliche Gefüge der Produktion nicht unmittelbar eingreifen. Die Zeiten, große Werke gemeinnütziger friedlicher Natur vorwärts zu treiben, sind nicht diejenigen der Hochkonjunktur sondern der Baisse. Bei einer Bauzeit von 10 Jahren würde für die Strecke Würzburg—Regensburg ein laufender direkter Arbeiterbedarf von 26 000 Mann und für das Baunebengewerbe von 30 000 Mann bestehen.

Hierbei liegen die Imponderabilien erstens bei den Kosten.

In Untersuchungen beim Bau der Kachlestufe ist nachgewiesen worden, daß der öffentlichen Hand an Steuern, Umlagen und sozialen Abgaben ein Betrag zugeflossen ist, der ungefähr 1/4 der aufgewendeten Löhnen und Gehälter ausmacht, wozu noch Beträge gleicher Höhe kommen, die an Arbeitslosenunterstützung gespart wurden*).

Zweitens wird, statt daß Arbeitskraft unnütz vergeht, ein bleibendes, volkswirtschaftlichen Nutzen bringendes Werk geschaffen.

Schließlich kann man auch von der politischen und moralischen Seite die Möglichkeit, das Gespenst der Arbeitslosigkeit zu vertreiben, nicht hoch genug einschätzen.

Imponderabilien, die in der Steigerung des Volkseinkommens und Volksvermögens liegen.

Sie sind in jeder Maßnahme enthalten, die das Wirtschaftsleben fördert. Mit dem Volkseinkommen und Volksvermögen steigt auch das Steueraufkommen.

Die Grundstücke im Bereiche der Großschiffahrtsstraße gewinnen an Wert. Aus bisher landwirtschaftlich genutztem Boden wird „Industriegelände", weil die Großschiffahrtsstraße günstige Standortbedingungen für viele Industrien schafft.

*) Vgl. Hinterleitner: „Bayer. Industrie- u. Handelszeitung" 1932 S. 15.

Außer den Grundstücken werden auch alle der Binnenschiffahrt dienenden Anlagen, insbesondere die Umschlagseinrichtungen und alle von der Großschiffahrtsstraße profitierenden Unternehmungen des Verkehrs, der Industrie, des Handwerks und Handels eine Wertsteigerung in höherem oder geringerem Maße erfahren. Vor allem wird der Schiffsraum, besonders auf der Donau, besser ausgenutzt werden.

Das völkerverbindende politische Imponderabile der Großschiffahrtsstraße.

Wie Europa endgültig aussehen wird, läßt sich jetzt noch nicht sagen. Soviel steht aber fest, daß die nationalstaatlichen Gebilde durch die technisch-wirtschaftliche Entwicklung überholt sind. Ortega-y-Gasset sagte schon 1926 im „Aufstand der Massen", daß die technisch-wirtschaftlichen Möglichkeiten Europas zu groß geworden seien, um in den engen Rahmen des Nationalstaates eingeschlossen werden zu können. Nunmehr geht der Gedanke des wirtschaftlichen und politischen Zusammenschlusses der europäischen Staaten der Erfüllung entgegen.

Die Gegenläufigkeit von Rhein und Donau hat sich im Laufe der europäischen Geschichte als spaltende Kraft erwiesen. Deutschland orientierte sich wirtschaftlich weitgehend nach dem Norden und Westen und die Donaumonarchie nach dem Süden und Osten. Mit Hilfe der RMD-Großschiffahrtsstraße wird zu Gunsten der wirtschaftlichen Einheit Europas diese alte verkehrsgeographische Trennung beseitigt. Sie wird in ihr Gegenteil verwandelt. Aus einem naturgegebenen Passivum wird ein Aktivum.

Neben den engen kommerziellen und persönlichen Verbindungen, die die durchgehende Großschiffahrtsstraße mit sich bringen wird, liegt die größte Bedeutung darin beschlossen: Nichts bringt Menschen und auch Völker näher zusammen als die Arbeit an einem gemeinsamen Werk und kein Werk dürfte geeigneter sein, die Völker Europas näher zusammenzuführen als das der RMD-Großschiffahrtsstraße. Mit Tatkraft ins Werk gesetzt, ist sie die Schrittmacherin für ein einheitliches Europa, das im Werden begriffen ist. Trägt aber die Großschiffahrtsstraße zur Einigung Europas bei, so ist sie zugleich Trägerin unabsehbarer wirtschaftlicher Werte, die durch diese Einigung geschaffen werden.

5. Zusammenfassung.

Aus diesen Ausführungen ergeben sich für die Frage, ob sich am Beispiel der Rhein-Main-Donau-Großschiffahrtsstraße der volkswirtschaftliche Wert der für ihre Errichtung notwendigen Anlagen ermitteln läßt, eine Reihe von Schlußfolgerungen und zwar:

1. Unter der Voraussetzung einer einigermaßen gleichmäßigen Entwicklung lassen sich

a) mit einiger Sicherheit die Aufwendungen errechnen, die notwendig sind, um die Großschiffahrtsstraße zu erstellen; es ist weiterhin möglich, die Aufwendungen im großen und ganzen auf die verschiedenen Verwendungszwecke: Schiffahrt, Elektrizitätserzeugung, Landeskultur (Hochwasserschutz, Meliorationen und dgl.) zu verteilen

b) die voraussichtlichen jährlichen Einnahmen aus der Elektrizitätserzeugung ermitteln

c) mit geringerer Genauigkeit unter Zuhilfenahme von Frachtvergleichen, der Feststellung der Einflußgebiete und des Trends der allgemeinen Ver-

kehrsentwicklung die zukünftigen Verkehrsleistungen der Schiffahrtsstraße und damit die Höhe der Schiffahrtsabgaben und der gesamten Frachtersparnis, vielleicht sogar der Kostenersparnis festlegen.

2. Die wichtigsten volkswirtschaftlichen Wirkungen des Baues der Großschiffahrtsstraße jedoch lassen sich zwar untersuchen und intuitiv erfassen, aber zahlenmäßig nicht ermitteln.

III. Teil:

Die Übertragbarkeit der im zweiten Teil auf die Rhein-Main-Donau-Großschiffahrtsstraße angewendeten Gedankengänge auf andere Binnengewässer.

Die Untersuchung über die Rhein-Main-Donau-Großschiffahrtsstraße im II. Teil soll ein Beispiel sein. Jedes derartige Vorhaben liegt anders. Zur Ermittlung des volkswirtschaftlichen Wertes der Anlagen, die in Binnengewässern investiert worden sind oder werden sollen, muß jedes Projekt in seinen einzelnen Bedingungen untersucht werden. Es wird dabei einen großen Unterschied machen, ob es sich lediglich um Anlagen handelt, die die Gefahrenzone, die einen Fluß umgibt, einengen oder beseitigen sollen, oder um Anlagen, die der Wasserversorgung oder Entwässerung dienen, oder um solche, die die Schiffbarkeit eines Flusses verbessern oder überhaupt erst eine Wasserstraße schaffen sollen, oder um Anlagen zum Zwecke der Energieerzeugung oder kombiniert zu mehreren hier aufgezählten Zwecken. Bei diesen Anlagen wird man — wie im II. Teil geschehen — unterscheiden zwischen privatwirtschaftlicher Rentabilität und volkswirtschaftlichem Nutzen. Bei Strombauten für Landeskultur und Schiffahrt wird man überhaupt nicht von privatwirtschaftlicher Rentabilität, sondern nur von volkswirtschaftlichem Nutzen sprechen dürfen. Dieser kann, wie beim Rhein, außerordentlich hoch sein. Auch bei kanalisierten Flüssen und Kanälen tritt der Gedanke einer Rentabilität oder zumindest einer privatwirtschaftlichen Kostendeckung, der sich in den Schiffahrtsabgaben äußert, weit hinter dem volkswirtschaftlichen Nutzen zurück.

Nur bei kanalisierten Flüssen, die zugleich für die Schiffahrt und die Elektrizitätserzeugung und bei solchen, die lediglich für Elektrizitätserzeugung ausgebaut werden, kann die privatwirtschaftliche Rentabilität ausschlaggebend sein. Das gilt aber auch nur insoweit, wie die Anlagen auf die Elektrizitätserzeugung entfallen und nicht die aus der Elektrizitätserzeugung erzielten Überschüsse, wie z. B. bei der Rhein-Main-Donau-A.-G. und bei der Tennessee-Stromtalverwaltung, wieder für den Ausbau der Schiffahrtsstraße und anderer dem volkswirtschaftlichen Nutzen dienenden Anlagen verwendet werden.

Es gibt noch viele Projekte, die solche Aufgaben erfüllen sollen: Der Ausbau des Hochrheins, die Rhein-Rhone-Verbindung über die Aare, den Bieler, Neuenburger und Genfer See, der Ausbau der Oberen Donau, die Neckar-Kanalisierung und die Bodensee-Donau-Verbindung, aber auch die Riesenprojekte des Central Valley, Missouri, Sambesi, Nil und Kongo.

Das bisher großartigste umfassendste Beispiel eines Flußausbaues ist dasjenige des Tennessee, bei dem alle Zwecke berücksichtigt sind, die sich mit einer Kraftwasserstraße vereinigen lassen. Ziel des Tennessee-Projektes war die wirtschaftliche Belebung eines in 7 Bundesstaaten gelegenen Gebietes von der Größe Englands und Schottlands zusammen. Sie wird durch die Regulierung des Tennessee-River, der durch Überschwemmungen große

Schäden anrichtete, erreicht. Die bei der Regulierung gewonnene Energie dient in erster Linie der Finanzierung des Unternehmens. Die Schiffbarmachung des Tennessee über 1050 km ist ein Mittel zum Zweck. Hauptsache ist die Belebung der Wirtschaft der gesamten Region, wobei Landwirtschaft und Industrie in gleicher Weise bedacht werden. Kein Lebensgebiet wird dabei vernachlässigt. Die Bodenbewirtschaftung wird in neue Bahnen geleitet, um die Auswaschungen des Bodens durch die starken Regengüsse zu verhüten und den Ertrag zu steigern. Düngemittel werden fabriziert und verteilt. Die Bevölkerung wird durch Anlegen von Musterfarmen und auf andere Weise geschult und erzogen. Bodenschätze werden erschlossen. Billiger Strom und elektrische Maschinen und Apparate werden geliefert, um die landwirtschaftliche und industrielle Produktion zu fördern. Der Verkehr wird durch die Schiffbarmachung des Stroms und durch den Bau von Eisenbahnen und Autostraßen gehoben. Städte und Dörfer werden verschönert, Parks und Erholungsheime geschaffen, die Malaria bekämpft, Kulturstätten, insbesondere Schulen, errichtet und vieles andere mehr.

Im Mittelpunkt aber steht die Elektrizitätsgewinnung mit 12 Milliarden kWh jährlich. Man mag sich darüber streiten, ob die Kosten der Elektrizitätserzeugung in vollem Maße von den Einnahmen gedeckt sind. Das wird davon abhängen, nach welchem Schlüssel man die Gesamtkosten auf die verschiedenen Aufgaben verteilt.

Der Absatz an elektrischem Strom und an elektrischen Geräten ist unter erheblichen Preissenkungen in einem großen Gebiete auf das Vielfache gestiegen. Höchst wichtige Großindustrien wurden ins Leben gerufen. Das Realeinkommen der Bevölkerung großer Gebiete erhöhte sich, so daß aus Elendsgebieten solche des Wohlstandes wurden. Die Größe des sich hierin zeigenden volkswirtschaftlichen Nutzens läßt sich nicht ermessen.

Mag auch das Tennesseeprojekt wirtschaftlich gesehen noch so großartig sein, die Rhein-Main-Donau-Großschiffahrtsstraße scheint ihm unter dem Aspekt der politischen Einigung Europas an Bedeutung nicht nachzustehen.

Man soll zwar rechnen, aber man soll auch diejenigen Dinge sehen, die sich nicht errechnen lassen, aber trotzdem vorhanden sind. Man soll nicht an Ziffern und Buchstaben kleben, sondern in der Beurteilung wirtschaftlicher Vorgänge auch der Schöpfungskraft des Geistes den ihr gebührenden Raum geben.

Literaturverzeichnis:

Denkschrift des Reichsverkehrsministeriums „Zur Frage der Reichswasserstraßenpolitik vom Februar 1927", gedruckt in der Reichsdruckerei.

Gelpke: Gutachten: „Die Rentabilitätsfrage der Rheinschiffahrt", Basel Mitte November 1916, Verlag Emil Birkhäuser, Basel.

Sympher: „Die Rheinschiffahrt von Straßburg bis zum Bodensee, wirtschaftliche Begründung" vom Mai 1914. Im Auftrage des Internationalen Rheinschiffahrtsverbandes zu Konstanz und des Nordostschweizerischen Verbandes für Schiffahrt Rhein—Bodensee zu Goldach bei Rorschach, nicht gedruckt.

Tarifamt der bayerischen Staatseisenbahnen rechts des Rheins: „Untersuchung über die verkehrswirtschaftliche Bedeutung eines Main-Donau-Kanals", München 1919, Verlag Carl Gerber, München.

„Denkschrift des Main-Donau-Stromverbandes über den Großschiffahrtsweg Rhein—Main—Donau" von 1920, Verlag Carl Gerber, München.

„Denkschrift der Rhein-Main-Donau A. G. über die Teilstrecken der Rhein-Main-Donau-Großschiffahrtsstraße von Aschaffenburg bis Nürnberg und von Regensburg bis zur Landesgrenze unterhalb Passau" vom Mai 1926, nicht gedruckt.

Denkschrift des Reichsverkehrsministers vom 18. 1. 1928, Reichstagsdrucksache Nr. 3871.

Denkschrift der Rhein-Main-Donau A. G. „Großschiffahrtsstraße Rhein—Main—Donau" von 1932.

Most: „Die Tarifpolitik der Deutschen Reichsbahn", Verlag Wilhelm Geppert GmbH., Mannheim.

Pirath: „Die Beförderung von Massengütern auf Eisenbahn und Wasserstraße" (Verkehrstechnische Woche 1927).

Tecklenburg: „Die Betriebskostenrechnung der deutschen Reichsbahn, ihre Methode und Auswertung" (Reichsbahn 1929 S. 959).

Tecklenburg: „Die Selbstkosten des Eisenbahnbetriebs als Faktor der Tarifbildung" (Die Reichsbahn 1925 S. 342 ff.).

Tecklenburg: „Betriebskostenrechnung und Selbskostenermittlung bei der deutschen Reichsbahn", Berlin 1930.

Spieß: „Zum Preisbildungsproblem. Ist die bisherige Tarifbildung und Gebarung der Reichsbahn systematisch volkswirtschaftlich?"

Napp-Zinn: „Binnenschiffahrt und Eisenbahn", Gloeckner Verlag, Leipzig 1928.

Förster-Knoops: „Energietransportkosten", Verlag Ernst Mauckisch, Freiberg 1933.

Leopold: „Entwicklungsrichtlinien in der Wasserwirtschaft der Reichswasserstraßen" im „Zentralblatt der Bauverwaltung vereinigt mit Zeitschrift für Bauwesen", 60. Jahrgang 1940, Heft 23.

Leopold: „Zur Wasserstraßenfrage", „Deutsche Wasserwirtschaft", 1927, Heft 3.

Hinterleitner: „Wasserstraßenbau und Arbeitsmarkt", Bayerische Industrie- und Handelszeitung, 1932, S. 15.

Koenigs: „Wasserstraßenbaupolitik", Schriften der deutschen wirtschaftswissenschaftlichen Gesellschaft, Verlag W. Kohlhammer, Stuttgart und Berlin, 1938.

Hesselberger: „Einführungsvortrag im Kraftwerk Viereth" vom 29. Mai 1947, nicht gedruckt.

Kaspar: „Wasserstraßen- und Energiewirtschaft", Zeitschrift des Vereins Deutscher Ingenieure, Band 91 (1949) Nr. 1 Seite 9 bis 15.

Kaspar: „Die Rhein - Main - Donau - Großschiffahrtsstraße" „Die Wasserwirtschaft", 39. Jahrgang 1948/49, Heft 1.

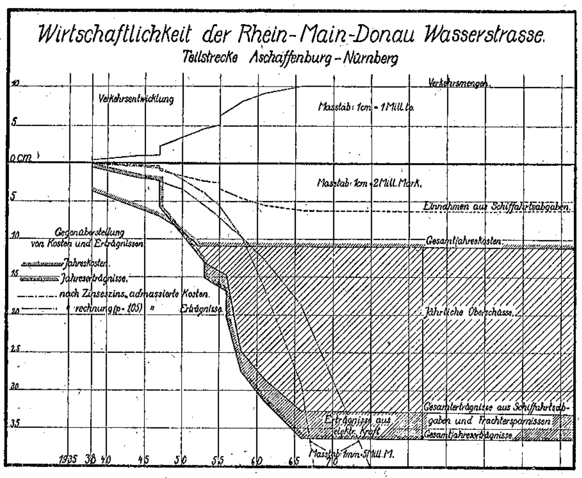

Wirtschaftlichkeit der Rhein-Main-Donau Wasserstrasse.
Teilstrecke Aschaffenburg-Nürnberg
Verkehrsentwicklung
Verkehrsmengen
Masstab: 1cm = 1 Mill. t.
Masstab: 1cm = 2 Mill. Mark.
Einnahmen aus Schiffahrtsabgaben.
Gegenüberstellung von Kosten und Erträgnissen
Jahreskosten.
Jahreserträgnisse.
Gesamtjahreskosten.
Jährliche Überschüsse.
Gesamterträgnisse aus Schiffahrtsabgaben und Frachtersparnissen
Erträgnisse aus elektr. Kraft
Gesamtjahreserträgnisse
1935 38 40 45 50 55 60 65 70

Abb. 1

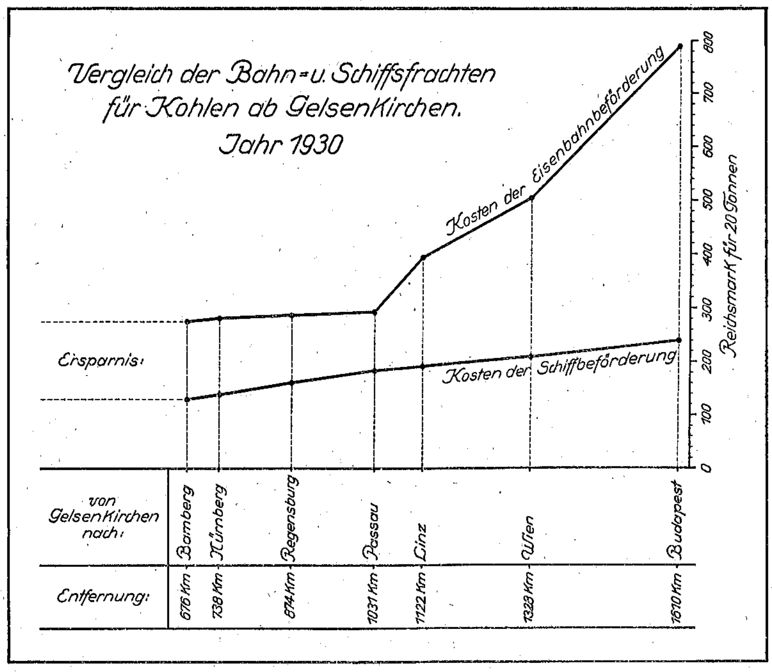

Vergleich der Bahn- u. Schiffsfrachten
für Kohlen ab Gelsenkirchen.
Jahr 1930
Kosten der Eisenbahnbeförderung
Kosten der Schiffbeförderung
Ersparnis:
Reichsmark für 20 Tonnen
0 100 200 300 400 500 600 700 800
von Gelsenkirchen nach:
Bamberg
Nürnberg
Regensburg
Passau
Linz
Wien
Budapest
Entfernung:
676 Km
738 Km
874 Km
1031 Km
1122 Km
1323 Km
1610 Km

Abb. 2

Nr. 16

Abb. 3 u. 4

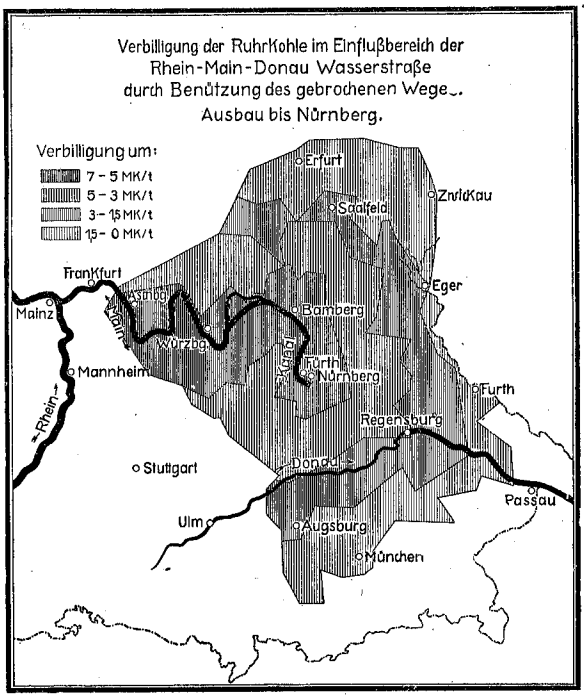


Abb. 3

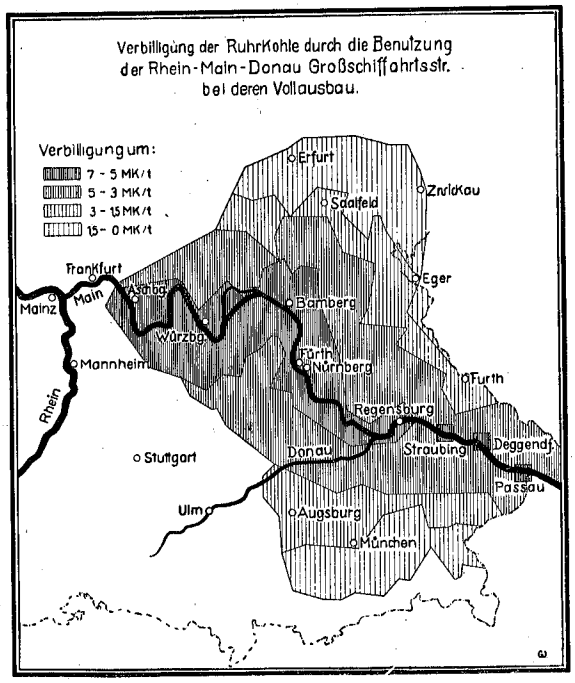


Abb. 4

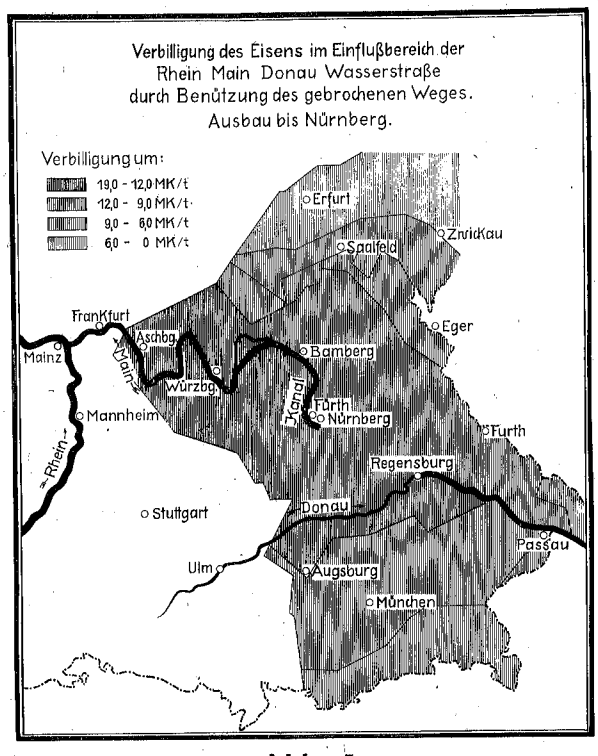

Verbilligung des Eisens im Einflußbereich der
Rhein Main Donau Wasserstraße
durch Benützung des gebrochenen Weges.
Ausbau bis Nürnberg.
Verbilligung um:
19,0 - 12,0 MK/t
12,0 - 9,0 MK/t
9,0 - 6,0 MK/t
6,0 - 0 MK/t
Erfurt
Zwickau
Saalfeld
Eger
Frankfurt
Aschbg
Mainz
Main
Bamberg
Würzbg
Kanal
Fürth
Nürnberg
Furth
Mannheim
Rhein
Regensburg
Stuttgart
Donau
Passau
Ulm
Augsburg
München

Abb. 5

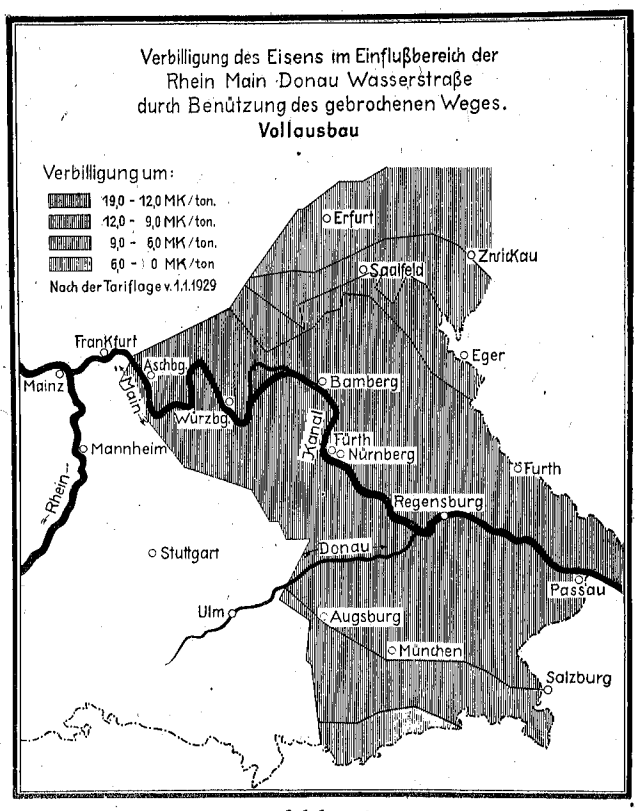

Verbilligung des Eisens im Einflußbereich der
Rhein Main Donau Wasserstraße
durch Benützung des gebrochenen Weges.
Vollausbau
Verbilligung um:
19,0 - 12,0 MK/ton.
12,0 - 9,0 MK/ton.
9,0 - 6,0 MK/ton.
6,0 - 0 MK/ton
Nach der Tariflage v. 1.1.1929
Erfurt
Zwickau
Saalfeld
Eger
Frankfurt
Aschbg
Mainz
Main
Bamberg
Würzbg
Kanal
Fürth
Nürnberg
Furth
Mannheim
Rhein
Regensburg
Stuttgart
Donau
Passau
Ulm
Augsburg
München
Salzburg

Abb. 6

17

Das Lastrohr und seine Bedeutung für die Beschleunigung des Massengutverkehrs auf Binnenwasserstraßen.*)

Von Oberingenieur Theodor Schneider, Neumühl bei Kehl (Baden).

Der XVII. Internationale Schiffahrtskongreß 1949 in Lissabon stellt an die Spitze seiner Diskussionsthemen die Frage der Beschleunigung des Verkehrs auf den Binnenwasserstraßen. Diese Tatsache unterstreicht die Bedeutung dieser vielerörterten Frage; hängt doch von ihr mit in erster Linie die Höhe der Frachten ab. Sicher werden aus den Kreisen der Schiffahrtstreibenden auf Grund ihrer praktischen Erfahrungen manche technischen Vorschläge und manche lenkenden Maßnahmen vorgebracht werden, die zu einer Verbesserung der durch die Kriegsfolgen so verwirrten europäischen Binnenschiffahrts-Verhältnisse führen können. Von diesen Möglichkeiten soll hier nicht die Rede sein; vielmehr sollen hier die Gedanken des Technikers, insbesondere des Schiffbauers zu dem Problem der Beschleunigung des Verkehrs dargelegt werden; und zwar sollen die Möglichkeiten eines Behälterverkehrs unter Beschränkung auf den Transport schüttfähiger Massengüter näher untersucht werden.

I. Das Lastrohr als Behälter für Massengut.

Der den Betrachtungen zugrunde gelegte Behälter ist das Lastrohr, ein, wie der Name erkennen läst, rohrförmiger, über seine ganze Länge oben offener Schwimmkörper, vorwiegend für fließende Be- und Entladung gedacht. Bei einem einheitlichen Durchmesser von 3 m und je nach Bestimmungszweck verschiedener Länge erreicht ein solcher Schwimmkörper mit 24 m Maximallänge eine Ladefähigkeit von 100 t auf 2 m Tiefgang. Zwei von drei eingebauten Kreisschotten verstärken den Körper im Angriffsbereich der beiden Hubseilschlingen, die den Behälter aus dem Wasser heben und durch Drehung um seine Längsachse entleeren. Das Lastrohr besitzt bei gleichen Abmessungen, gleicher Form und somit gleichem Leergewicht eine Einheits-„Eiche", die eine Wägung im Wasser ermöglicht: Zwei Freibordablesungen an den beiden Stirnseiten des Rohres genügen zur Bestimmung seines Ladungsinhaltes. Die Gewichtskontrolle erfolgt durch eine im Hubgerät eingebaute Waage. Das Lastrohr hat die Eigenschaft des Selbsttrimmens, d. h. des selbsttätigen lückenlosen Sichfüllens bei Beladung und des ebenso restlosen Sichentleerens beim Löschen ohne Einsatz von Trimmern. Die Stabilität ist im Gegensatz zum Seeschiff als Gewichtsstabilität im Leer- und Ladezustand gesichert. Für die Lecksicherheit sorgen die Kreisschotte. Neben

*) Anmerkung des Herausgebers: In Anbetracht der Bedeutung des Grundgedankens wird diesem Beitrag Raum gegeben, obwohl sich das von Dr.-Ing. Westphal konstruierte Lastrohr und das daraus gebildete Lastrohrfloß noch im Versuchsstadium befinden.

diesen Eigenschaften verdient besondere Erwähnung die spantenlose Bauart des Lastrohres, das aus Eisenblechen nietenlos zusammengeschweißt wird. Diese Bauart ohne Spanten und Bodenwrangen vermeidet die beim Kahn die Bodenkonstruktion überbrückende, leicht verletzliche Holzstrau, erleichtert beim Löschen mittels Greifer die Restarbeit gegen Ende des Löschvorgangs und erhöht die Reparaturzugänglichkeit. Wohl das auffallendste Merkmal eines solchen Behälters ist seine Freizügigkeit auf den meisten Binnenwasserstraßen, weil er auch in kleinere schiffbare Kanäle und Gewässer bei ausreichender Tiefe vordringen kann unter Vermeidung des Zwischen-Umschlags vom größeren auf das kleinere Schiffsgefäß, wie er sonst notwendig ist. Darüber hinaus aber kann das Lastrohr von Kränen an passenden Plätzen aus dem Wasser gehoben und, wieder ohne Umschlag, d. h. ohne Anfassen des Ladegutes selbst, auf der Achse mittels Spezialfahrzeugen weiterbefördert werden. Der Behälter ist also amphibisch verwendbar: Schwimmfähig, schienengängig und in kurzer Ausführung auch im Straßenverkehr einsatzfähig. Er ist eine Weiterbildung des Kübels, dem er die Eigenschaft der Schwimmfähigkeit hinzufügt. Wie dieser beim Laden vermeidet er auch beim Löschen die Einschaltung des Greifers, durch den insbesondere die Kohle in ihrem Wert gemindert wird. Man kann in Lastrohren Kohle vom Gewinnungsort zum Verbraucher befördern, ohne daß das Gut selbst beim Laden, Löschen oder Zwischen-Umschlag mit einem Löschgerät in Berührung kommt.

Beim Einsatz der Lastrohre als schwimmende Behälter können mehrere Einheiten durch einfache über Eckpoller geworfene Seilschlingen neben- und hintereinander gekuppelt werden. Hierdurch ergibt sich ein floßartiger Verband, das sogenannte Lastrohrfloß, das in Anpassung an die zu befahrende Wasserstraße beliebig vergrößert oder verkleinert und durch normale oder Spezialschlepper fortbewegt werden kann.

II. Möglichkeiten der Verkehrsbeschleunigung durch Lastrohre; besondere Einrichtungen für Schleppen, Löschen, Umsetzen und Landbeförderung.

Welche Möglichkeiten bietet nun das Lastrohr hinsichtlich der Verkehrsbeschleunigung? Hier muß zunächst genauer untersucht werden, auf welche Art eine Verkehrsbeschleunigung in der Schiffahrt erzielbar ist. Der Erhöhung der Fahrgeschwindigkeit sind technische Grenzen gesetzt, die heute als nahezu erreicht anzusprechen sind. Eine weitere erhebliche Steigerung ist nur durch einen unverhältnismäßigen Aufwand an Maschinenleistung mit unwirtschaftlichem Verbrauch von Betriebsstoffen und, zum mindesten auf Kanälen, unter unzulässiger Gefährdung der Uferböschungen möglich. Für Massengutverkehr ist hohe Geschwindigkeit weniger entscheidend als stetige Fahrt; es müssen daher besonders die Stillstände der Tonnage ins Auge gefaßt werden.

In der Seeschiffahrt wird auch nachts gefahren; der Schienen- und Straßenverkehr ist ebenfalls auf Nachtfahrt eingestellt. In dieser Gepflogenheit bildet also die Binnenschiffahrt als einziger Verkehrsträger noch eine Ausnahme. Zwar lassen unter normalen Verhältnissen die natürlichen Wasserstraßen und, soweit nicht Schleusen und Hebewerke passiert werden müssen, auch die künstlichen Wasserwege einen Nachtverkehr zu; die Schiffahrt kann ihn jedoch nicht ohne weiteres ausnutzen, weil sie nicht, wie die Seeschiffahrt, mit mehreren Wachen arbeitet. Ein Kahnschleppzug geht abends vor Anker, um den Kahnbesatzungen die erforderliche Nachtruhe zu gewähren. Das ist nicht zu umgehen, weil die Kahnbesatzungen mit der

Ladung zusammen auf ein und demselben Schiffsgefäß untergebracht sind. Auf Schleppkähnen fehlen im allgemeinen die Unterbringungsmöglichkeiten für mehrere Mannschaften. Die Ladung, die der Nachtruhe nicht bedarf, liegt der Kahnbesatzung wegen still. Lastrohrverbände sind, da sie nur vom schleppenden Fahrzeugen aus bemannt werden, in dieser Hinsicht weniger gebunden: Ein Nachtschlepper kann sie ohne weiteres weiterbefördern. Hierdurch kann annähernd die Hälfte des 24stündigen Tages als Fahrzeit im Jahresdurchschnitt gewonnen werden, sofern die Fahrwasserverhältnisse überhaupt einen Nachtverkehr zulassen.

In unseren Breiten kalkuliert die Schiffahrt ihre Frachten auf der Basis von jährlich 300 Schiffahrtstagen, rechnet also mit 60 Tagen Ausfall für den Winterverkehr. Lastrohre könnten während der Eisperiode durch ihre amphibische Verwendbarkeit vorübergehend auf dem Schienenwege eingesetzt werden, um die Tonnage in strengen Wintern nicht völlig zum Erliegen kommen zu lassen. Voraussetzung ist allerdings, daß geeignete Kräne für das Umsetzen der beladenen Rohre und tragfähige Fahrzeuge zur Verfügung stehen. Während im Schienen- und Straßenverkehr und in beschränktem Umfang auch in der Seeschiffahrt die Nebelfahrt, wenn auch verlangsamt, möglich ist, muß die Binnenschiffahrt bei Nebel ruhen. Das gilt auch für das Lastrohr, nur daß die Winternebel mit der Eisperiode zum Teil zusammenfallen, während der das Lastrohr als Schienenfahrzeug auch bei Nebel weiter verkehren kann.

Die Hafenliegezeiten sind durch die Leistungsfähigkeit des Lade- und Löschgerätes bestimmt. Dabei sind meist die Wartezeiten bedeutend größer als die eigentlichen Lade- und Löschzeiten. Das Beladen kann optimal „fließend" erfolgen, statt wie üblich mit Greifern und Kübeln. Was den Löschvorgang angeht, so ist ein Auskippen des Gutes beim Kahn niemals möglich. Das Lastrohr kann bei Ausnutzung seiner Kippfähigkeit auch „fließend" löschen und dadurch ohne Zweifel viel kürzere Löschzeiten erzielen.

Aus dem Vorstehenden ergeben sich für das Lastrohr wesentliche, dem herkömmlichen Verkehr auf Wasserstraßen nicht erreichbare Möglichkeiten für eine Umlaufbeschleunigung. Maßgebend ist das grundsätzliche Bestreben, die Tonnage nicht mit besonders hoher Geschwindigkeit, aber stetig in Bewegung zu halten, so daß sie wirklich als Transportraum, nicht als Lagerraum fungiert. Das läßt der bemannte Schleppkahn und Selbstfahrer nicht ohne weiteres zu. Hierauf beruht die heutige Unterlegenheit der Binnenschiffahrt gegenüber der Eisenbahn. Beim Schienenverkehr findet man diese Gedankengänge bereits verfolgt und in vielem grundlegend gelöst; man kann sie sich, wenigstens was die Fortbewegung der Güterwagen angeht, die mittels einer großen Anzahl von Lokomotiven in Bewegung gehalten werden, nur als Vorbild dienen lassen. Das Ziel muß auch in der Binnenschiffahrt sein, mit einer durch Umlaufbeschleunigung gering gehaltenen Tonnage einfachster unbemannter Schiffsgefäße einen Massengutverkehr aufzuziehen, dem leistungsfähige Fortbewegungs-Einheiten sowie Lösch- und Ladegeräte in unbedingt ausreichender Zahl dienen, um den Lastträger selbst möglichst dauernd und unter geringstmöglicher Stockung beim Laden und Löschen in Bewegung zu halten.

Für den Antrieb kommen normale Schlepper in Frage, bei deren Verwendung jedoch den vordersten Lastrohren mit Rücksicht auf ihren hohen Stirnwiderstand ein Vorschiff vorzuschalten wäre, das dem Floßverband vorne Schiffsform gibt und die Ankereinrichtung trägt. Spezialschlepper für Lastrohre müßten den Bedingungen des jeweiligen Strom-

gebietes oder Kanal-Profiles angepaßt sein und wären zweckmäßig selbst als Vorschiffe zu gestalten, die, eng gekoppelt mit dem vordersten Rohr der Rohrkette oder dem Floßverband, mit dem ladungführenden Teil eine Einheit bilden und ihm zum gelenkigen Selbstfahrer machen. Eine andere Möglichkeit wäre die, für ein Rohr bzw. eine Rohrkette 3 m breite Einheitsschlepper zu schaffen und diese auf Gewässern, die ein Fahren in größerer Breite zulassen, zu mehreren nebeneinander zu koppeln, um insbesondere auf Flüssen die für die Bergfahrt erforderliche höhere Maschinenleistung zu erzielen.

Das Anlandheben der Rohre wäre möglichst mit schienengängigen Kränen zu beginnen, um sie an den verschiedensten Punkten des Binnenlandes einsetzen zu können. Regelmäßige Bezieher großer Mengen Massengutes können ortsfeste Kräne oder über den Lagerplatz verfahrbare Kippbrücken, die das Heben und Kippen der Lastrohre in einem Windwerk vereinigen, errichten.

Durch die Schienengängigkeit des Lastrohres werden Werke, die nicht an Wasserstraßen liegen, in den Genuß der verbilligten Wasserfracht kommen. Umgekehrt können Lastrohr-Kanäle kreisförmigen Querschnittes und geringer Abmessungen unmittelbaren Wasseranschluß herstellen. Auch sind Lastrohr-Leitungen, d. h. Doppelkanäle, die mit Richtungsverkehr arbeiten, denkbar, in denen die Lastrohre durch Umpumpen des Wassers am Ende der Haltung eines Kanalarms in den gegenläufigen zweiten Kanal auf künstlicher Strömung ohne Antrieb treiben.

Das Projekt der Verbindung großer Stromgebiete durch Schiffahrts-Kanäle gewinnt unter dem Gesichtspunkt des Lastrohres den Aspekt einer baldigen behelfsmäßigen Verwirklichung, indem beispielsweise zwischen Main und Donau bis zur Fertigstellung des Groß-Schiffahrtsweges der Massengutstrom durch Lastrohrzüge zwischen Würzburg und Regensburg amphibisch erreicht werden kann.

III. Bisherige Anwendung, Betriebserfahrungen.

Der im Vorstehenden beschriebene Massengut-Behälter-Verkehr birgt entscheidende Möglichkeiten für die Frachtensenkung durch Steigerung der Umlaufgeschwindigkeit. Er ist in Sonderfällen in England und Amerika in ähnlicher verkleinerter Form auf Strom und Kanal schon verwirklicht worden (kastenförmige Gefäße von etwa 35 t Fassungsvermögen). In Deutschland wurde der Gedanke von den Reichswerken zu Beginn des zweiten Weltkrieges aufgegriffen und auf dem Lastrohr (D.R.P. Nr. 741 525) aufgebaut. Ein aus 3 Lastrohr-Ketten zu je acht 24 m langen Lastrohren, im ganzen also 24 Lastrohren mit Drahtseilringen zusammengekoppelter Floßverband erhielt einen mit zwei Schrauben ausgerüsteten Spezial-Bugschlepper als Vorderantrieb, den ein Heckschlepper ebenfalls mit Eigenantrieb schiebend und steuernd unterstützte. Das Fahrzeug wurde 1943 fertig und fuhr zwischen Ruhr- und Salzgittergebiet Kohle und Erz, bis die Kanal-Schiffahrt infolge der Kriegsereignisse eingestellt werden mußte. Bis zu diesem Zeitpunkt waren über 10 000 Begegnungen mit Kähnen, Schleppern und Selbstfahrern auf dem engen Kanal ohne Havarie erfolgt.

Nach dem Kriege nahm das Fahrzeug anschließend an seine Wiederinstandsetzung im Jahre 1946 die Kohlefahrt wieder auf; infolge des zerstörten Kanalviaduktes bei Minden war jedoch nur die Beförderung von Leichterkohle von der Weser zum Kraftwerk der Reichswerke möglich. Seit Mitte 1948 ist das Floß im Ruhrgebiet in der Kiesfahrt der Wasserstraßen-

direktion Münster zur Behebung der Bergschäden und Wiederherstellung der Uferböschungen eingesetzt worden.

Die Lastrohre, die als Versuchsrohre ohne vorherige praktische Erprobung in Dienst gestellt werden mußten, haben in mancher Beziehung schon als Erstlinge den Erwartungen entsprochen: Ihre Stabilität im leeren und beladenen Zustand, die Lecksicherheit, die Selbsttrimmeigenschaft und leichte Reparierbarkeit können als erwiesen angesehen werden. Die größten Schwierigkeiten bereitet das Löschen mit Greifer. Dies kann nicht erstaunen, wenn man bedenkt, daß die Rohre als Versuchsrohre mit einer nur für das Auskippen ausreichend breiten Öffnung versehen waren. Von einer zu diesem Zwecke im Aufbau begriffenen Kippanlage standen im Augenblick der Kapitulation nur die Fundamente. Die Festigkeitseigenschaften des Lastrohres und die Möglichkeit einer Entleerung durch Auskippen wurden daraufhin an einer behelfsmäßigen Anlage mit durchaus befriedigendem Ergebnis untersucht. Erfahrungen auf strömenden Gewässern mit beladenen Lastrohren liegen nur auf kurzen Strecken des Niederrheines vor. Die leere Talfahrt auf dem Rhein wurde bei der Überführung von der am Oberrhein gelegenen Bauwerft bis zur Einmündung des Wesel-Datteln-Kanals einmalig durchgeführt; hierbei wurde mit 6 nebeneinander gekoppelten Rohren gefahren. Inzwischen hat auch eine gelungene Bergfahrt auf dem Rhein mit halber Floßlänge von Grieth nach Duisburg (etwa 60 km) mit 1000 t Ladung stattgefunden.

Die technische Eignung und wirtschaftliche Bedeutung des Fahrzeuges wird für den Werksverkehr nicht bestritten. Dagegen lehnen die Schiffahrtsgesellschaften das Lastrohr für den allgemeinen Massengutverkehr überwiegend ab. Sie bevorzugen den Selbstfahrer, der sich dem Schleppkahn gegenüber durch größere Fahrgeschwindigkeit und Ausschaltung der Wartezeiten vor und nach Beendigung der Fahrt auszeichnet. Ohne Zweifel ist dies für den Stückgutverkehr richtig. Daß der Selbstfahrer bei Dauerbeförderung von Massengütern mit seiner Bindung von Ladung, Mannschaft und Maschine in e i n e m Schiffsgefäß auch dem Lastrohr, das ohne diese Bindung arbeitet, überlegen ist, sollte zum mindesten ohne vorherige überzeugende Versuche nicht behauptet werden.

Nr. 17
Abb. 1

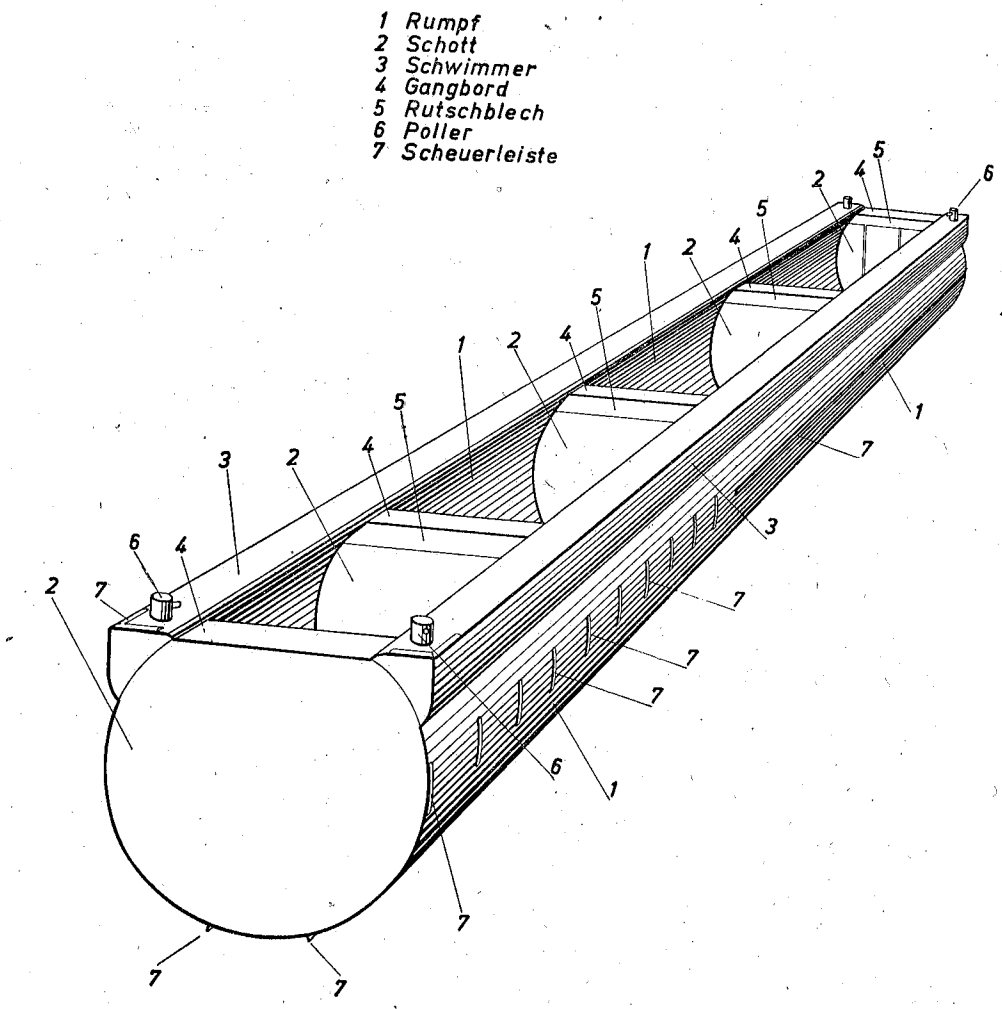


Abb. 1. Lastrohr.

Nr. 17

Abb. 2

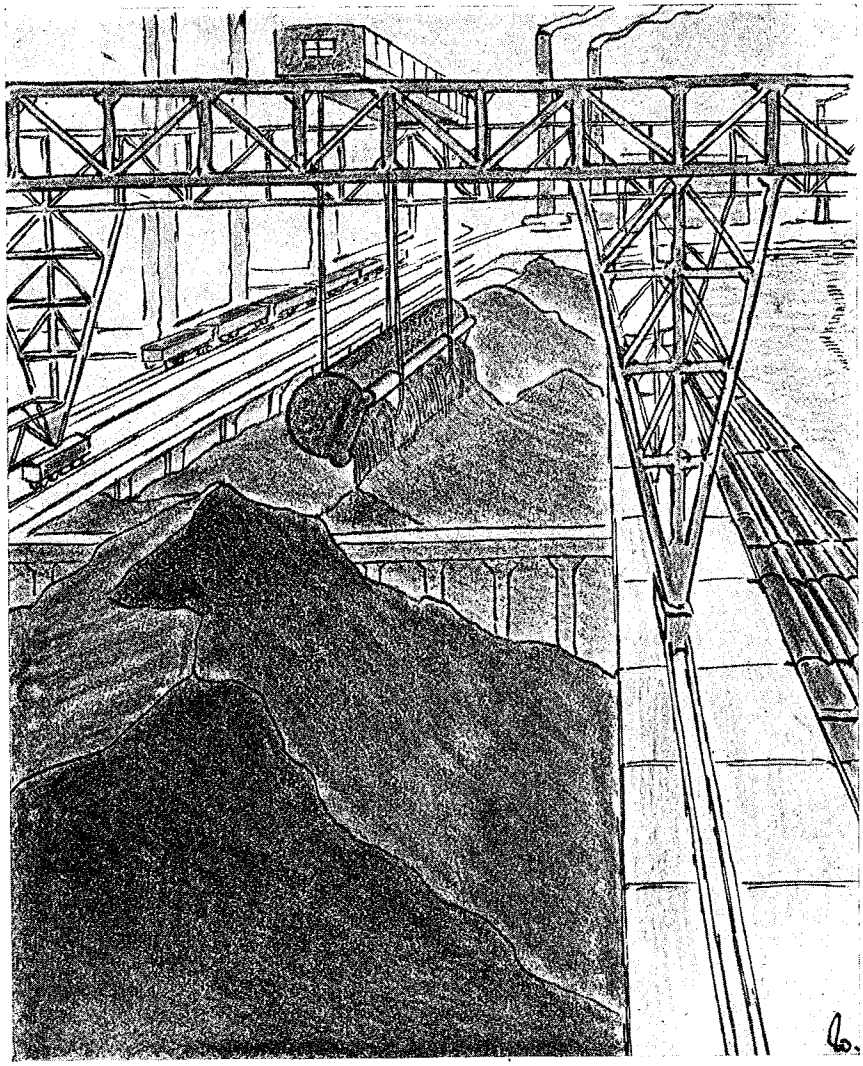


Abb. 2.

Auskippen des Lastrohres

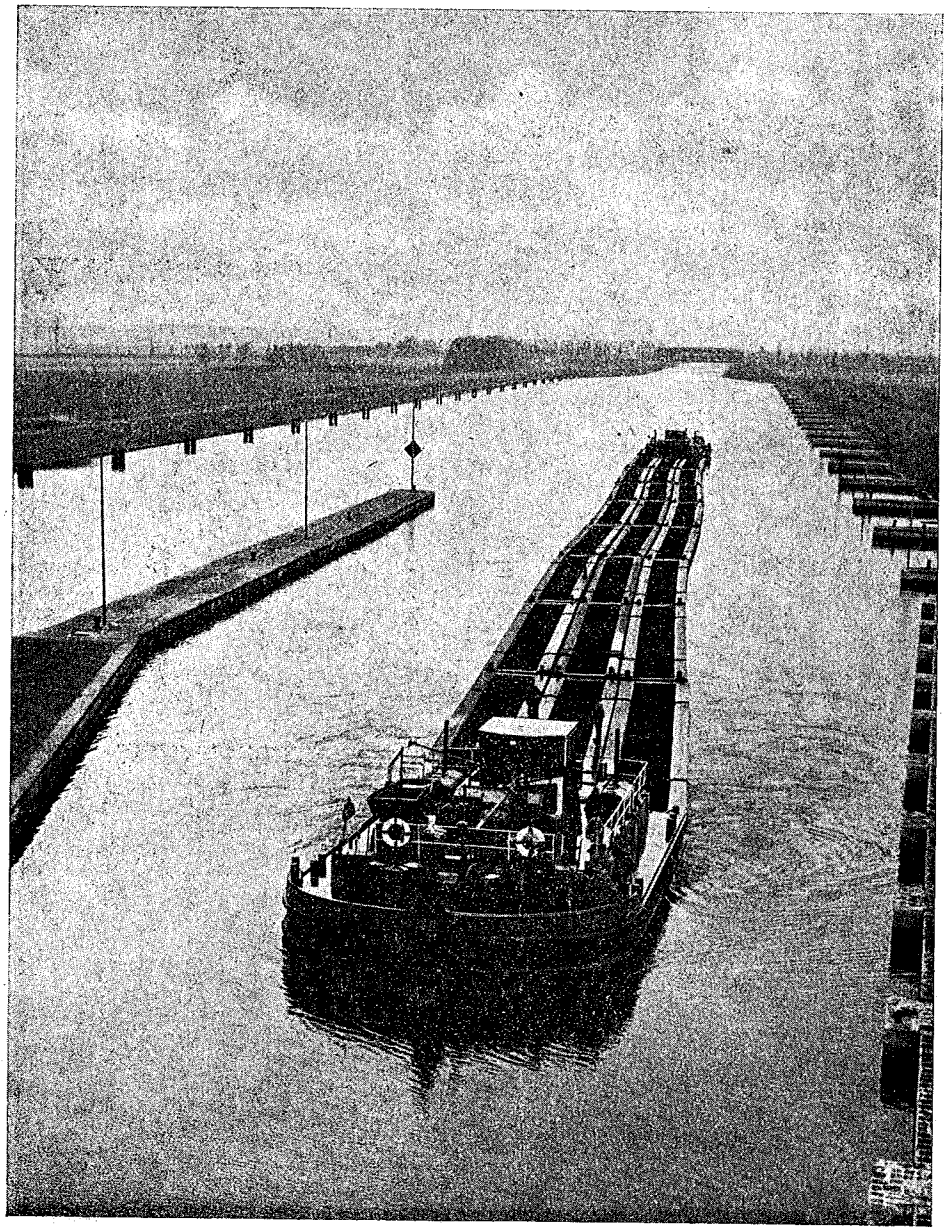


Abb. 3. Lastrohrfloß.

Abb. 4

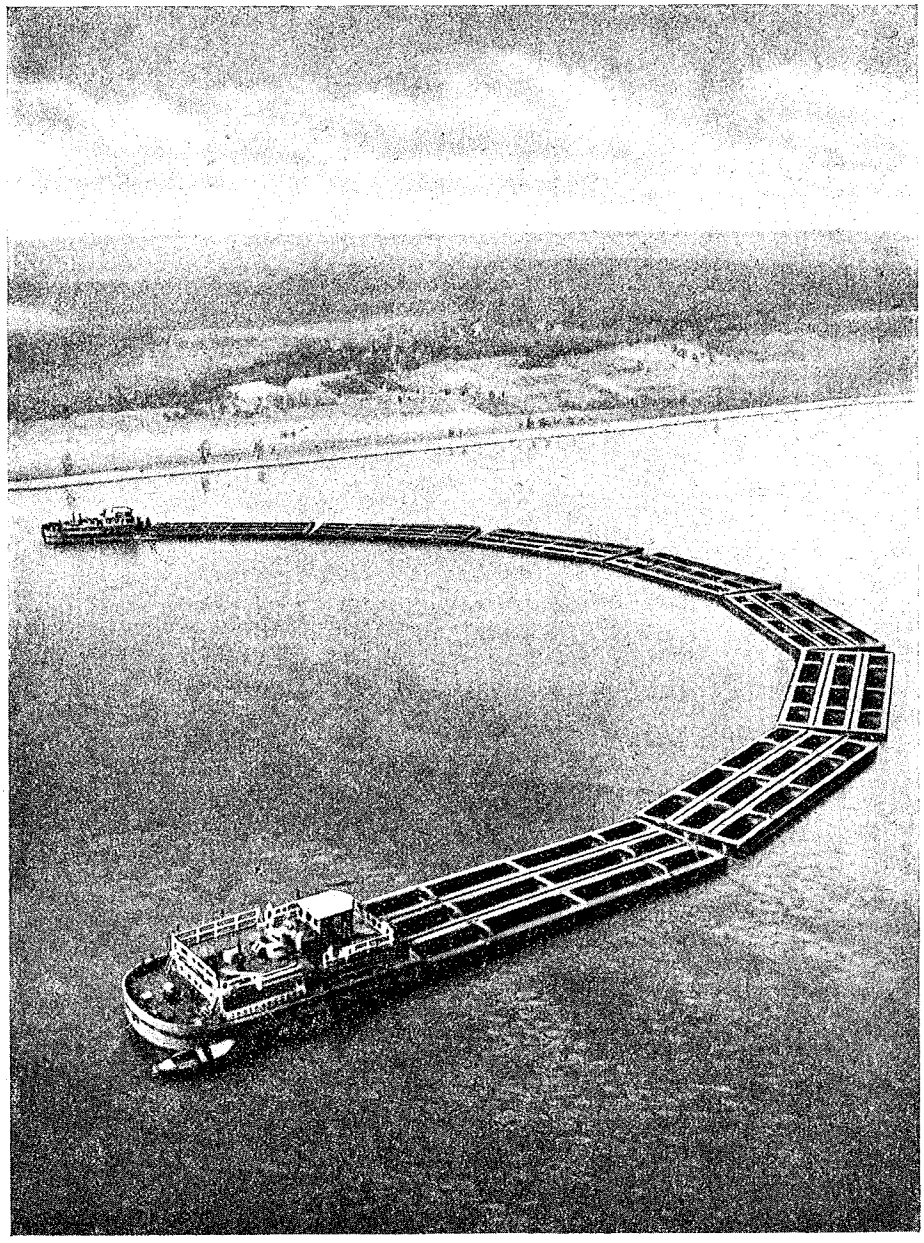


Abb. 4. Aufdrehen des Lastrohrfloßes.

18

Selbstfahrer für Gütertransporte. Verkehr mit hochwertigen Gütern. Verkehr mit Tankschiffen. – Behälterverkehr.

Von Kurt Hartwig, Reedereidirektor in Mannheim.

I. Der Selbstfahrer für Gütertransporte.

Die Bezeichnung „Selbstfahrer" für Fahrzeuge der Binnenschiffahrt, die im Gegensatz zu Kähnen und Schleppern Transporte mit eigenem maschinellem Antrieb ausführen, hat sich erst im Laufe der zwanziger Jahre dieses Jahrhunderts eingebürgert. Ein Bedürfnis für eine solche Bezeichnung als Sammelbegriff hat sich ergeben, nachdem zu den mit Dampfmaschinen ausgestatteten Güterbooten Transportschiffe mit Dieselmotorantrieb traten.

1. Dampfgüterboote.

Schon sehr bald nach Einführung des maschinellen Schiffsantriebes setzte sich die Erkenntnis durch, daß es notwendig sei, Fahrzeuge zu bauen, die unabhängig von besonderer Schleppkraft den Transport von Stückgütern und sogenannten Teilladungspartien durchzuführen hatten. Während der Transport von Massengütern wie Kohle, Erz, Rohstoffe für die Industrie, Kies und Getreide zunächst den Kähnen vorbehalten bleibt, führen Güterboote mit einer durchschnittlichen Tragfähigkeit zwischen 400 und 700 t den Transport hochwertiger Güter aus, die eine höhere Fracht vertragen können und eine sorgfältige Behandlung und kürzere Reisedauer erfordern. Sie übernehmen die Güter entweder unmittelbar am Seedampfer oder an den Sammelladestellen der Spediteure oder an den Verladestellen der Großindustrie und liefern sie an verschiedenen Häfen und Löschstellen ab. Ihrem Verwendungszweck entsprechend sind sie mit eigenem Hißgeschirr zur Übernahme und Löschung ihrer Ladung ausgestattet, um sie unabhängig von den kostspieligen Umschlagsanlagen an Land zu machen, mit denen vor der Jahrhundertwende nur die größeren Hafenanlagen ausgestattet waren. Außerdem ist für diese Boote ein besonderes Charakteristikum die Möglichkeit, einen nicht unerheblichen Teil der Ladung an Deck unterzubringen, da bei gemischter Ladung der Schiffsraum unter den Luken fast nie ausreicht, um die Tragfähigkeit der Fahrzeuge voll auszunutzen; denn bei Binnenfahrzeugen beträgt der Inhalt des Laderaums, in cbm gerechnet, nicht mehr als dessen Tragfähigkeit in Tonnen.

Die Luken sind so stark konstruiert, daß sie mit 1,5 bis 2 t pro qm belastet werden können. Wasserdichte Deckkleider, die auch mit Zollverschlußeinrichtung versehen sind, schützen die Ware gegen Witterungseinflüsse.

Die Abmessungen der auf dem Rhein beheimateten Selbstfahrer betragen

Länge	60—70 m	Maschinenleistung	300—500 PS
Breite	8—8,70 m	Tragfähigkeit	500—700 t
Tiefgang	2,20—2,60 m		

Auf den östlichen Wasserstraßen sind die Abmessungen im allgemeinen geringer.

In einem Ausnahmefall wurden vier Boote mit einer

Länge von	83 m,	einer Tragfähigkeit von	1360 t
einer Breite von	10,08 m,	und einer Maschinen-	
einem Tiefgang von	2,77 m,	leistung von	600 PS

gebaut, die aber wohl für Massenguttransporte bestimmt waren und aus diesen Betrachtungen ausscheiden können

Die meisten derartigen Güterboote sind mit zwei Maschinen ausgestattet, um möglichst kleine Schrauben verwenden zu können. Im Jahre 1914 gab es auf dem Rhein ca. 70 derartige Dampfgüterboote, die im wesentlichen auf der Strecke Rotterdam/Amsterdam/Antwerpen nach dem Mittel- und Oberrhein bis Kehl/Straßburg und auf dem Untermain bis Aschaffenburg eingesetzt waren. Daß die Schiffe zweckmäßig und gut gebaut waren, möge der Umstand beweisen, daß heute noch mehrere derartige in den 80er Jahren erbaute Güterboote mit den alten Maschinen, zum Teil sogar noch mit den alten Kesseln, in Fahrt sind. Die Besatzung dieser Fahrzeuge besteht im allgemeinen aus Kapitän, Steuermann, 1 oder 2 Matrosen, einem Maschinisten und 1 oder 2 Heizern, wobei zu berücksichtigen ist, daß damals sowohl in den Seehäfen wie am Rhein noch ein erheblicher Teil der Güter mit eigenem Hißgeschirr verladen wurde, wobei die Besatzung im Raum mitgearbeitet hat.

2. Motorgüterboote.

Nachdem nach dem ersten Weltkrieg die deutschen Güterboote zum großen Teil an Belgien ausgeliefert werden mußten, bestand nach Stabilisierung der Verhältnisse auf deutscher Seite das Bedürfnis, die entstandene Lücke durch Neubauten wieder auszufüllen.

Inzwischen hatte der Dieselmaschinenantrieb auf Schiffen seinen Siegeszug angetreten, der insbesondere durch den von allen Nationen geförderten Unterseebootsbau eine schnelle Entwicklung erfahren hatte. Schon bei oberflächlicher Beurteilung springen die großen Vorzüge der Dieselmaschine gegenüber der Dampfmaschine beim Antrieb von Güterbooten ins Auge. Sie bestehen vor allem

a) in dem bedeutend geringeren Gewicht und dem erheblich geringeren Raumbedarf von Maschine und Brennstoff,
b) in einer bedeutenden Personalersparnis,
c) in einer erheblichen Brennstoffersparnis in Anbetracht des wesentlich günstigeren Wirkungsgrades des Dieselmotors,
d) in geringeren Anschaffungskosten,
e) in jederzeitiger Betriebsbereitschaft.

Diese Vorzüge lassen beim Reeder Zweifel an der Überlegenheit des Dieselmaschinenantriebes gegenüber dem bisherigen Dampfantrieb nicht aufkommen. So entschloß sich im Jahre 1924 eine deutsche Großreederei, die ihre Dampfgüterboote hatte abgeben müssen, eine Serie von 6 mit Dieselmotoren angetriebenen Güterbooten auf einer Rheinwerft in Auftrag zu geben.

Wenn auch dieser Schiffstyp von der weiteren Entwicklung bald überholt wurde, so dürfte es sich doch lohnen, auf ihn als Markstein auf dem Wege zu dem inzwischen zu großer Bedeutung gelangten Selbstfahrerbetrieb etwas ausführlicher einzugehen. Die Abmessungen der Fahrzeuge sind:

Länge	67,20 m	Ladefähigkeit	700 t
Breite	8,75 m	Bunkerinhalt	30 000 l
Tiefgang	2,70 m	PS	2×220

Die Boote haben 5 Laderäume, von denen sich 4 vor und einer hinter dem Maschinenraum befinden. Außer den Lukendächern von hoher Festigkeit ermöglichen breite Gangborde und feste Decks die Unterbringung eines erheblichen Teils der Ladung an Deck. Mit elektrischen Winden angetriebene Hißgeschirre können sämtliche Laderäume bedienen. Ein Ladebaum hat eine Hubkraft von 3000 kg, die anderen haben eine solche von 1500 kg. Die ganze Konstruktion ähnelt überhaupt stark der der Dampfgüterboote und berücksichtigt ausschließlich den Stückguttransport. Es handelt sich um eine interessante Entwicklungsstufe vom Dampfgüterboot zum späteren Gütermotorschiff. Die Konstruktion des hochgelegenen Steuerstuhls, die feste Reeling und viele andere Einzelheiten lassen auch in ihrer Formgebung die nahe Verwandtschaft zum Dampfgüterboot erkennen. Eine Verwendung der Fahrzeuge für den Transport von Massengut war nicht in Betracht gezogen, ebensowenig eine Verwendung auf westdeutschen Kanälen, wo der Stückgutverkehr eine wesentlich geringere Rolle spielt als auf dem Rhein.

Vor eine neue Aufgabe wurden Reeder und Werften bei der Konstruktion der Ruder gestellt, da ja der bisherige Dampfantrieb der Rudermaschine fehlte und ein durch Menschenkraft angetriebenes Normalruder bei einer 440-PS-Maschinenleistung nicht in Frage kam. Man entschloß sich daher zur Verwendung von zwei Flettnerrudern, die sich zum mindesten vom Standpunkt der leichten Bedienung und wegen ihrer sehr guten Wirkung glänzend bewährt haben und heute noch auf den Fahrzeugen in Betrieb sind. Wenn man sich jedoch später zu anderen Konstruktionen entschlossen hat, so geschah dies wegen der hohen Beschaffungskosten (Lizenzgebühren) und der häufigen kostspieligen Reparaturen des eingebauten komplizierten Mechanismus, die meist auf Helling vorgenommen werden müssen.

Die Boote haben in technischer und wirtschaftlicher Hinsicht durchaus den Erwartungen entsprochen. Da es sich um einen vollkommen neuen Schiffstyp handelte, hat sich die Fachpresse eingehend mit den technischen Einzelheiten beschäftigt. Die Maschinenanlage besteht aus zwei Sechszylinder MAN umsteuerbaren Dieselmotoren von je 220 PS. Sie sind heute noch in Betrieb und sollen in diesem Jahr zum zweitenmal neue Zylinderbüchsen und Kolben erhalten. Es muß aber zur Beurteilung der Lebensdauer von Schiffsdieselmotoren hier darauf hingewiesen werden, daß es sich um einen besonders schwer konstruierten Motorentyp handelt und daß diese Fahrzeuge im Jahr noch nicht die Hälfte der Fahrstunden haben, wie sie von einem Schlepper verlangt werden. Zum Antrieb des elektrischen Hißgeschirrs und der Ankerwinde, ferner zur Erzeugung der Preßluft ist ein Aggregat mit einem Zweizylinder-Dieselmotor von 45 PS im Maschinenraum untergebracht. Infolge eines gnädigen Geschicks haben alle sechs Fahrzeuge die Schrecken des zweiten Weltkrieges überstanden und sind heute sämtlich in Fahrt.

In der ersten Hälfte der zwanziger Jahre hatte sich die Flotte auf dem Rhein durch zahlreiche Neubauten aller Rheinuferstaaten schnell vergrößert. Dieser Umstand hatte ein Überangebot an Raum zur Folge und äußerte sich in einem starken Druck auf die Frachtsätze. Der Transport von Stückgütern mittels Güterboote war für den Schiffsbesitzer niemals ein besonders lukratives Geschäft. Bezeichnend ist, daß dieser Schiffstyp ausschließlich von Reedereien und nicht von Partikulieren gebaut wurde.

3. Entwicklung zum Selbstfahrer.

Als im Laufe der zwanziger Jahre die Frachten immer weiter zurückgingen, befanden sich die Reedereien in der Zwangslage, die Baukosten ganz wesentlich zu reduzieren. Wie bereits erwähnt, hat der oben näher beschriebene Motorgüterbootstyp noch sehr viel von den Dampfgüterbooten übernommen. Man glaubte zunächst nicht auf das Hißgeschirr verzichten zu können und hielt auch die Kommandobrücke für unbedingt erforderlich. Als man nun unter dem Zwang stand, die Baukosten zu ermäßigen, ging man bei Neukonstruktionen von dem Kahntyp aus, der ja in seinem Schiffskörper sehr viel leichter und einfacher gebaut ist als ein Güterboot. Hinzu kam das Bedürfnis, die Fahrzeuge auch auf den westdeutschen Kanälen zu verwenden, die wegen der niedrigen Brücken bekanntlich nur eine größte Höhe von 4 m zulassen. Da man auch glaubte, mit einer Maschinenanlage auszukommen, die man im Hinterschiff unterbrachte, ergab sich ein sehr viel einfacherer und leichterer Typ. Die ersten Motorschiffe, die aber im wesentlichen für den Transport von Stückgütern und Teilladungspartien vorgesehen waren, hatten im allgemeinen eine Länge von etwa 48 m, eine Breite von 6,3 m und eine Maschinenleistung von ca. 150—250 PS, je nachdem, ob man an ihre Verwendung am Niederrhein oder am Oberrhein bis Kehl/Straßburg dachte. Dieser Schiffstyp brachte gegenüber dem Motorgüterboot sowohl bezüglich der Anschaffungs- wie bezüglich der Betriebskosten ganz außerordentliche Einsparungen. Die Baukosten konnten um ungefähr 30—35 v. H. bei fast gleicher Leistung gesenkt werden, und auch die Betriebskosten erfuhren eine wesentliche Ermäßigung durch die Verwendung nur einer Maschine und vor allem durch eine erhebliche Reduzierung des Personals. Infolge der technischen Entwicklung aller Häfen und Verladeanlagen spielte das eigene Hißgeschirr nicht mehr die frühere Rolle. Als Bemannungsvorschriften waren nicht mehr diejenigen für Güterboote, sondern solche für Kähne maßgebend. Als sehr entscheidende Neuerung trat hinzu, daß die Maschine nicht mehr durch einen oder zwei Maschinisten, die sich ständig im Maschinenraum aufhalten mußten, bedient wurde, sondern daß die Betätigung der Maschine von der Brücke aus unmittelbar durch den Schiffsführer erfolgte, dem auch die Wartung der Maschinenanlage oblag. Diese Entwicklung konnte nur durch starken Druck seitens der Bauherren gegen die Auffassung der Motorenfabriken durchgesetzt werden. Zunächst hielt man es für ausgeschlossen, daß Maschinenanlagen bis zu 400 PS ohne einen Spezialisten betrieben werden könnten. Die Erfahrungen haben aber den Erbauern rechtgegeben. Heute befinden sich viele hunderte derartiger Motorschiffe ohne Maschinenspezialisten in Betrieb.

Starke Anregungen erfuhren die Schiffskonstrukteure durch die Motorisierung der Fahrzeuge, da man bisher in der Binnenschiffahrt der Formgebung der Frachtschiffe viel zu wenig Bedeutung beigelegt hatte. Es hing dies damit zusammen, daß die Höhe des Schlepplohnes (Entgelt für das Verschleppen von Schiffen) nur durch die Größe der Ladung und nicht durch den Schleppwiderstand des Fahrzeuges bestimmt wurde. Daher hatten die

Schiffsbesitzer in erster Linie das Interesse, möglichst guttragende, völlige Schiffe zu bauen, ohne auf die Schleppeigenschaften besonderen Wert zu legen. Als nun bei der Entwicklung des Selbstfahrers gewissermaßen Schleppkraft und Kahn in einem Fahrzeug vereinigt wurden, änderten sich diese Verhältnisse grundlegend und der Erbauer war auf einmal an einer guten Formgebung seines Fahrzeuges, die sich in geringerer Maschinenleistung und damit in Brennstoffersparnis äußerte, stark interessiert. Wohl hatten schon in früheren Jahren gelegentlich Schleppversuche auf dem Rhein unter Assistenz von Wissenschaftlern stattgefunden, die der Prüfung der optimalen Formgebung der Kähne und des ökonomischen Schlepperantriebes dienten; aber diese litten doch alle unter den dauernd wechselnden navigatorischen Verhältnissen (Stromgeschwindigkeit, Fahrwassertiefe, Stromkrümmungen usw.), so daß die Ergebnisse sehr stark streuten und keine einwandfreie Deutung zuließen. Als diesen Dingen nun mit Einführung der Motorschiffahrt erhöhte Bedeutung zukam, setzte man sich mit der Hamburger Schiffbau- und Versuchsanstalt (HSVA) in Verbindung und ließ umfangreiche Schleppversuche durchführen, die zu wesentlich neuen Erkenntnissen führten.

Die zu lösenden Probleme waren sehr viel komplizierter, als die schiffbaulich interessierten Kreise zunächst annahmen. Während es im Seeschiffbau im wesentlichen darum geht, eine Synthese zwischen optimaler Schiffsform und Antrieb einerseits und wirtschaftlichster Ausnutzung des Schiffskörpers andererseits zu finden, spielen in der Binnenschiffahrt die stark wechselnden navigatorischen Verhältnisse (Tiefgang, Stromgeschwindigkeit) eine ausschlaggebende Rolle. Man könnte mit den Diskussionen, die in diesen Jahren zwischen Bauherren und Konstrukteuren geführt wurden, dickleibige Bücher füllen. Oberingenieur Helm von der Hamburger Schiffbau-Versuchsanstalt hat die Ergebnisse seiner wissenschaftlichen Untersuchung in der Zeitschrift für Binnenschiffahrt, Jahrgang 1942, Heft 3, in einem Artikel „Selbstfahrer-Güterboote mit eigenem Antrieb" ausführlich behandelt.

Das Bedürfnis, die Motorschiffe auch auf den westdeutschen Kanälen einzusetzen, erfordert eine besondere Konstruktion des Steuerstuhls, dessen höchster fester Punkt bei einem Leerfahrzeug nicht über 4 m liegen darf. Eine solche Höhe hätte die Unterbringung der sichtversperrenden Decklast unmöglich gemacht. Man machte daher den ganzen Steuerstuhl in seiner Höhe verstellbar. Die Anhebung und Senkung erfolgt meistens mechanisch von Hand über Spindeln oder Zahnstangen. Auch hydraulische Konstruktionen wurden schon angewandt. Die Einrichtung wurde dadurch ziemlich kompliziert, daß nicht nur für die Ruderleitung besondere Zwischenstücke vorgesehen werden mußten, sondern auch die Bedienungs- und Kontrollgeräte mußten den veränderlichen Steuerstuhlstellungen angepaßt werden. Überlegungen über die zweckmäßigste Konstruktion des Schiffskörpers führten zu entgegengesetzen Ergebnissen, je nachdem auf welchen Wasserstraßen die Fahrzeuge eingesetzt werden sollten. Als Extreme standen sich die Fahrt nach dem Oberrhein (Basel) und die Verwendung auf den westdeutschen Kanälen gegenüber. Es gab Unternehmungen, die nur Interesse an der einen oder anderen Wasserstraße hatten. Für sie galt es also Spezialtypen zu entwickeln. Die Völligkeitsgrade schwankten in beiden Fällen zwischen 0,76 und 0,83. Dann gab es wieder Reedereien, die an der kombinierten Fahrt auf den Kanälen und dem Rhein interessiert waren. Als zu Anfang der dreißiger Jahre die Fertigstellung des Mittellandkanals nach der Elbe beschlossen wurde, wodurch sich der Weg für die Rheinschiffahrt nach

den Elbestationen, Berlin und den östlichen Wasserstraßen öffnete, ergab sich das Bedürfnis nach guttragenden Fahrzeugen mit geringem Tiefgang, deren Maschinenkraft aber auch ausreichen mußte, um den starken Strom auf dem Rhein zu überwinden. Trotz der so entgegengesetzten Anforderungen an Schiffsraum und Antrieb bei Verwendung auf dem Kanal oder auf dem Rhein kam es aber ernstlich nie in Frage, Umladung der Güter in Duisburg in Erwägung zu ziehen, da die Transportkosten durch den Umschlag sehr viel mehr belastet werden als durch den Verzicht, auf den verschiedenen Wasserstraßen den jeweils günstigsten Schiffstyp zu verwenden. Es mußten also Kompromißlösungen angestrebt werden. Diese fanden sich in einem Typ von 50 m Länge, 6,50 m Breite, 450—500 t Tragfähigkeit bei 2,30 m Tiefgang und 250 PS. Es ist dies ein ähnlicher Schiffstyp, den man schon für die Verwendung auf Mosel und Obermain konstruiert hatte. In der Tat erschienen schon sehr bald nach der Fertigstellung der Schleusen bei Magdeburg diese Rhein-Motorschiffe in Bromberg, Danzig und Posen, während in Breslau und Stettin gelegentlich auch 67-m-Motorschiffe zu sehen waren.

4. Maschinenanlage.

Sehr eingehende Erwägungen sind bei Neubauten über Art und Leistung der Maschinenanlage anzustellen. Die Entscheidung wird von folgenden Faktoren beeinflußt:

a) Tragfähigkeit
b) Hauptsächlichstes Verkehrsgebiet
c) Völligkeitsgrad des Schiffskörpers
d) Zulässiger Schraubendurchmesser
e) Bedienung der Maschine durch Deckpersonal oder Spezialisten
f) Art des zu befördernden Gutes
g) Zusätzliche Schleppleistung
h) Beschaffungskosten.

Die Überlegungen zu a)—c) ergeben in Verbindung mit der erwünschten Fahrgeschwindigkeit die erforderliche Maschinenleistung. Die normale Geschwindigkeit der nach dem Oberrhein fahrenden Fahrzeuge liegt auf der Strecke Duisburg—Köln bei abgeladenem Fahrzeug bei ca. 9 km. Hierzu benötigt das Motorschiff je nach Völligkeitsgrad (zwischen 72 und 83) etwa 0,5 bis 0,6 PS pro Tonne Tragfähigkeit. Bei Fahrzeugen, die regelmäßig nach Basel fahren, wird man bis 0,8 PS pro Tonne gehen können. Andererseits genügen für Motorschiffe, die in erster Linie für Kohlentransporte bis Heilbronn und Karlsruhe eingesetzt werden sollen, 0,4 PS. Bei der Wahl der PS-Stärke darf nicht übersehen werden, daß bei Vergrößerung der Leistung der Gewinn an Geschwindigkeit verhältnismäßig gering ist. Besonders ungünstig werden die Verhältnisse, wenn die Fahrzeuge außer den Stromgebieten auch noch große Kanalstrecken zurücklegen müssen, wie dies praktisch auf der Strecke Bremen/Oberrhein der Fall ist. Die zur Erreichung der zugelassenen Kanalgeschwindigkeit erforderliche Maschinenleistung beträgt häufig nur $^1/_5$ bis $^1/_8$ der vorhandenen Leistung, so daß je nach Bauart der Maschine diese über sehr lange Strecken mit ungünstiger Teillast, d. h. mit schlechtem Wirkungsgrad, also hohem Brennstoffverbrauch, fährt. Die auf den vorgesehenen Fahrstrecken vorhandenen mittleren Wassertiefen beeinflussen weitgehend den Konstruktionstiefgang der Fahrzeuge und damit den zulässigen Schraubendurchmesser, der wiederum im Zusammenhang mit der vorgesehenen Maschinenleistung die zu wählende Drehzahl maßgebend beeinflußt. Mit Rücksicht auf die Lebensdauer der Ma-

schine und vor allem mit Rücksicht auf den mit steigender Drehzahl ungünstiger werdenden Wirkungsgrad des Propellers soll dieser so groß, die Drehzahl jedoch so klein wie möglich gewählt werden.

Eine große Rolle bei der Wahl der Antriebsmaschine spielen die Beschaffungskosten. Die Preise je PS sind bei den einzelnen Motorenfabriken ziemlich unterschiedlich. Hochtourige Maschinen sind leichter und billiger als Maschinen mit geringerer Drehzahl. Dafür ist aber die Lebensdauer bei letzteren eine größere. Auch bei gleichtourigen Maschinen baut die eine Fabrik schwerer als die andere. Die Mehrkosten für die schweren Maschinen werden im Betrieb aber wieder zum Teil ausgeglichen durch geringeren Reparaturanfall und längere Lebensdauer. Die zu wählende Tourenzahl einer Maschine ist abhängig von dem zulässigen Schraubendurchmesser, soweit man kein Untersetzungsgetriebe verwenden will.

Eine besondere Bedeutung bei der Konstruktion einer Maschinenanlage kommt den Hilfsmaschinen zu. Allgemein hat sich der organische Einbau von direkt angetriebenen Kompressoren an die Hauptmaschine zur Erzeugung von Druckluft eingebürgert. Es ist darauf zu achten, daß diese Kompressoren auch dann ausreichen, wenn die Maschine auf längerer Kanalfahrt mit niedrigster Drehzahl läuft. Bei Dimensionierung der Luftflaschen ist an die sehr zahlreichen Maschinenmanöver in engen Häfen zu denken. Schon manchem Schiffsführer ist in solcher Lage die Luft ausgegangen, wodurch sein Fahrzeug manövrierunfähig wurde. Außer diesen an die Hauptmaschine angehängten Kompressoren benötigt man teils als Reserve, teils um auch bei Stillstand der Hauptmaschine in der Lage zu sein, den Luftvorrat aufzufüllen, einen zweiten Kompressor, der von einem besonderen Aggregat von nur 10—15 PS Leistung angetrieben wird und ebenfalls im Maschinenraum untergebracht ist. Der Versuch, die Ankerwindmaschine hierfür zu verwenden, hat sich wegen der Frostschäden nicht bewährt. Von dem Aggregat wird außerdem noch eine kleine E-Maschine und eine Kreiselpumpe zum Lenzen der Maschine und der Laderäume und zum Deckspülen angetrieben.

In der zweiten Hälfte des letzten Krieges wurde in Deutschland infolge Gasölmangels in eine größere Anzahl von Motorschiffen ein Generator zur Erzeugung von Gas aus Kohle eingebaut. Obwohl hierzu erhebliche Kapitalien investiert wurden und die Brennstoffkosten geringer waren als bei Dieselantrieb, wurden nach dem Krieg, als Gasöl wieder zur Verfügung stand, die meisten Generatoren wieder ausgebaut, weil die den besonderen Anforderungen entsprechende Kohle meist nicht zur Verfügung stand. Letzeres hatte eine starke Verschmutzung der Maschine durch Rückstände und entsprechenden Verschleiß von Zylinderbüchsen und Kolben zur Folge. Eine weitere Schwierigkeit bei der Gasmaschine besteht darin, daß sie bei ihrer bisherigen Konstruktion nicht umsteuerbar ist und ein besonderes Umkehrgetriebe für die Rückwärtsfahrt eingebaut werden muß. Während des Krieges half man sich mit Einführung des Diesel-Gas-Verfahrens. Endlich ist es als Nachteil der Gasmaschine zu betrachten, daß sie nicht, wie die Dieselmaschine, jederzeit betriebsfähig ist, sondern erst betriebsklar gemacht werden muß.

Die zahlreichen kleinen Störungen, die stets bei Dieselmaschinenantrieb auftreten, machen es erforderlich, den Maschinenraum reichlich mit Werkzeugen, Ersatzteilen usw. auszustatten. Besonders unter dem jüngeren Bordpersonal gibt es viele Leute, die auch ohne fachmännische Ausbildung sich erstaunlich schnell mit den technischen Einzelheiten der Maschinenanlage vertraut machen und kleinere Reparaturen mit Geschick ausführen.

5. Personal, Unterbringung.

Sehr hohe Anforderungen werden an das Personal eines Motorschiffes gestellt, besonders wenn die Fahrzeuge mit vielen Einzelpartien und Stückgütern beladen werden. Die Ernennung zum Motorschiffsführer sollte erst erfolgen, wenn der Betreffende eine jahrelange Erfahrung als Matrose oder Steuermann auf einem derartigen Fahrzeug gesammelt hat. Ein Schiffsführer muß mit den navigatorischen Verhältnissen auf den zu befahrenden Wasserstraßen völlig vertraut sein. Kein Disponent kann ihm die Verantwortung für die richtige Beladung seines Schiffes abnehmen. Wenn beispielsweise sein Fahrzeug in einem Seehafen mit vielleicht 10—20 Einzelpartien für 6—10 verschiedene Häfen eingeteilt wird, so muß er sich sehr genau überlegen, wie er diese Güter verstaut, so daß sie an jeder Löschstelle greifbar sind und daß sein Fahrzeug trotzdem nach der Löschung der betreffenden Partien auf ebenem Kiel bleibt. Er muß den jeweiligen und während seiner Reise zu erwartenden Wasserstand berücksichtigen, damit kostspielige Leichterungen vermieden werden. Während der Reise muß er darauf bedacht sein, daß er so schnell wie möglich das Endziel erreicht. Seine Fahrzeit muß er so einrichten, daß er möglichst bei Arbeitsbeginn an der Löschstelle liegt. Er hat dafür zu sorgen, daß Schiffs- und Maschinenanlage stets tadellos sauber und in Ordnung sind. Endlich ist er verantwortlich für die Ladung, die häufig aus mehreren tausend Einzelkollis besteht. Beim Laden und Löschen hat er zugegen zu sein und muß mitzählen. Damit ist nur ein kleiner Teil seiner Aufgaben und Pflichten umrissen. Jedenfalls ist der Schiffsbesitzer in hohem Grad auf die Zuverlässigkeit und Tüchtigkeit seines Bordpersonals angewiesen.

Man kann aber auf die Dauer gutes Personal nur halten, wenn man demselben auch an Bord würdige Lebensverhältnisse schafft. Das Problem einer geräumigen Wohnung ist auf den Motorschiffen nicht ganz leicht zu lösen, da mit Rücksicht auf die geringe Brückenhöhe im Kanal der höchste Fixpunkt des leeren Schiffes 4 m nicht überschreiten darf. Immerhin konnte man auch für den Matrosen im Vorschiff ein Deckhaus einrichten, in dem er eigene Kochgelegenheit hat, und die Wohnung so geräumig machen, daß er seine Frau an Bord unterbringen kann. Ferner sind heute sämtliche Motorschiffe mit elektrischem Licht versehen, das bei Stilliegen des Bootes aus einer eigenen Akkumulatoren-Batterie gespeist wird. Die Wohnung des Schiffsführers besteht aus mehreren Räumen. Auf die Ausstattung hat man größeren Wert als früher gelegt. Eine ganze Anzahl der Fahrzeuge hat auch Zentralheizung, bei der man den Kessel im Maschinenraum unterbringt, um diesen im Winter vor Frost schützen zu können.

6. Spezialtypen.

Wir kommen nun zur Beschreibung einzelner interessanter Spezialtypen:

Die Geschwindigkeit des Selbstfahrers auf dem Kanal ist mit Rücksicht auf Schonung der Kanalsohle und Böschung behördlicherseits stark eingeschränkt. Ein auf 2 m abgeladenes Motorschiff mit einer Breite von 8,20 m füllt einen erheblichen Teil des Kanalprofils aus. Die Folge davon ist, daß sich der Wasserspiegel vor dem Kopf hebt. Andererseits saugt die Heckschraube das Wasser vom Hinterschiff weg und das Fahrzeug erhält eine gewisse Schräglage, die eine verhältnismäßig hohe Maschinenleistung erfordert. Außerdem wird die Böschung durch das zuerst stark steigende und dann schnell wegfallende Wasser stark beansprucht. Die Kanalsohle wird durch den Schraubenstrom, der infolge der Schräglage des Schiffes eine nach unten gerichtete Neigung hat, aufgewühlt. Um alle diese Mißstände abzu-

stellen und eine höhere Geschwindigkeit auf dem Kanal zu ermöglichen, kam man auf den Gedanken, ein Schiff mit Vorderantrieb zu versehen. Eine Reederei führte diesen interessanten Versuch durch. In das Vorschiff wurden zwei Tunnel eingebaut, in denen zwei Schrauben in Kortdüsen durch ein Umkehrgetriebe mit Untersetzung angetrieben wurden. Die in Gegenwart einer großen Anzahl Sachverständiger der verschiedenen Kanalverwaltungen durchgeführte Probefahrt hatte ein überraschend günstiges Ergebnis. Die Bugwelle verschwand vollständig und an der Kanalböschung war eine Wasserbewegung kaum festzustellen. Leider konnte sich jedoch die Kanalverwaltung aus grundsätzlichen Bedenken nicht entschließen, diesen Fahrzeugen eine höhere Geschwindigkeit zuzugestehen, so daß die Reederei kein Interesse daran hatte, diesen Schiffstyp zu entwickeln, da den nicht unerheblichen Mehrkosten der Konstruktion keine betriebliche Mehrleistung gegenüberstand.

In diesem Zusammenhang verdient auch eine andere Konstruktion, die kurz vor dem Krieg auf den märkischen Wasserstraßen zur Ausführung kam, erwähnt zu werden. Um die technischen Schwierigkeiten, die mit der wechselnden Belastung der Maschinen bei Kanal- bzw. Stromfahrt verbunden waren, zu vermeiden, wurde auf einem Schiff von 67 m Länge (Plauer Maß) eine Maschinenanlage eingebaut, die aus einer 400 PS starken Gasmaschine sowie einer kleineren 120-PS-Maschine bestand, die beide Stromerzeuger antreiben. Über zwei Schrauben, die durch Elektromotoren angetrieben werden, wird die Leistung auf das Schiff übertragen. Während der Kanalfahrt wird mit der überschüssigen Leistung der Antriebsmaschine eine Batterie mit Strom gespeist, welche bei Stromfahrt als Zusatzleistung für die Hauptantriebsmaschine verwandt wird. Ob sich diese technisch interessante Konstruktion auch vom wirtschaftlichen Standpunkt aus bewährt hat, konnte infolge der Verhältnisse in der Ostzone nicht nachgeprüft werden.

Schon zu Zeiten des Dampfgüterbootes war es üblich, die auf Strecken schwachen Stromes vorhandene überschüssige Maschinenkraft zum Schleppen von Kähnen zu verwerten. Hierbei sollten aber die eigentlichen Aufgaben dieses Schiffstyps keine Minderung erfahren. Als sich nun in den dreißiger Jahren das Motorschiff immer mehr einführte, lag es nahe, an eine Kombination von Schlepper und Selbstfahrer zu denken. Dieser Schiffstyp entwickelte sich zuerst auf der Donau, wo wegen der langen Fahrstrecken zwischen den bedeutenderen Häfen besonders günstige Voraussetzungen vorlagen. Auf dem Rhein konnte man sich erst kurz vor dem Krieg zu diesem Typ entschließen, nachdem das Motorschiff immer mehr für Transporte von Massengütern eingesetzt wurde; denn der Transport von Stückgütern und Teilladungspartien mit seinen langen Lade- und Löschfristen und mit dem Anlaufen zahlreicher Häfen läßt sich mit der Tätigkeit eines Schleppers schlecht vereinbaren. Eine Reederei gab im Jahre 1938 6 Schiffe mit folgenden Abmessungen in Auftrag:

Länge	76,05 m	Tragfähigkeit	1033 t
Breite	9,49 m	Tiefgang	2,65 m
Maschinenstärke	2×400 PS	Völligkeitsgrad	0,73

Bemerkenswert ist der geringe Völligkeitsgrad, den man gewählt hat, da das Fahrzeug besonders für Schnelltransporte von den Rheinmündungshäfen nach Basel vorgesehen war. Bei Probefahrt erreichte das mit 800 t beladene Fahrzeug mit einem Kahn von 1000 t Ladung im Anhang auf der Strecke Duisburg-Köln eine Geschwindigkeit von 8,5 km/Std.

Günstige wirtschaftliche Ergebnisse entsprachen den Erwartungen. Gegenüber dem normalen Schleppbetrieb konnten erhebliche Personal- und Brennstoffersparnisse erzielt werden. Auch der Kapitaldienst ist ein geringerer, da der Schiffskörper für den Schlepper in Wegfall kommt. Durch wechselnden Anhang kann man sich den jeweiligen Stromverhältnissen anpassen. Läßt der Wasserstand auf der Strecke Kehl-Basel einigermaßen volle Abladung zu, so läßt man die Schiffe auf dieser Strecke zweckmäßig ohne Anhang fahren. Sehr viel Sorgfalt muß auf die Wahl der richtigen Schrauben gelegt werden, um den an sich entgegengesetzten Anforderungen eines Schleppers und eines freien Selbstfahrers gerecht zu werden.

7. Vergleich zwischen Schlepp- und Motorschiffahrt.

Wie oben erwähnt, wurden die Dampfgüterboote und die ersten Motorgüterboote auf dem Rhein lediglich für den Transport von Stückgütern und kleinen Einzelpartien verwendet. Schon einige Jahre früher hatten sich sowohl auf den märkischen Wasserstraßen wie in Holland eine Anzahl kleinere Motorschiffe für den Transport von Massengütern mit gutem Erfolg eingeführt. Auf diesen Fahrzeugen lag jedoch die Maschinenstärke nur bei etwa 50—75 PS. Sie waren daher auf dem Rhein oberhalb Ruhrort nicht zu verwenden.

Nachdem Ende der zwanziger Jahre auch auf dem Rhein der starke Motorkahn immer weitere Verwendung fand, wurden auch diese Fahrzeuge für den Transport von Massengütern verwendet. Dadurch traten diese Motorschiffe in Konkurrenz gegen den Schleppkahnbetrieb. Wir kommen damit zu dem in der Fachpresse vielfach behandelten Vergleich zwischen Schleppschiffahrt und Motorschiffahrt.

Es wurden damals von allen in der Rheinschiffahrt beschäftigten Reedereien theoretische und praktische Rentabilitätsvergleiche angestellt, die durchaus nicht immer zu gleichen Ergebnissen führten. Es hängt dieser letztere Umstand teils mit den verschiedenen Strecken und den verschiedenen Güterarten zusammen, an denen der jeweilige Schiffsbesitzer in erster Linie interessiert war. Eingehende Untersuchungen hat u. a. Prietze in der „Zeitschrift für Binnenschiffahrt", Jahrgang 1937, Heft Nr. 7, in einem Artikel „Die Entwicklung der deutschen Motorschiffahrt auf den deutschen Wasserstraßen", angestellt. Wie bei jedem Vergleich müssen zunächst einmal gleiche Voraussetzungen geschaffen werden. Sehr viele in der Fachpresse erschienenen Artikel machen jedoch den grundsätzlichen Fehler, die neuen Motorschiffe mit hohen Abschreibungsquoten zu belasten und die so errechneten Tageskosten den auf Grund der bisherigen Schlepplöhne und Kahnmieten sich ergebenden Sätzen gegenüberzustellen. Aber diese beiden letzteren Faktoren waren ja nicht auf Grund der Neubau- und Wiederbeschaffungskosten errechnet, sondern waren durch die Konkurrenzverhältnisse bedingt. Trotz dieser die Selbstfahrer belastenden Momente kommen die Autoren meist zu dem Ergebnis der wirtschaftlichen Überlegenheit des Motorschiffs gegenüber der Kahnschiffahrt. Wir verzichten hier bewußt auf eine komplizierte und mit häufigen Fehlerquellen belastete theoretische Berechnung und beschränken uns auf die in zwanzigjähriger praktischer Erfahrung gewonnenen Erkenntnisse, die wir wie folgt zusammenfassen:

a) Die Überlegenheit des Selbstfahrers ist um so größer
   1. je größer die Transportstrecke ist;
      denn je länger die Strecke, um so geringer die anteiligen Kosten für die Lade- und Löschzeit, die bei Kähnen wesentlich unter denen der teuren Selbstfahrer liegen.

2. je stärker die Stromgeschwindigkeit ist.
   Die Schleppkosten steigern sich bei stärkerem Strom in viel höherem Grad als die Kosten für den Mehrverbrauch des Brennstoffs beim Selbstfahrer. Ein Radschlepper von 1500 PS mit 13—14 Leuten Besatzung schleppt auf der Strecke Kehl-Basel 2 Schiffe gegenüber 6—7 Schiffen am Mittelrhein. Daher ist in der Schweizer Flotte der Prozentsatz der Selbstfahrer von allen Nationen am höchsten.
3. je hochwertiger die beförderten Güter sind.
   Bei der Bergfahrt auf dem Rhein beträgt die Reisedauer eines mit starken Motoren ausgerüsteten Selbstfahrers weniger als die Hälfte einer Kahnreise. Es sind daher bei Verladungen mit Motorschiffen häufig bessere Frachten zu erzielen.
4. je geringer der Verkehr auf der betreffenden Wasserstraße ist.
   Von der Verkehrsstärke ist die pünktliche Gestellung von Schleppkraft abhängig. Je geringer der Verkehr, um so teurer der Schlepplohn, da die Schleppkraft erst bereitgestellt werden muß und Wartezeiten des Schleppschiffes unvermeidlich sind. Dieser Umstand tritt auf den Wasserstraßen östlich der Oder stark in Erscheinung.

b) Die wirtschaftliche Überlegenheit der Motorschiffe gegenüber den mit alten, stark abgeschriebenen Schleppern und Kähnen durchgeführten Kohlentransporten auf der Strecke Ruhrort—Mannheim ist noch nicht erwiesen. Sie setzt sich erst oberhalb Mannheim, Kehl—Straßburg und Heilbronn durch.

c) Es gibt Strecken, auf denen auch Kahnneubauten in wirtschaftlicher Beziehung durchaus mit Selbstfahrern noch konkurrieren können. Es gilt dies auf der Strecke Rheinmündungshäfen bis Ruhrort und auf den westdeutschen Kanälen, besonders Dortmund-Ems-Kanal. Auf beiden Strecken handelt es sich meist um ganze Kahnladungen Massengut, die nur eine Lösch- und eine Ladestelle haben. Auf der Strecke Rheinmündungshäfen—Ruhrort sind wegen des geringen Stroms und der Verwendungsmöglichkeit tiefgehender Schraubenboote die Schleppkosten sehr gering. Auf dieser Strecke werden auch die größten Schiffsgefäße eingesetzt, vielfach 2000 t und mehr, deren Motorisierung besonders hohe Aufwendungen erfordern würde. Auf den Kanälen ist die Überlegenheit des Selbstfahrers wegen der Geschwindigkeitsbegrenzung ohnehin beschränkt. Auf der sehr schleusenreichen Strecke des Dortmund-Ems-Kanals belasten die langen Schleusenzeiten den Selbstfahrer mehr als die Kähne; aus dieser Erkenntnis heraus wurden auch noch während des letzten Krieges ca. 50 Kähne für die spezielle Verwendung auf dem Dortmund-Ems-Kanal erbaut.

Es sind aber auch eine Reihe von Punkten hervorzuheben, die das Motorschiff belasten und die bei einem Vergleich der beiden Schiffstransportarten nicht unberücksichtigt bleiben dürfen.

Zunächst läßt die Betriebssicherheit des Dieselmotors noch viel zu wünschen übrig. Die Reparaturzeiten und Kosten der Motorschiffe sind das vielfache derjenigen bei Kähnen.

Der Schiffskörper, dessen Verschleiß größer ist, und vor allem die Maschinen erfordern hohe Abschreibungsquoten.

An das Personal werden höhere Anforderungen gestellt und die Versicherungsgesellschaften verlangen wegen des größeren Gefahrenrisikos eine höhere Prämie.

Die Reparaturmöglichkeiten mit gutem Fachpersonal sind immer noch recht beschränkt.

Die Maschinenanlagen werden wegen der langen Lade- und Löschfristen nur ungenügend ausgenutzt.

Diese negativen Momente sind aber nur geeignet, den Grad der Überlegenheit des Motorschiffes einzuschränken, und sind in oben festgestellten Ergebnissen bereits berücksichtigt. Die Schiffahrtsbetriebe sind diesen allmählich sich durchsetzenden Erkenntnissen gefolgt. Es wurde schon erwähnt, daß die Schweiz, die ja ihre Rheinflotte in erster Linie zur eigenen Versorgung über den Hafen Basel erbaut hatte, dem Motorschiff einen besonders hohen Anteil zuwies. Es scheint daher zunächst nicht recht verständlich, aus welchen Gründen sich die Schweizer Reedereien entschlossen haben, nach dem letzten Krieg eine größere Anzahl Schlepper mit überstarker Maschinenkraft bauen zu lassen.

Daß das Motorschiff das Dampfgüterboot ganz verdrängen wird, ist in Anbetracht der unbestrittenen Überlegenheit nur noch eine Frage der Zeit. Es sind bereits in den letzten 20 Jahren keine Dampfgüterboote in Westdeutschland mehr gebaut worden.

Starke Verwendung hat das Motorschiff nach diesem Krieg im Durchgangsverkehr von Bremen nach dem Oberrhein gefunden, und die geringste auf der Strecke Dortmund—Emden, auf der fast ausschließlich Kohlen und Erz befördert werden. Auch im Durchgangsverkehr nach der Elbe und Berlin treten die Selbstfahrer wieder auf.

Bei der schnellen Entwicklung der Motorschiffe in den letzten Jahren vor dem Krieg mag der Umstand mitgewirkt haben, daß eine ganze Anzahl unternehmungslustiger und fleißiger Partikuliere sich unabhängig von der Schleppkraft, die sich zum größten Teil in den Händen der Reedereien befand, und von der durch Lohntarife geregelten beschränkten Schleppzeit machen wollten. Vielfach haben sie auch ihre Kähne motorisiert.

II. Verkehr mit hochwertigen Gütern.

Es besteht erfahrungsgemäß bei einer Anzahl Verlader ein gewisses Vorurteil dagegen, hochwertige Güter dem Schiffstransport anzuvertrauen, teils weil man befürchtet, daß sie nicht sorgfältig genug behandelt werden, teils weil die Diebstahlsgefahr überschätzt wird. Dieser Umstand ist meist auf Unkenntnis der wirklichen Durchführung von Stückguttransporten im Schiffsverkehr zurückzuführen. Zunächst ist darauf hinzuweisen, daß große Unternehmungen, die unmittelbar am Rhein liegen (frühere I.G.) und Importeure auch bei hochwertigen Gütern sich des Schiffstransportes bedient haben, wie z. B. Pharmazeutika, Tee, Tabak, Leder, Kupfer, Wein u. a.

Der Frachtunterschied ist bei diesen Gütern, die ja meist unter Klasse A tarifieren, gegenüber dem Bahntransport besonders groß, da bei dem Schiffstransport für die Fracht nicht der Wert der Ware, sondern die Selbstkosten maßgebend sind.

In jedem Fall wird dem Schiffsführer die Ware beim Einladen entweder vorgewogen oder er muß die Stückzahl quittieren. Alle Schiffslade- und Löschstellen sind mit geeignetem Umschlagsmaterial versehen (Pritschen, Ketten, Tauschlingen, Netzen usw.), das dem jeweiligen Gut angepaßt wird. Ein sorgfältiger Schiffsführer wird die hochwertigen und besonders geruchempfindlichen Güter, wie Tee, Kaffee, Zucker u. a. so verladen, daß sie durch andere im gleichen Raum verladene Güter nicht in Mitleidenschaft gezogen werden. Jeder Laderaum und jede Decklast kann besonders verschlossen werden. Wegen der zollpflichtigen Güter bestehen für den Verschluß ge-

naue Vorschriften seitens der Zollbehörden, deren Durchführung dauernd von diesen kontrolliert wird. In der Binnenschiffahrt liegt meist die gesamte Durchführung der Transporte vom Verlader bis zum Empfänger in der Hand einer Firma, da den großen Reedereien eigene Speditionsunternehmen angegliedert sind. Hierdurch ist für die Warenbesitzer eine weitere Gewähr der sorgfältigen Behandlung geboten. Sollten sich bei der Transportdurchführung wirklich Differenzen ergeben, so hat er es nur mit einem Unternehmer zu tun. In diesem Zusammenhang sei darauf hingewiesen, daß in dem letzten Jahr nicht weniger als 32 Schiffsladungen Liebesgabenpakete im Auftrage der Postverwaltung von Bremen nach Heilbronn durchgeführt wurden, bei denen sich nicht die geringsten Differenzen ergeben haben, so daß die Postverwaltung den Schiffstransport als sicherer bezeichnet hat als den Bahntransport.

III. Verkehr mit Tankschiffen.

Der Verkehr mit Tankschiffen umfaßt den Transport von Flüssigkeiten aller Art. Öle und flüssige Brennstoffe überwiegen bei weitem, während der Transport von Säuren und anderen chemischen Flüssigkeiten (Lauge, Ammoniakwasser usw.) in geringerem Umfange anfällt. Letzterer wird größtenteils mit werkseigenen Tankschiffen besonderer Konstruktion abgewickelt und kann daher bei dieser Betrachtung unberücksichtigt bleiben. Der Transport von Mineralöl und flüssigen Brennstoffen wird zwar in großem Umfange von betriebseigenen Fahrzeugen der Ölgesellschaften durchgeführt, aber vielfach auch den Reedereigesellschaften übertragen, die den Betrieb mit Tankschiffen in zunehmendem Maße aufgenommen und sich in der Erledigung solcher Transportaufgaben spezialisiert haben. Innerhalb der letzten 10—15 Jahre wurde die Binnentankerflotte im In- und Auslande nicht unwesentlich vergrößert. Diese Vergrößerung spiegelt die fortschreitende Motorisierung des Verkehrs und der Technik im allgemeinen wider, woraus sich ein steigender Bedarf an flüssigen Brennstoffen ergibt.

Üblicherweise und im allgemeinen kommen flüssige Brennstoffe in ganzen Schiffsladungen zur Andienung, Mineralöl dagegen vereinzelt auch in Teilladungen. Die technische Einrichtung der Tankschiffahrt ermöglicht jederzeit eine solche Abfertigung.

Die Verkehrsrelationen im Tankverkehr sind verhältnismäßig genau festgelegt und eng umgrenzt. Sie erstrecken sich von den Produktionsstätten im Inland oder den Seehafenlägern und ab Seetanker nach den binnenländischen Großtanklägern. Die Durchführung der einzelnen Transporte findet beschleunigt statt, insbesondere auch das Be- und Entladen der Fahrzeuge. Die Landanlagen sowohl als auch die Tankschiffe selbst sind mit leistungsfähigen Pumpaggregaten verschiedener Konstruktion ausgestattet, die auf dem Schiff immer motorisch und bei den Landanlagen teilweise mit Dampf betrieben werden. Im Durchschnitt beträgt die Stundenleistung der Schiffspumpanlage 100 bis 200 cbm.

Die Frachtsätze im innerdeutschen Tankschiffverkehr werden durch einen paritätischen Frachtenausschuß unter Berücksichtigung der Sonderheiten dieses Verkehrs festgesetzt und durch die Preisbehörde bestätigt. Die Frachtsätze ermöglichen den Verladern eine günstige Preiskalkulation und lassen den Schiffahrtsgesellschaften eine angemessene Rendite, wobei jedoch die fortlaufende Beschäftigung der Tankschiffe Voraussetzung ist. Augenblicklich wird diese im innerdeutschen Raum nicht erfüllt.

Die Kosten für den Bau von Tankschiffen sind erheblich höher als für Güterschiffe. In Deutschland, Belgien, Holland, Frankreich und der Schweiz unterliegt der Bau den internationalen Vorschriften vom 1. 12. 1939.

Besonders eingehend erwähnt sind darin die Sicherheitsvorschriften, die das Bestreben verdeutlichen, jedwede Explosionsgefahr zu beseitigen. Als Merkmal hierfür gelten die sogenannten Kofferdämme, die beim beladenen Schiff mit Wasser gefüllt sein müssen und die die Tankräume gegen die Wohnräume und gegen den Maschinenraum abriegeln. Eine Selbstverständlichkeit ist das strikte Rauchverbot auf Tankschiffen. Ebenso wird den Feuerlöscheinrichtungen auf den Schiffen besondere Aufmerksamkeit gewidmet. Weniger bekannt dürfte sein, daß die Schiffskörper und die Tanks aus Siemens-Martin-Stahl gebaut sein müssen und daß Holz möglichst vermieden werden soll; ebenso daß die Schiffe im Bereich der Tanks sowohl mit einem vom Boden bis zum Deck reichenden wasserdichten Längsschott versehen, als auch doppelt genietet sein müssen.

Die Bauart und maschinelle Einrichtung der Tankschiffe entsprechen im allgemeinen den Güterschiffen und werden bestimmt durch die betrieblichen Bedingungen des jeweils vorgesehenen Einsatzabschnittes.

Zum Schluß sei noch darauf hingewiesen, daß nicht nur der Bau, sondern auch der laufende Betrieb von Tankschiffen der periodischen Kontrolle einer Aufsichtsbehörde, in Deutschland dem Germanischen Lloyd, unterliegen. Im Interesse der Gesamtwirtschaft wird darüber gewacht, daß die betrieblichen Einrichtungen der Tankschiffe stets einwandfrei sind.

IV. Behälterverkehr.

Soweit bekannt, hat bisher in der Binnenschiffahrt erst einmal ein größeres Schiffahrtsunternehmen mit einer ausgedehnten Speditions-Organisation den Behälterverkehr praktisch erprobt. Es war beabsichtigt, Güter, die verhältnismäßig hohe Verpackungsspesen erfordern, mit diesen Behältern von der Anlage des Produzenten oder des Großhändlers unmittelbar dem Konsumenten zuzustellen. Es wurden zu diesem Zweck ca. 120 Kisten von etwa 0,75 cbm Inhalt angefertigt. Um die erhebliche Raumbeanspruchung bei Leertransport zu reduzieren, konnten sie zusammengeklappt werden. Ein Seitenbrett wurde über das Grundbrett und eines unter das Grundbrett geklappt und die drei anderen Bretter wurden lose auf diese Bretter gelegt und das Ganze durch zwei starke Lederriemen gehalten. An den Seiten der Kisten befanden sich vier starke Ösen, um sie mit Kran umschlagen zu können. Die Deckelseite trug eine gedruckte Anweisung, die den Kunden über die Zusammensetzung des Behälters zur Benutzung unterrichtete. In technischer Beziehung schien das Problem ganz gut gelöst, wenn auch noch Vervollkommnungen denkbar sind.

Die Leerkisten sollten der Kundschaft zur Verfügung gestellt werden, um sie im Werk oder an der Halle zu beladen und sie den am Wasser gelegenen Speditionsbetrieben zuzustellen. Obwohl die gesamte in Frage kommende Kundschaft für diese Behältertransporte interessiert wurde, hat sie doch nur sehr zögernd von ihnen Gebrauch gemacht und zwar sowohl aus technischen wie aus finanziellen Gründen. Die gefüllten Kisten waren für viele zum Manipulieren zu schwer. Es mußte sowohl die Anlage des Verladers wie die des Empfängers mit Rampen versehen sein, um die Behälter auf Waggon oder Fuhre stellen zu können. Diese Voraussetzungen trafen bei sehr vielen Kunden nicht zu. In den seltensten Fällen fand sich an der Empfangsstation wieder eine Verwendung für die Kisten, so daß sie im Leerzustand wieder an die Zentrale des Unternehmens oder unmittelbar

an den Verlader mit Bahn oder Schiff zurückgeschickt werden mußten. Hierdurch wurden die Gesamtkosten erheblich belastet. Die Kisten wurden im allgemeinen von den Kunden wenig sorgfältig behandelt, so daß sehr viele Reparaturkosten aufgewandt werden mußten. Der Kunde war nur schwer zu bewegen, diesem „Leergut" die erforderliche Sorgfalt zu widmen und ließ sich mit der Weiterbeförderung der Behälter Zeit.

Die Rentabilität dieses Dienstes hat nicht den Erwartungen entsprochen. Zunächst wurde der Unternehmer wohl von der Kundschaft animiert, einen solchen Behälterverkehr einzuführen, da man erhebliche Verpackungskosten zu sparen erhoffte. Als es aber soweit war, war man enttäuscht über die verhältnismäßig hohen Mehrkosten, die ja durch die nicht geringen Herstellungskosten und den starken Verschleiß sowie die damit verbundenen häufigen Reparaturen und vor allem den Leertransport bedingt waren.

Es entstand weiter außerordentlich viel Verwaltungsarbeit. Es mußte eine besondere Kartothek angelegt werden, in der jeder Transport eingetragen wurde, um die Verwendung und den Aufenthalt jeder Kiste, die numeriert waren, festzuhalten. Immerhin wurde dieser Dienst einige Jahre durchgeführt, da für eine Anzahl Kunden alle Voraussetzungen zutrafen. Aber es stellte sich dann doch heraus, daß das Bedürfnis für solche Behälter allgemein bei der Kundschaft viel kleiner war als angenommen wurde. Die betreffende Firma konnte sich auf Grund der geschäftlichen Ergebnisse nicht entschließen, den Versuch fortzusetzen. Neue Kisten wurden nicht mehr beschafft. Für die Schiffahrt und den Umschlagspediteur brachte dieser Behälterverkehr insofern erhebliche Vorteile, als die Kisten mit Hilfe der Kräne sehr schnell und leicht zu bewegen waren und als der Schiffsraum gut ausgenutzt werden konnte. Die Kisten waren so berechnet, daß mehrere aufeinandergestellt werden konnten. Dasselbe Gut hätte bei Kleinverpackung erheblich längere Lade- und Löschzeiten und mehr Schiffsraum erfordert. Obwohl es sich um eines der größten Speditionsunternehmen mit über 30 Filialen in West- und Mitteldeutschland handelte, reichte die Inanspruchnahme zur vollen Ausnutzung der Kisten nicht aus. Die Wiederholung eines solchen Versuches müßte von einem an allen größeren Plätzen vertretenen Verleihunternehmen in ähnlicher Weise durchgeführt werden, wie dies bei Schiffsdeckkleidern geschieht. Wesentlich ist, daß der Transport des Leergutes so beschränkt wie möglich bleibt. Dann ist es auch nicht erforderlich, die Behälter zusammenzulegen, was natürlich die Herstellungskosten und die Lebensdauer erheblich beeinträchtigt. Wenn der oben beschriebene Versuch auch als gescheitert zu betrachten ist, so soll damit aber keinesfalls gesagt sein, daß sich der Behälterverkehr, wenn er technisch und kaufmännisch auf eine andere Basis gestellt wird, in der Binnenschiffahrt nicht doch mit Erfolg einführen läßt.

Zweiter Teil: Seeschiffahrt

19

Über die Querschnittsausbildung und den Uferschutz von Seewasserstraßen in Abhängigkeit vom Schiffahrtsbetrieb.

Von Otto Wöltinger, Oberregierungsbaurat in Brunsbüttelkoog.

Von den künstlichen und natürlichen Seewasserstraßen Deutschlands werden im wesentlichen der Nord-Ostsee-Kanal und die Unterelbe herangezogen.

I. Der Querschnitt des Nord-Ostsee-Kanals und seine Veränderungen.

Der Nord-Ostsee-Kanal wurde 1895 für eine Wassertiefe von 9 m mit einem Trapezquerschnitt von 22 m Sohlenbreite, 67 m Wasserspiegelbreite und 425 m² Querschnittsfläche fertiggestellt.

Die Erweiterung in den Jahren 1909 bis 1914 ist einseitig durchgeführt worden, teils links — teils rechtsseitig, unter Beibehaltung des Trapezquerschnitts. Der Kanal erhielt dabei eine Wassertiefe von 11 m, eine Sohlenbreite von 44 m und einen Querschnitt von 828 m².

Für die verschiedenen Wasserstände ergeben sich im Normalprofil folgende Werte:

Wasserstand über KN*)	Wassertiefe	Querschnittfläche	Spiegelbreite
+ 19,8 m KN	11 m	828,2 m²	102,5 m
+ 20,1 m KN	11,3 m	859,2 m²	103,6 m
+ 20,4 m KN	11,6 m	890,5 m²	105,2 m

Es wird nach Möglichkeit ein Wasserstand zwischen +19,8 und +20,0 gehalten. Nur bei starkem Zufluß aus dem 1400 qkm großen Einzugsgebiet und behinderter Entwässerung zur Ostsee oder zur Elbe treten zeitweise höhere Wasserstände ein. Eine nennenswerte Strömung ist im Kanal nicht vorhanden.

Der Kanal darf mit Schiffen bis 9,5 m Tiefgang, 40 m Breite und 315 m Länge befahren werden. Schiffe von mehr als 6,1 m Tiefgang (Weichenschiffe) dürfen nur mit Schiffen bis 3,7 m Tiefgang begegnen oder Schiffe bis 3,1 m Tiefgang überholen. Die Fahrgeschwindigkeit darf 15 km/h nicht übersteigen.

Das Kanalprofil ist in Abb. 1 dargestellt. Es hat unter Wasser auf der einen Seite die Böschung von 1895, auf der anderen Seite die Böschung der Erweiterung.

*) KN = Kanal Null liegt 20 m unter NN.

Der Querschnitt ist von 2 m unter dem Wasserspiegel von +20,1 m KN bis 1 m darüber befestigt.

Im Profil von 1895 stützt sich die Uferbefestigung auf eine 2 m breite Berme, im Profil von 1914 ist die Befestigung in die Böschung mittels Auskofferung eingelassen.

In der unbefestigten Querschnittsbegrenzung haben sich bis zum Jahre 1936 folgende Veränderungen ergeben:

a) Die 2 m breite Berme von 1895 ist überall nahezu gänzlich verschwunden.

b) Die darunter anschließende Böschung 1 : 2 von 1895 und die Böschung 1 : 2¼ von 1914 ist an vielen Stellen ausgehöhlt. Der ausgespülte Boden liegt auf der darunter folgenden Böschung 1 : 3 oder ist in die Sohle eingetrieben.

c) Der Knick zwischen Sohle und Böschung ist um 1—3 m aufgelandet.

d) Die Sohle ist durchschnittlich um 0,6 m aufgehöht.

Im Jahre 1937, also nach etwas über 20jährigem Kanalbetrieb, wurde die Sollsohle durch Baggerung in voller Breite wiederhergestellt und dabei im Durchschnitt je lfdm Kanal 26 m³ Boden gebaggert und 33,5 RM aufgewendet.

Das befestigte Ufer hat in seinen unter Wasser liegenden Teilen dagegen keinerlei Veränderungen erfahren.

Auch in den Weichen, welche teils 134 m teils 164 m Sohlenbreite und 157 m bis 175 m Wasserspiegelbreite haben, sind geringfügige Aufhöhungen der Sohle eingetreten.

Weder im Kanalprofil noch in den Weichen sind irgendwelche Auskolkungen auf der Sohle wahrzunehmen.

II. Einwirkung auf die Querschnittsbegrenzung.

Auf die gesamte Querschnittsbegrenzung wirkt der Rückstrom des Wassers, welches vom fahrenden Schiff verdrängt wird und seitlich sowie unter dem Schiffsboden entgegengesetzt zur Fahrtrichtung des Schiffes sich bewegt (vgl. unter III).

In der Wasserwechselzone greifen außerdem Schiffswellen und Eis an (vgl. unter IV).

Nur örtliche Bedeutung haben direkte Angriffe des Schraubenstromes auf die Unterwasserböschung und Schiffsberührungen, die durch schlecht steuernde Schiffe hervorgerufen werden oder beim Festmachen wegen Nebels oder aus anderen Gründen entstehen, ferner Quellen, welche auf der oberen Grenze undurchlässiger Bodenschichten in den Kanal fließen.

III. Berechnung und Beobachtungen des Rückstromes.

Der Rückstrom ist seiner Größe nach abhängig von der Schiffsgeschwindigkeit und der Querschnittsverengung des Kanals durch den größten Schiffsquerschnitt. Infolge der Beschleunigung des zurückströmenden Wassers tritt eine Spiegelabsenkung ein, welche mit dem fahrenden Schiff in gleicher Geschwindigkeit fortschreitet.

1. Bedeutet F den Kanalquerschnitt,

Δh die mittlere Größe der Spiegelsenkung
ΔF die Änderung von F infolge der Spiegelsenkung
f den Hauptspantquerschnitt des Schiffes
V_r die Rückstromgeschwindigkeit
V_s die Schiffsgeschwindigkeit
g die Erdbeschleunigung,

so gelten für den Beharrungszustand folgende Beziehungen:*)

$$\text{I.}\quad V_r = V_s \frac{f + \Delta F}{F - (f + \Delta F)}$$

$$\text{II.}\quad \Delta h = \frac{(V_s + V_r)^2}{2g} - \frac{V_s^2}{2g} = \frac{1}{g}\left(V_s \cdot V_r + \frac{V_r^2}{2}\right)$$

Die Gleichung I kann dahin erläutert werden, daß bei stillstehendem Schiff, aber Fortbewegung des Kanals und seiner Ufer mit der Geschwindigkeit V_s die Wassermenge $F \cdot V_s$ durch den verminderten Querschnitt $F - (f + \Delta F)$ mit der Geschwindigkeit $(V_s + V_r)$ strömen muß.

In der Gleichung II ist die Druckhöhe ermittelt, die zur Erzeugung der Wasserbeschleunigung im verminderten Querschnitt notwendig ist.

2. Am Nord-Ostsee-Kanal sind verschiedentlich Messungen der Absenkung vorgenommen worden. Einige Ergebnisse sind in nachstehender Tabelle 1, geordnet nach Schiffsgeschwindigkeit V_s, zusammengestellt. Der Schiffsquerschnitt ist aus Breite und Tiefgang vermindert um 5 v. H. ermittelt. (Bei vielen Schiffen beträgt der Völligkeitsgrad des Hauptspantes bis zu 0,98.)

Tabelle 1.

Lfd. Nr.	Name des Schiffes	F_{Kanal} m²	f_{Schiff} m²	F/f	t_{Schiff} m	b_{Schiff} m	V_s km/st.	Schiff m/sec.	Absenkung gemessen	V_r Rückstrom errechnet
1	Amerika	884	142	6,2	8,0	17,78	12,8	3,56	51 cm	1,2 m/sec.
2	Porto Allegro	884	138	6,4	7,4	18,67	13,1	3,65	58 „	1,4 „
3	K. Fisser	884	131	6,7	7,7	17,13	13,6	3,80	62 „	1,4 „
4	Afrika	884	136	6,4	8,3	16,45	14,4	4,00	42 „	0,9 „
5	Oceana	871	126	6,9	7,4	17,06	15,6	4,33	58 „	1,2 „
6	Hödur	860	125	6,8	7,5	16,69	16,4	4,56	50 „	0,9 „
7	Wida	864	133	6,5	7,4	17,98	17,1	4,75	67 „	1,2 „

Die Absenkung ist an einem Lattenpegel gemessen, welcher 6 m Abstand von der Uferlinie hatte. Die Geschwindigkeit des Rückstromes ist alsdann nach Gleichung II berechnet. Die Messungen wurden nur auf einer Kanalseite ausgeführt, so daß außermittiges Fahren der Schiffe größere oder kleinere Absenkungen ergibt, als aus der Gleichung I in Verbindung mit II errechnet werden müßte.

Die Größe des Rückstromes beträgt 0,9 bis 1,4 m/sec. und überschreitet schon bei diesen Schiffen, welche zahlreich und häufig den Kanal benutzen, zum Teil die zulässige Grenze von etwa 1,0 m/sec. für sandigen Untergrund.

Dagegen sind bei der Durchfahrt eines Schiffes von 36 m Breite und 8,5 m Tiefgang, mit einem Hauptspantquerschnitt von $f \sim 306$ m², unzulässig hohe Rückstromgeschwindigkeiten von 2,2 bis 2,4 m/sec. aus der Absenkung errechnet und auch beobachtet worden.

Bei dem Schiff wurde außerdem die Schiffseinsenkung gemessen, d. i. das tiefere Eintauchen des Schiffes während der Fahrt. Das Schiff fuhr nur mit halber Kraft. Es wurde von 2 Schleppern gezogen, 2 weitere waren am Heck festgemacht, um das Schiff kanalrecht zu halten.

*) Vgl. G. Krey, Fahrt der Schiffe auf beschränktem Wasser, Verlag Karl Marfels A. G., Berlin

Zur Messung der Schiffseinsenkung wurde am Vor- und Achterschiff je eine Latte mit der Teilung angebracht, deren Höhenlage zum unbeeinflußten Wasserspiegel vor Antritt der Fahrt und während der Vorbeifahrt eingemessen wurde.

Die Beobachtungen sind nachstehend zusammengestellt:

Tabelle 2.

Rückstromgeschwindigkeit und Einsenkung eines übergroßen Schiffes.

Beobachtet bei Kanal km	F Kanal m^2	F/f	V_s Schiff km/st.	V_s Schiff m/sec.	Absenkung gemessen	V_r Rückstrom errechn. m/sec.	Einsenkung gemessen
a) 14,0	958,5	3,13	9,6	2,67	68 cm	1,9	—
b) 14,0	975	3,18	10,8	2,85	100 „	2,4	87 cm
c) 42,7	875	2,86	9,23	2,57	75/73 „	2,0	—
d) 42,7	898	2,93	10,55	2,94	93/84 „	2,2	95 cm

Der Verlauf der Absenkung des Wasserspiegels ist in Abb. 3 für einige besonders große Schiffe dargestellt. Nr. 5 ist die in Tabelle 2 an 4. Stelle angegebene Durchfahrt. Die letztere Auftragung zeigt die Wasserspiegelsenkung auf beiden Seiten des Kanals, während bei den anderen Schiffen nur einseitig gemessen wurde.

Die Auftragungen lassen erkennen, in welcher Weise sich der Wasserspiegel infolge der Durchfahrt eines Schiffes ändert.

Das Schiff schiebt eine Stauwelle vor sich her, deren Höhe bei den Schiffen der Tab. 1 zu 6 — 8 cm am Ufer gemessen wurde. Die Wirkung dieser Welle machte sich schon auf mehrere hundert Meter vor dem Schiff bemerkbar. Die mit ihr verbundene Strömung ist aber gering.

Etwa mit der Vorbeifahrt des Bugs an der Meßstelle setzt die Absenkungswelle am Ufer ein. Sie wird während ihres Verlaufs von der Bugwelle beeinflußt.

Hinter dem Heck tritt wieder eine Erhöhung des Wasserspiegels über den unbeeinflußten Stand hinaus ein, bei manchen Schiffen erst nach einiger Zeit, je nach Stärke des Schraubenstromes.

In Abb. 3 Nr. 3—5 ist der Einfluß der vorausfahrenden Seeschlepper auf die Stauwelle erkennbar.

3. Für das jetzige Normalprofil des Nord-Ostsee-Kanals sind auf Veranlassung der Kanalverwaltung Modellversuche im Maßstab 1 : 36 durch die Hamburgische Schiffbau-Versuchsanstalt durchgeführt worden, welche darüber Aufschluß geben sollten, ob die Betriebsleistung des Kanals verbessert werden könne durch Erhöhung der zugelassenen Höchstgeschwindigkeit oder durch Erweiterung der Grenzen für Begegnen und Überholen. Diese Versuche sind beachtlich für die Beantwortung der Frage, ob ein Kanalquerschnitt zwecks Steigerung der Betriebsleistung vergrößert oder statt dessen die ganze Querschnittsbegrenzung befestigt werden sollte.

Die Versuche wurden mit verschiedenen Modellschiffen durchgeführt, deren größtes mit nachstehend genannten Abmessungen (natürl. Größe) dem häufigen großen Kanalschiff (Weichendampfer) entspricht (vgl. auch Tabelle 1). Darunter sind die Abmessungen eines Libertyschiffes angegeben.

Tabelle 3.

Schiffsabmessungen

	Länge m	Breite m	Tiefgang m	Schiffsverdrängung t	BRT
Kanalschiff	143,0	18,4	6,1 b. 9,0	13—19 000	8960
Libertyschiff	126,7	17,35	8,46	14 245	7200

Die Modellschiffe hatten einen Völligkeitsgrad (Schärfegrad der Wasserlinie) von 0,80. Sie wurden als Einschrauber (links- und rechtsdrehend) und als Zweischrauber gefahren.

Gemessen wurden die auf das Schiff bei verschiedenen Lagen zur Kanalmitte einwirkenden Seitenkräfte und die Schiffseinsenkungen (Parallele Tiefentauchung von Mitte Schiff) sowie für extreme Fälle die Absenkung des Wasserspiegels am Ufer.

In Abb. 4 sind die Einsenkungen des Schiffes bei verschiedenen Lagen außer Kanalmitte und für verschiedene Tiefgänge und Fahrgeschwindigkeiten dargestellt. Die Schiffseinsenkung nimmt proportional mit dem Tiefgang zu und vergrößert sich mit steigender Geschwindigkeit. Bei Tiefgang von 8 m an und Geschwindigkeit von über 15 km/h entsteht eine merkliche Steuerlastigkeit.

Die Wasserspiegelabsenkung am Ufer betrug bei 15 km/h Schiffsgeschwindigkeit

50 cm für 6,1 m Tiefgang, Fahrt in Kanalmitte
100 cm „ 7,5 m „ „ „ „
120 cm „ 7,5 m „ „ 15,6 m außerhalb Kanalmitte.

Diese Absenkungen sind zwar größer, als nach den Messungen in Tab. 1 zu erwarten sind, sie lassen aber die Wirkung der Schiffahrt außerhalb Kanalmitte klar erkennen.

Bei der Fahrt außerhalb Kanalmitte wird das Schiff zum näheren Kanalufer hin angezogen, weil die Wasserspiegelabsenkung infolge der größeren Rückstromgeschwindigkeit in dem engeren Querschnitt größer ist als auf der anderen Seite des Schiffes. Wie die Versuche zeigten, ist aber die auf das Vorschiff wirkende Seitenkraft infolge des Einflusses der Bugwelle geringer als die auf das Hinterschiff wirkende. Es tritt daher ein Drehmoment ein, welches das Vorschiff vom näheren Ufer abdreht. Bei höherer Geschwindigkeit wird die abdrängende Seitenkraft am Vorschiff größer als die ansaugende am Hinterschiff, es tritt daher ein Wechsel in der Richtung der Gesamtseitenkraft ein, während das absetzende Drehmoment noch verstärkt wird. Eine weitere Steigerung der Geschwindigkeit bewirkt dann das Auslösen eines Stauwirbels am Hinterschiff. Hierdurch wird dieses nun auch von der Böschung abgedrängt, und das Drehmoment vermindert sich.

Bis zu einer Geschwindigkeit von 15 km/h zeigten die Modellversuche für alle Tiefgänge von 6,1 bis 9,0 m keine wesentlichen Steigerungen der Seitenkräfte und Drehmomente (vgl. Abb. 5).

Bei 16,5 km/h für den Tiefgang von 9,0 und bei 17 km/h für den Tiefgang von 8,0 m ändert sich die Richtung der Seitenkräfte. Das Schiff wird mit vielfacher Stärke der bis dahin gemessenen Kräfte von dem näheren Kanalufer abgedrängt.

Diese Seiten- und Drehbewegung des Schiffes wird durch die Art des Antriebes beeinflußt.

Für den rechts- und linksdrehenden Einschrauber und für den Doppelschrauber treten bezüglich der Stärke und Richtung der Seitenkräfte keine wesentlichen Unterschiede auf. Das Schiff mit rechtsdrehender Schraube wird aber am stärksten angesaugt und hat den spätesten Umkehrpunkt der Seitenkraft.

Wesentlich sind jedoch die Unterschiede im Drehmoment. Im Vergleich zu dem Modellschiff ohne Schraube beginnt für den Zweischrauber und den rechtsdrehenden Einschrauber eine merkliche Vergrößerung des den Bug abdrängenden Drehmoments bei einer Schiffsgeschwindigkeit von 13 km/h, bei dem linksdrehenden Einschrauber noch etwas früher. Bei diesem wird ein erheblich höheres Drehmoment erzeugt als bei den beiden anderen.

Bei etwa 17 km/h bildet sich am Hinterschiff ein Stau, der das zurückströmende Wasser nicht abströmen läßt und so das Hinterschiff von dem näheren Ufer abdrückt. Der Drehsinn des Moments kehrt sich sehr plötzlich und hart um und nimmt eine erhebliche Größe an.

Aus den Versuchen ist zu folgern, daß ein Schiff von 7,5 m Tiefgang mit rechtsdrehender Schraube bis 15 km/h noch gerade in einer Lage 12,6 m aus Mitte Kanal nach Steuerbord gefahren werden kann, während das Schiff mit linksdrehender Schraube in dieser Lage nicht zu halten ist.

Insgesamt haben die Versuche ergeben, daß unter gewissen Voraussetzungen die Grenzen für die Schiffsgeschwindigkeit und auch die Grenzen für die Tiefgänge bei Begegnen und Überholen um ein geringes Maß erweitert werden können. Praktische Folgerungen konnten jedoch daraus nicht gezogen werden, weil die Voraussetzungen nicht immer mit genügender Sicherheit erfüllt werden können.

Wesentlich anders verhalten sich die Schiffe bei Begegnungen und Überholen innerhalb des Weichengebietes. Nach dem Ergebnis von Modellversuchen können in einer Weiche von 156 m Wasserspiegelbreite und 88 m Sohlenbreite Weichendampfer mit den in Tab. 3 genannten Abmessungen ohne jede Gefahr begegnen und überholen. Im Vergleich zur Fahrt durch die Weiche treten bei der Vorbeifahrt innerhalb des Normalprofils 5- bis 10mal so große Seitenkräfte und Drehmomente auf, welche durch Ruderlegen in keiner Weise beherrscht werden können.

4. Weitere Modellversuche der Verwaltung bei der gleichen Versuchsanstalt betrafen eine Vergrößerung des Querschnitts und ihren Einfluß auf die Schiffseinsenkung, die Wasserspiegelabsenkung und die Rückstromgeschwindigkeit.

Die 3 untersuchten Profile sind in Abb. 6 mit den Maßen für die 25fache Vergrößerung der Modellabmessungen dargestellt; das jetzige Normalprofil des Kanals ist zum Vergleich eingetragen.

Die wesentlichen Merkmale der verschiedenen Profile und die Verhältnisse zum Kanalschiff (s. Tabelle 3) sind folgende:

Tabelle 4.

Profil	Breite B m	Tiefe T m	B : T	Querschnitt F_{m^2}	F : U	B : b	T : t	F : f
Normalprofil	103,6	11,3	9,2	859	8,1	5,6	1,26	5,46
Profil I	147	12,4	11,9	1258	8,7	8,0	1,38	8,0
„ II	156	12,6	12,4	1400	9,1	8,4	1,40	8,93
„ III	162	12,8	12,7	1514	9,2	8,8	1,42	9,65

Die Vergrößerung der Querschnittsfläche ist demnach durch Verbreiterung geschehen, ohne allerdings auf die Grenze des Wasserbreiteneinflusses bei F : f = 13*) zu kommen.

Demgegenüber ist die Vertiefung nur gering und bleibt weiterhin erheblich unterhalb der Grenze des Wassertiefeneinflusses von praktisch T : t = 3**). Obwohl der Querschnitt Muldenform hat, kann der Einfluß der Querschnittsform daher nicht nachgewiesen werden.

Die beiden Modellschiffe wurden mit 2 verschiedenen Geschwindigkeiten und 2 verschiedenen Tiefgängen gefahren und dabei die Tiefertauchung der Modelle während der Fahrt in den 3 verschiedenen Querschnitten gemessen.

Die Abmessungen der beiden Schiffe und ihre Fahrgeschwindigkeit, übertragen auf 25fache Vergrößerung, sind nachstehend in Tabelle 5 angegeben:

Tabelle 5.

Schiffsabmessungen und Geschwindigkeiten.

Schiff	Schiffsabmessungen t m	b m	f m²	Geschwindigkeit
A	10,47	35	366	3,125 m/s = 11,25 km/h
B	9,21	35	322	2,60 m/s = 9,36 km/h

Die Einsenkung des Schiffes, die Absenkung des Wasserspiegels in verschiedenen Abständen von der Kanalachse und die Rückstromgeschwindigkeiten, ebenfalls für den 25fach vergrößerten Querschnitt, sind, getrennt für die große und kleine Geschwindigkeit, in der folgenden Tabelle 6 zusammengestellt, die Zahlen für die kleine Geschwindigkeit erscheinen in Klammern ( ).

Tabelle 6.

Einsenkung, Absenkung und Rückstromgeschwindigkeit.

V_s groß = 3,125 m/sec. = 11,25 km/h : V_s klein = 2,60 m/sec. = 9,36 km/h

Profil	Tiefgang m	Einsenkung d. Schiffes cm	Absenkung in . . . m Abstand von der Kanalachse in cm				Rückstromgeschwindigkeit in m/sec.	
			20,75 m cm	38,6 m cm	53,75 m cm	Ufer cm	Kanalmitte	bei 20,75 m v. d. Achse
I	9,21	63 (41)	86 (53)	81 (49)	77 (44)	—	2,15 (1,62)	1,47 (1,02)
II	9,21	48 (27)	67 (37)	60 (33)	56 (30)	—	2,03 (1,38)	1,19 (0,86)
	10,47	54 (33)	72 (41)	66 (37)	61 (35)	—	2,15 (1,74)	1,78 (1,09)
III	9,21	40 (27)	51 (36)	46 (31)	43 (29)	40 (26)	1,12 (0,83)	0,94 (0,65)
	10,47	47 (28)	62 (38)	53 (33)	49 (30)	47 (28)	1,31 (1,07)	1,06 (0,77)

Die Einsenkungen des Schiffes sind in Abb. 7 für die verschiedenen Querschnittsverhältnisse F : f aufgetragen nud durch Kurven verbunden.

Bei jeder der beiden Fahrgeschwindigkeiten ist in jedem Querschnittsverhältnis die Einsenkung für den großen Tiefgang etwas geringer als für den kleinen Tiefgang.

*) Vgl. K. Helm, Einfluß von Kanalstrecken auf die Wirtschaftlichkeit im Seeverkehr, Schiff u. Werft 1943 Heft 9/10.

**) Untersuchung der H amb. Schiffbauversuchsanstalt.

Für das vorliegende Schiff würde eine weitere Vergrößerung des Querschnitts über Profil III hinaus keinen Vorteil mehr bringen. Je nach der zuzulassenden Schiffsgeschwindigkeit würde der ausreichende Querschnitt zwischen den Profilen III und II liegen, er würde also mindestens eine Wasserspiegelbreite zu erhalten haben, wie sie unter 3. am Schluß für die untersuchte kleine Weiche angegeben ist.

Die Wasserspiegelabsenkung in der Hauptspantebene ist für die einzelnen Abstände von der Kanalachse verschieden groß. In Abb. 8 sind die Zahlen der Tabelle 6 anschaulich gemacht.

Die Rückstromgeschwindigkeiten wurden im Modellquerschnitt durch Staurohre auf der Sohle gemessen.

5. Um die 4 Profile der Tabelle 4 hinsichtlich ihrer Leistungsfähigkeit vergleichen zu können, sind in der Abb. 9 a—d für die Schiffsquerschnitte von 200, 322 und 366 m² die Werte $f + \Delta F$ in v. H. von F für die Wasserspiegelabsenkungen von je 0,2 m in das Kurvenblatt von Krey (s. a. a. O) eingetragen. Außerdem ist noch im Normalprofil der Querschnitt 166 m² des Kanalschiffes angegeben.

Für das Schiff von 366 m² Querschnitt ist z. B. im Profil III mit B = 162 m, F = 1515 m² und Böschung 1 : 3

bei $h = 0{,}2$ m : $f + \Delta F = 366 + 162 \cdot 0{,}2 - 3 \cdot 0{,}2^2 = 398{,}3$ m² und
$(f + \Delta F) : F = 0{,}263$

bei $h = 0{,}4$ m ist entsprechend $(f + \Delta F) : F = 0{,}285$ usw.

bei $h = o$ ist $F = O$ und $f : F = 0{,}242$.

Die einzelnen Punkte liegen auf einer nahezu geraden Linie, weil im Verhältnis zur großen Wasserspiegelbreite die Verminderung von $B \cdot \Delta h$ durch den Wert $3 \Delta h^2$ bzw. $2{,}25 \Delta h^2$ wenig Bedeutung hat. Es können nun für jeden Schiffsquerschnitt für Schiffsgeschwindigkeiten bis 20 km/h die mittleren Absenkungen des Wasserspiegels abgelesen werden.

Jedes der beiden Versuchsschiffe der Tab. 5 ist auf diesen Linien in den Profilen I—III durch Punkt 1—4 je nach der Schiffsgeschwindigkeit kenntlich gemacht. Es bedeutet

Punkt 1: großer Tiefgang und große Geschwindigkeit
Punkt 2: großer Tiefgang und kleine Geschwindigkeit
Punkt 3 und 4 entsprechend für den kleinen Tiefgang

Nach Abb. 9 d) soll das Schiff von 10,47 m Tiefgang, also 366 m² Querschnitt, im Profil III bei 11,25 km/h Geschwindigkeit (Punkt 1) rechnungsmäßig eine mittlere Wasserspiegelabsenkung von 48 cm haben. Nach Tab. 6 ist das Schiff um 47 cm weggesackt; die Wasserspiegelabsenkungen betragen an den verschiedenen Stellen des Querschnitts 62 cm, 53 cm und 49 cm, am Ufer ebenfalls 47 cm. Für die Punkte 2—4 im Profil III ergibt sich, daß die rechnungsmäßige mittlere Absenkung annähernd der Einsenkung des Schiffes und der Wasserspiegelabsenkung am Ufer entspricht. Die Zahlen sind:

2.	berechnet	29,	gemessene	Einsenkung	28,	Absenkung	am Ufer	28
3.	„	38,	„	„	40,	„	„ „	40
4.	„	23,	„	„	27,	„	„ „	26

Auch für die Profile I und II ergibt sich eine ähnliche Übereinstimmung mit der Einsenkung des Schiffes.

Um auch die mittlere Rückstromgeschwindigkeit aus dem Kurvenblatt Abb. 9 a — d ablesen zu können, muß der Wert $f + \Delta F$ auf den Rückstromquerschnitt $F - (f + \Delta F)$ bezogen werden.

Nach Gleichung I ist $V_r = V_s \frac{f + \Delta F}{F - (f + \Delta F)}$

$$V_r \cdot F - V_r \cdot (f + \Delta F) = V_s (f + \Delta F)$$

$$V_r (1 - \frac{f + \Delta F}{F}) = V_s \frac{f + \Delta F}{F}.$$

Hiernach sind in den Kurvenblättern gestrichelte Linien gezogen, welche es ermöglichen, für jedes Schiff für jede berechnete Absenkung die mittlere Rückstromgeschwindigkeit in v. H. der Schiffsgeschwindigkeit abzulesen.

(Das Diagramm im Jochow-Förster, Hilfsbuch für den Schiffbau, Verlag Jul. Springer, 1920 S. 330, ist auf den Rückstromquerschnitt bezogen und gestattet, bis zur Schiffsgeschwindigkeit von 3,40 m/sec. die $V_r : V_s$ unmittelbar abzulesen.)

Für die Punkte 1—4 im Profil III ergibt sich folgende Rückstromgeschwindigkeit in m/s.

Punkt	Ablesung aus Abb. 9 d	nach Tabelle 6	i. Mittel n. Tab. 6
1	41,3 % v. 3,125 = 1,29	1,31; 1,06	1,18
2	37,3 % v. 2,60 = 0,97	1,07; 0,77	0,92
3	34 % v. 3,125 = 1,06	1,12; 0,94	1,03
4	31,4 % v. 2,60 = 0,82	0,83; 0,65	0,74

Im Profil II betragen die Rückstromgeschwindigkeiten

Punkt	Ablesung aus Abb. 9 c	nach Tabelle 6	i. Mittel
1	48,0 % v. 3,125 = 1,50	2,15; 1,78	1,96
2	42,7 % v. 2,60 = 1,11	1,74; 1,09	1,44
3	39,0 % v. 3,125 = 1,22	2,03; 1,19	1,61
4	35,3 % v. 2,60 = 0,92	1,38; 0,86	1,12

Desgl. im Profil I

Punkt	Ablesung aus Abb. 9 b	nach Tabelle 6	i. Mittel
3	47 % v. 3,125 = 1,46	2,15; 1,47	1,81
4	41,8 % v. 2,60 = 1,08	1,62; 1,02	1,32

Für das Querschnittsverhältnis $F : f \sim 5$ liegen demnach die gerechneten mittleren Rückstromgeschwindigkeiten um ein geringes unter den gemessenen, während die gemessenen maximalen V_r nur wenig höher liegen.

Bei den kleineren Querschnittsverhältnissen liegen dagegen sowohl die gemessenen als auch die maximalen Rückstromgeschwindigkeiten erheblich höher als die gerechneten.

In Abb. 9 a, Normalprofil des Nord-Ostsee-Kanals, sind die Beobachtungen der Tabelle 2 für das übergroße Schiff auf der —·— Linie für ein mittleres $F = 920$ m² und dazugehörige Wasserspiegelbreite $B = 107$ m eingetragen.

Der Vergleich zwischen Rechnung und Messung ergibt:

Beobachtung	berechnete mittl. Absenkung des Wasserspiegels	beobachtete Einsenkung des Schiffes	gemessene Absenkung 6 m vom Ufer
a	0,65 m	—	0,68 m
b	1,03	0,87 m	1,00
c	0,68	—	0,75
d	0,93	0,95	0,93/0,84

Hier entsprechen die gerechneten mittleren Absenkungen des Wasserspiegels annähernd den beobachteten, während die Einsenkung des Schiffes etwas darunter und darüber liegen.

In allen 4 Profilen ist ferner ein Schiff mit f = 200 m² dargestellt, wie es einem modernen Tanker mit einer Breite von 20—22 m und einem Tiefgang von 9,0—9,5 m entspricht. Dazu ist in Abb. 9 a strichpunktiert ein Kanalquerschnitt eingetragen, der durch Vertiefung des Normalprofils um 3 m hergestellt werden könnte, vgl. Abb. 10.

Dieser Querschnitt hätte folgende Merkmale (vgl. Tab. 4), ebenfalls auf das Kanalschiff der Tabelle 3 bezogen.

Tabelle 7.

Merkmale des vertieften Normalprofils N. O. Kanal

	Breite B m	Tiefe T m	B : T	Querschnitt F m²	F : U	B : b	T : t	F : f
Normalprofil N. O. Kanal vertieft	103,6	14,3	7,25	859 + 87 = 946	8,8	5,6	1,59	5,7

Das Schiff von 200 m² Hauptspantfläche würde in den 5 Profilen bei den Geschwindigkeiten von 14, 15 und 16 km/h folgende Absenkungen Δ h u. Rückstromgeschwindigkeiten V_r rechnungsmäßig aufweisen:

Geschwindigkeit	V_s = 14 km/h (3,88 m/s)		V_s = 15 km/h (4,16 m/s)		V_s = 16 km/h (4,44 m/s)	
Profil	Δ h m	V_r % m/s	Δ h cm	V_r % m/s	Δ h cm	V_r % m/s
N O normal	1,13	57,8 = 3,10	—	—	—	—
N O vertieft	0,74	41,3 = 1,61	100	46,9 = 1,95	—	—
I	0,47	27,4 = 1,06	59	29,8 = 1,24	77	33 = 1,47
II	0,39	22,7 = 0,88	47	23,8 = 0,99	59	26,4 = 1,17
III	0,34	20,0 = 0,78	41	21,0 = 0,87	51	22,8 = 1,03

Das Normalprofil könnte von diesem Schiff mit 14 km/h nicht mehr befahren werden. Noch bei 11 km/h würde ein Rückstrom von 40 v. H. der Schiffsgeschwindigkeit = 1,22 m/s entstehen.

Im vertieften Kanalprofil würde bei 14 km/h die zulässige Rückstromgeschwindigkeit von 1,0 m/s um 61 v. H. überschritten werden. Bei V_s = 15 km/h würde V_r 1,95 m/s betragen, während im Profil II bei dieser Fahrgeschwindigkeit der mittlere Rückstrom nur rund 1,0 m/s ausmachen würde.

Im Profil III würde noch bei 16 m/h die Rückstromgeschwindigkeit in den zulässigen Grenzen bleiben.

Ein wirtschaftlicher Vergleich zwischen einem festen Schutz der Querschnittsbegrenzung und einer Vergrößerung des Querschnitts würde in wassertechnischer Hinsicht zwischen dem Profil NO-Kanal vertieft und dem Profil II zu ziehen sein.

In maschinentechnischer Hinsicht wäre zu prüfen, ob eine solche Änderung einen nicht vertretbaren Mehraufwand an Energie während der Kanalfahrt zur Folge hätte. Nach Jochow-Förster, 4. Auflage, S. 333 ist der

Reibungswiderstand $W_r = \gamma \cdot F (V_s + V_r)^{1,825} \lambda_s$

der Gefällewiderstand $Wg = \gamma \cdot 1000 (Q_f + Q_s) \cdot J$;

darin bedeuten: γ das spezifische Gewicht des Kanalwassers
F die benetzte Oberfläche des Schiffes in m²
λs den Reibungswiderstand des Schiffes je m² bei $V_s = 1$ m/s
Q_f das Produkt aus Schiffsquerschnitt und Schiffslänge
Q_s das Produkt aus Absenkungsquerschnitt und Schiffslänge
J das Oberflächengefälle infolge der Wasserspiegelabsenkung je lfdm Schiff.

Der Reibungswiderstand vermehrt sich im Faktor $(V_s + V_r)$ von $(4{,}16 + 0{,}99)^{1,825}$ auf $(4{,}16 + 1{,}95)^{1,825}$, also im Verhältnis 19,9 zu 27,2 oder um rund 37 v. H.

Der Gefällewiderstand vermehrt sich entsprechend der Änderung des Absenkungsquerschnitts und des Gefälles J aus $V_r = c \sqrt{RJ}$.

Im Profil II ist $Q_s = 156 \cdot 0{,}47$ und

$$J = \frac{0{,}99^2}{c^2 (F : U)} = \frac{0{,}99^2}{c^2 \cdot 9{,}1}$$

Im vertieften N.-O.-Kanal ist $Q_s = 103{,}6 \cdot 1{,}00$ und

$$J = \frac{1{,}95^2}{c^2 (F : U)} = \frac{1{,}95^2}{c^2 \cdot 8{,}8}$$

Setzt man für den Überschlag den Koeffizienten c in beiden Profilen als gleichbleibend an, so ändert sich $(Q_f + Q_s)$ unter Weglassung der Schiffslänge L von $(200 + 156 \cdot 0{,}47) - \frac{0{,}99^2}{9{,}1}$ auf $(200 + 103{,}6 \cdot 1{,}0) \frac{1{,}95^2}{8{,}8}$ oder von 19,8 auf 130, also um das 4,6fache.

Für eine Schiffslänge von 150 m errechnen sich der Schiffswiderstand und die aufzuwendenden Leistungen in PS zu:

$W_r = 12\,150$ kg (Profil II) — 16 600 kg (Profil N.-O.-Kanal)

Leistung	835 PS	—	1350 PS für $(V_s + V_r) =$	5,15 m/s 6,11 m/s
$W_g =$	1 220 kg	—	5 400 kg	
Leistung	16,1 PS		140 PS	
Zus. Leistung	851 PS	u.	1490 PS	

Das fragliche Schiff würde etwa 5000 PS Maschinenleistung haben, davon würden im Profil II 17 v. H., im Profil N.-O.-Kanal vertieft rund 30 v. H. in Anspruch genommen werden. Eine solche Vermehrung ist noch nicht zu beanstanden.

Die Änderung des Formwiderstandes ist unerheblich, weil dieser bei Seeschiffen erst Unterschiede ergibt für höhere Fahrgeschwindigkeiten, als auf Seekanälen zulässig sind.

In betrieblicher Hinsicht darf jedoch nicht übersehen werden, daß im Profil II ein zweischiffiger Betrieb möglich sein wird, so daß Dampfer von der Größe des „Kanalschiffes" einander begegnen können, wie die Versuche mit

dem Schiffahrtsbetrieb in der Weiche von 156 m Wasserspiegelbreite gezeigt haben (vgl. unter III 3). Dagegen bleibt der Betrieb im vertieften Normalprofil weiterhin einschiffig, aber mit Zulässigkeit größerer Fahrgeschwindigkeit.

Der wirtschaftliche Vergleich ist im letzten Abschnitt durchgeführt.

IV. Sog und Druck aus Rückstrom und Schiffswellen.

Obwohl der Rückstrom keine Welle ist sondern eine Strömung, erscheint er am Ufer in der Gestalt einer Welle, der Absenkungswelle, welche mit der Schiffsgeschwindigkeit fortschreitet. Die Wirkung der Absenkungswelle ist der Sog. Er stellt die stärkste der angreifenden Kräfte dar. Infolge des Sogs (negativer Druck) fließt das Wasser aus der Böschung und ihrer Befestigung heraus und reißt dabei die feinen Teile der Befestigung und des Untergrundes mit, wenn sie nicht durch umgekehrt filterförmigen Aufbau der Deckung oder durch andere geeignete Bauart zurückgehalten werden. Die Absenkungswelle und der Rückstrom rütteln an den Steinen und reißen lose Steine heraus. Die Absenkungswelle wird bei Abnahme der Wassertiefe am Ufer auf rauher Böschung zum Brecher.

Die Zone des Sogs reicht im wesentlichen von 50 cm über bis 70 cm unter dem Wasserspiegel, weiter nach unten hin in der Stärke abnehmend.

Quellen verstärken die Wirkung des Sogs.

Die Bug- und Heckwellen der Dampfer wirken als Druck und Sog. Der Einfluß der Windwellen ist gering. Besonders kräftige Wellen liefern kleine Schiffe mit starker Maschinenkraft, wie Schnellboote, Schleppdampfer u. ä., deren Schraube nahe der Wasseroberfläche liegt.

Der Angriff des Wellenstoßes ist am stärksten in der Linie des Wasserspiegels. Die Wirkung erstreckt sich nach oben um so höher, in der Stärke aber abnehmend, je glatter die Böschung ist (auflaufende Wellen). Unterhalb der Wasserspiegellinie nimmt die Wirkung des Wellenschlages schnell ab. Die Zone des Wellenschlags kann ungefähr von — 50 cm bis + 50 cm der Wasserspiegellinie angesetzt werden.

Je flacher und rauher die Böschung, desto stärker ist die Neigung der Welle, zu branden. Je flacher und glatter die Böschung, desto höher läuft die Welle auf und gefährdet den oberen Teil der Böschung durch Hinterspülung. Je steiler und glatter die Böschung, desto geringer der Wellenangriff.

Von der Oberflächenbeschaffenheit hängt die Schluckfähigkeit der Deckung ab, also die Fähigkeit der Deckung, die Welle durch Aufsaugen zu vernichten. Basaltpflaster und Steinpackung haben eine große Schluckfähigkeit, Granitpflaster je nach Ausführungsart eine weniger große bis sehr geringe, Klinkerpflaster oder Bitumendecken haben überhaupt keine Schluckfähigkeit.

Eis wirkt am stärksten in der Wasserspiegellinie. Die Einwirkung kann von zweierlei Art sein: Die Eisschollen werden durch den Rückstrom am Ufer entlang geschoben und wirken hobelnd; oder aber die Eisschollen sind am Ufer festgefroren, die Scholle wird dann infolge der Wasserspiegeländerung durch die Absenkungs-, Bug- und Heckwellen aus dem Ufer herausgebrochen. Die Zone der Eiswirkung reicht etwa von — 30 cm bis + 30 cm der Wasserspiegellinie.

Die verschiedenen Arten der Angriffe und die Zonen ihrer Wirksamkeit sind in Abb. 11 versuchsweise dargestellt. Da der Wasserspiegel um etwa ± 20 cm um die mittlere Lage schwankt, sind die Zonen von den Grenzen der Schwankungsbreite ab aufgetragen. Wenngleich es nicht möglich ist, die angreifenden Kräfte nach Stärke und Häufigkeit ihrer Einwirkung maß-

stäblich darzustellen, so gibt die Übersicht doch einen ungefähren Anhalt. Dem Verständnis für die Anforderung an das Deckwerk ist es förderlich, wie in der Übersicht geschehen, 3 Zonen zu unterscheiden:

Die Überwasserzone, die Wasserwechselzone und die Unterwasserzone.

V. Uferbefestigungen.

1. Die Ufer des Nord-Ostsee-Kanals sind vorwiegend durch Steinpackungen (25 cm dick) auf Unterbettung von Grand (15—25 cm dick) befestigt. Das Deckwerk ist in Abb. 12 dargestellt. Es hat eine Böschungsneigung von 1 : 2¼ und ist in den Untergrund eingelassen. Die Packsteine haben eine Kantenlänge von 10 bis 25 cm und bestehen hauptsächlich aus Granit. Der Grand hat eine Korngröße von 6 bis 8 mm.

Etwa 20 v. H. der Uferbefestigung bestehen aus Pflaster und zwar Basalt-, Granit- und Klinkerpflaster auf einer Unterbettung aus Grand. Die Unterwasserzone der Pflasterstrecken ist vielfach aus Beton hergestellt. Das Pflaster hat eine Böschungsneigung von 1 : 1,5 und stützt sich auf eine etwa 2 m breite Berme.

Beide Arten von Uferbefestigung sind in trockener Baugrube hergestellt worden und konnten daher sorgfältig ausgeführt werden. Nur an wenigen Strecken war eine Schüttung unter Wasser herzustellen.

Mit den genannten Uferbefestigungen sind in den 30 bzw. 50 Jahren ihres Bestehens folgende Erfahrungen gemacht worden.

a) In der Unterwasserzone hat sich die Befestigung durchweg gut gehalten.

Die zweckmäßigste Tiefe der Befestigung ist theoretisch nicht bestimmbar. Die gewählte Tiefe von 2 m unter dem mittleren Wasserstand hat sich als richtig erwiesen.

b) In der Wasserwechselzone ist die Haltbarkeit der Steinpackungen sehr verschieden. Während sich gut gepackte Decken 10 Jahre und länger ohne jede Nachbesserung gehalten haben, sind Decken mit schlechtgepackten oder zu kleinen Steinen schon nach wenigen Jahren beschädigt oder zerstört worden. Die Böschungsneigung von 1 : 2¼ ist zu steil, die Packung hat im Durchschnitt mehr die Eigenschaften einer Schüttung als die eines Pflasters, für Schüttung ist aber eine Neigung von 1 : 3 notwendig.

Die Zerstörung beginnt mit einer Versackung der Steine in Höhe des mittleren Wasserspiegels. Die darüber liegenden Böschungsteile werden alsdann steiler, verlieren ihren Halt und stürzen nach. Die herabgerollten Steine verstärken zwar die Unterwasserböschung, sin aber für die Unterhaltung zum großen Teil verloren. Sie liegen bis zu 5 m Wassertiefe.

Die Pflasterstrecken erfahren in der Wasserwechselzone zwar auch Veränderungen im Gefüge der Steine, diese bleiben aber im Verband und bieten weiterhin vollen Schutz.

Trotz der besseren Haltbarkeit der Pflasterung wird doch vielfach der Steinpackung der Vorzug gegeben. Dafür sprechen folgende Umstände: Die Belastung des Untergrundes ist geringer, daher ist die Deckung auch für weniger tragfähigen Untergrund brauchbar; die Anforderungen an das Steinmaterial sind weniger hoch, daher kann der große Bedarf eines Neubaues leichter aus frachtgünstig gelegenen Brüchen gedeckt werden; schließlich können mehr ungelernte und angelernte Leute verwendet werden. Steinschüttungen werden vielfach bevorzugt, weil sie leichter zu unterhalten seien, es sei nur Nachschütten erforderlich. Leider unterbleibt dieses dann allzuhäufig, weil die Geldmittel für andere Unterhaltungsarbeiten benötigt werden.

Nach den Beschaffungs- und Einbaukosten allein betrachtet, ist jedoch das Pflaster nur um einen geringen Betrag teurer, weil je lfdm Uferdeckwerk nur 5,4 m² anstatt 9,5 m² abzudecken sind.

2. Der Böschungsfuß muß um so stärker gesichert werden, je steiler die Uferbefestigung ist. Es hat den Druck der Befestigung aufzunehmen und diese gegen Abrutschen oder Lockerung des Verbandes zu schützen. Gebräuchlich sind folgende Arten der Fußsicherung:

a) Auskofferung, d. i. so tiefe Einlassung der Befestigung in den Untergrund, daß Oberkante der Befestigung mit der anschließenden unbefestigten Böschung bündig liegt. Eine gute Ausführung der Auskofferung ist nur in trockener Baugrube möglich. Die Haltbarkeit dieses Fußes hängt ab von der Härte des Untergrundes und der Tiefe unter Wasserspiegel. Am Nord-Ostsee-Kanal hat sich diese Art der Sicherung des Böschungsfußes bewährt.

b) Pfahlwand aus kiefernen Pfählen von 10—15 cm ⌀ und 1,5 bis 2 m Länge gibt den stärksten Fuß einer Befestigung und ist notwendig bei Pflaster.

Am Nord-Ostsee-Kanal wird die Pfahlwand vielfach nachträglich in Höhe des unteren Wasserspiegels in die vorhandene Uferdeckung aus Steinpackung eingebaut, um darüber ein Pflaster aus Basalt oder Granitsteinen herzustellen. Das Pflaster lehnt sich entweder unmittelbar gegen die Pfähle oder gegen einen hinter der Pfahlwand aufgestellten, etwa 50 cm hohen Böschungskantstein aus Beton.

An der Este und Lühe, Nebenflüssen der Unterelbe, sind sogar Pfähle von 4 bis 6 m Länge mit und ohne Verankerung als Böschungsfuß verwendet worden, weil der weiche Untergrund kürzere Pfahllängen nicht zuließ. Folgerichtig hätte dann aber Pflaster hergestellt werden sollen, weil die steile Böschung 1 : 2 mit Steinschüttung trotz des vorzüglichen Fußes nicht zu halten ist.

c) Buschmatten aus Laub- oder Tannenbusch, welche in zusammengepreßtem Zustand 30 cm oder mehr dick sind. Der Busch wird in eine obere und untere Lage kreuzweise in etwa 1 m Abstand liegender Faschinenwürste verpackt, welche an den Kreuzungspunkten durch senkrecht von unten nach oben gezogenen Draht verschnürt werden. Die Matten werden an Land auf Ablaufbahnen hergestellt, zu Wasser gebracht und an Ort und Stelle durch Steinbewurf versenkt.

Am Nord-Ostsee-Kanal wird die Buschmatte vielfach zur Instandsetzung schwerer Schäden mit Erfolg verwendet. Die Buschmatte paßt sich den Unebenheiten der Böschung gut an, benötigt nur etwa 200 kg Steine je m² und gibt einen unverschieblichen Fuß für die über Wasser hinausgehende Schüttung.

An der Seeschiffahrtstraße Stettin-Swinemünde wurde die ganze 1 : 3 geneigte Unterwasserböschung von MW ab (fast bis 7 m Wassertiefe) mit Sinkstücken von 0,90 m Dicke abgedeckt. Die Sinkstücke hatten eine Länge von 20 m und eine Breite von 22 m. Sie waren notwendig, um den feinen anstehenden Sand gegen den starken Stromangriff zu schützen.

3. Versuche mit anderen Uferdeckungen hatten folgendes Ergebnis:

a) Basaltschotter in 50 cm dicker Lage mit Neigung 1 : 4. Die Deckung hat eine große Rauhigkeit und verhältnismäßig gute Schluckfähigkeit. Sie ist leicht einzubauen und erfordert sehr wenig Unterhaltung.

b) Bitumendecke, ausgeführt als 8 cm dicke Tränkdecke auf einer Unterlage aus 10 cm gestampftem Grobschotter, Neigung 1 : 2. Auf die Unterlage wird heißes Bitumen oder Kaltasphalt (Emulsion) gespritzt, dann

Schotter 40/60 mm aufgebracht und festgestampft, schließlich Splitt 5/10 mm und endlich Splitt 3/8 mm gleichmäßig verteilt, mit Bitumen überspritzt und festgestampft.

Die Decke hat eine feste glatte Oberfläche und keinerlei Schluckfähigkeit, die Wellen laufen demnach hoch auf. Sie ist leicht an Gewicht und nachgiebig.

Die Bitumendecke kann aber nur oberhalb der Wasserwechselzone verwendet werden, weil sie bei ständiger Wasserbenetzung frostempfindlich ist.

c) Biologischer Uferschutz. Angestrebt wird ein dichter Pflanzengürtel von mindestens 1 m Breite aus Gräsern, welche im Brakwasser gedeihen.

Am N.-O.-Kanal sind zahlreiche Strecken der Steinpackungen mit Reth (phragmites communis) bestanden, ohne daß es zu einem geschlossenen Bestand der gewünschten Breite gekommen ist. Größtenteils hat sich das Reth ohne Zutun entwickelt, an einzelnen Stellen haben eingelegte Wurzelstücke oder Rethsoden im Schutz einer Buschabdeckung Fuß gefaßt. Das Reth wächst in den Zwischenräumen der Steindeckung und bietet dem Ufer einen zusätzlichen Schutz.

Am Gieselaukanal, welcher den N.-O.-Kanal mit der Eider verbindet, wurden während der Erbauung (1936) Soden mit Reth und Rohr (Typha) auf die 1 : 4 geneigte Böschung aufgebracht. Sowohl der moorige Untergrund als auch die weniger brakige Beschaffenheit des Wassers begünstigten die Entstehung eines genügend breiten Pflanzengürtels, der einen selbständigen Uferschutz bildet.

Auch beim Elbe-Lübeck-Kanal wurde während der Bauzeit (1900) eine Rethanpflanzung vorgenommen und zwar im Schutze eines Flechtzaunes aus Busch auf einer 1 : 5 geneigten Böschung. Es ist hier ein geschlossener Rethgürtel von etwa 60 cm Breite entstanden, der dem Ufer guten Schutz bietet, obwohl die Wassertiefe vor ihm bis zu 50 cm beträgt.

4. An der Unterelbe, deren Breite i. M. 2 km beträgt, werden Längswerke aus Pflasterdecken ausgeführt, wenn das Ufer hauptsächlich unter Wellenangriff (Windwellen) zu leiden hat, dagegen Buhnen, wenn das Ufer hauptsächlich den Angriffen der Strömung ausgesetzt ist. Die Buhnen werden rechtwinklig zum Ufer mit mindestens 100 m Länge und einem gegenseitigen Abstand der eineinhalbfachen Länge angelegt. Sie eignen sich gleichzeitig dazu, durch Gewinnung von Vorland dem Ufer Schutz zu geben. Ferner sind auf zusammen rund 15 km Uferlänge Anschüttungen aus Baggersand ausgeführt worden*), dessen Böschung sich in der Wasserwechselzone auf 1 : 5 einstellte. Zur Befestigung der Anschüttungen werden in der Hauptsache Weiden gepflanzt. Anfänglich wurde auch Spartinagras (Scirpus maritimus und Sc. tabernaemontani) zur Befestigung des Sandes verwendet, später ist davon jedoch abgesehen worden wegen seines stark wuchernden und alle übrigen Gräser unterdrückenden Wachstums.

VI. Wirtschaftlicher Vergleich.

zwischen einem festen Schutz der Querschnittsbegrenzung (Uferböschungen und Sohle) und einer Vergrößerung des Querschnitts.

Der Vergleich wird durchgeführt nach den Preisen von 1939.

1. Das Normalprofil des N.-O.-Kanals wird um 3 m vertieft, die Unterwasserböschungen werden von der Unterkante der vorhandenen Uferdeckwerke ab durch Sinkstücke von 0,3 m Dicke, gemessen im zusammengepreßten

*) Vgl. Meisel, Uferabbruch u. Uferschutz an der Unterelbe. Bautechnik 1935 Heft 29 S. 398.

Zustand des Buschwerks, abgedeckt. Die Matten werden am Ufer auf Abrollbahnen hergestellt, im schwimmenden Zustand zur Einbaustelle gebracht und durch Bewurf von 200 kg Schüttsteinen je m² abgesenkt.

Der Einheitspreis für die Buschmatte errechnet sich zu:

0,6 m³ Laubfaschinen, je m³ 4,—	2,40 RM
0,08 m³ „ für Faschinen-Würste	0,32 RM
0,15 kg Draht	0,06 RM
Arbeitslohn für Herstellung der Matte	3,00 RM
Transport und Versenken der Matte	2,00 RM
200 kg Steine beschaffen und einbringen	2,50 RM
zur Abrundung	0,22 RM
für 1 m² Matte	10,50 RM

Die Länge der Unterwasserböschungen beträgt $2 \times 27 = 54$ m.

Die neue Sohle würde 45,2 anstatt bisher 44 m Umfang haben. Ihre Abdeckung kann aber nicht empfohlen werden. Es würde sich dadurch der Ankergrund in unerwünschter Weise verschlechtern, auch wären Nachbaggerungen aus Anlaß von Bodeneintreibungen (z. B. auch bei Rutschungen) erschwert.

Die Umbaukosten betragen je lfdm Kanal:

a) Vertiefung der Sohle, Baggerung von 87 m³ + 20 v. H. = 105 m³ Boden (Sand bis Geschiebemergel), gleichzeitig Wiederherstellung der planmäßigen Unterwasserböschung, mittels Naßbaggers, Transport des Baggergutes zum Spüler und Aufspülung auf Land
für 1 m³ 1,80 RM 189,— RM

b) Abdeckung von 54 lfdm Unterwasserböschung mit Buschmatten und Beschüttung mit Steinen
für 1 m² 10,50 RM 567,— RM

c) Für Bauleitung, Unvorhergesehenes und zur Abrundung 10 v. H. von a + b 74,— RM

Zusammen für 1 lfdm 830,— RM

Wird auch die Sohle befestigt, so erhöht sich vorstehender Betrag um 45,2 m · 10,50 RM + rd. 10 v. H. = 520 RM auf 1350 RM.

2. Vergrößerung des Normalquerschnitts auf Profil II.

Die Vergrößerung geschieht einseitig, der 1 : 3 geneigte Teil der Unterwasserböschung alt und neu fallen auf der einen Seite zusammen.

Unter Wasser beträgt der Flächenunterschied der beiden Profile
1400 m² — 859 m² = 541 m².

Die Wasserspiegelbreite vergrößert sich um 156 m — 103,5 m = 52,4 m.

Über Wasserspiegel wird eine mittlere Geländehöhe von 10 m angenommen, so daß über Wasser 524 m³ Boden zu beseitigen sind.

Anlegestellen, Fährlandebrücken, Straßen, Wege, Gräben und mehrere Brücken müssen verlegt und erneuert werden. Die Kosten hierfür sind überschläglich ermittelt und auf 1 lfdm Kanal bezogen.

Die Vergrößerung des Querschnitts kostet je lfdm Kanal:

a)	Grunderwerb für rund 53 m², je m² 0,7 RM =	37,— RM
b)	Abräumen des Uferdeckwerks, je lfdm	30,— „
c)	541 m³ + 10 v. H. = 595 m³ Boden durch Naßbaggern zu fördern und auf Land zu spülen je m³ 1,80 RM	1071,— „
d)	524 m³ Boden über Wasser mittels Trockenbaggers zu entfernen und mit Lorenbetrieb auf Kippen zu fördern je m³ 2,50 RM	1310,— „
e)	1 lfdm Uferbefestigung und Begrünung der Überwasserböschungen unter Ergänzung der fehlenden Baustoffe herzustellen	70,— „
f)	Für Verlegung von Anlegestellen, Fährlandebrücken, Straßen, Wegen, Gräben für 1 lfdm Kanal	120,— „
g)	Desgleichen für 2 Hochbrücken und 1 Straßendrehbrücke	120,— „
h)	Für Bauleitung, Unvorhergesehenes und zur Abrundung rund 9 v. H. von a—g	242,— „
	Zusammen für 1 lfdm	3000,— RM

VII. Zusammenfassung.

1. Die unbefestigte Unterwasserböschung des N.-O.-Kanals ist in 22- bzw. 40jährigem Betrieb in ihren 1 : 2 und 1 : 2¼ geneigtem Teil überall und stellenweise stark ausgehöhlt, der Knick zwischen Unterwasserböschung und Sohle ist bis zu 3 m, die Sohle um durchschnittlich 0,6 m aufgehöht.

2. Der Rückstrom, die Ursache dieser Veränderungen, wird aus Beobachtungen, Modellversuchen und durch Berechnung nach mittleren und maximalen Werten bestimmt. Das Verhalten eines Schiffes bei außermittiger Fahrt wird durch Modellversuche festgestellt, dabei der Einfluß der Antriebsart ermittelt.

3. Querschnitte verschiedener Größen werden an Hand von Ergebnissen aus Modellversuchen rechnerisch verglichen, gleichzeitig ein Vergleich mit einem der Muldenform sich nähernden, aus dem Normalprofil des N.-O.-Kanals entwickelten Querschnitt gezogen. Für einen wirtschaftlichen Vergleich dieses, aber mit einem festen Schutz der Unterwasserböschung zu versehenden Profils und einem unbefestigt zu lassenden vergrößerten Querschnitt werden die wassertechnischen, maschinentechnischen und betrieblichen Umstände erörtert.

4. Die Wirkung des Rückstromes, der Schiffswellen und anderen angreifenden Kräfte auf die Querschnittsbegrenzung, insbesondere die Uferzone, werden nach den Erfahrungen am N.-O.-Kanal beschrieben.

5. Die Arten der Uferbefestigung, die mit ihnen gemachten Erfahrungen und die Ergebnisse von Versuchen mit anderen Bauweisen werden dargestellt. Es empfiehlt sich, Steinschüttungen mit Böschungsneigung von 1 : 3 auszuführen, ihren Fuß gut zu sichern, oder schweres Pflaster mit Neigung 1 : 1,5 mit einem Fuß aus einer Pfahlwand zu wählen.

6. Der wirtschaftliche Vergleich zwischen einer Befestigung der Querschnittsbegrenzung und einer Vergrößerung des Querschnitts fällt zwar rechnerisch zu Gunsten der ersteren aus, die Einwände aus Gründen eines anzustrebenden zweischiffigen Verkehrs oder wenigstens einer Lockerung der Einschränkungen bezüglich Begegnen und Überholen sprechen aber für eine Vergrößerung des Querschnitts, wobei aber eine weitere Vergrößerung des Tiefenverhältnisses T : t anzustreben wäre, als im Vergleichsprofil angegeben ist.

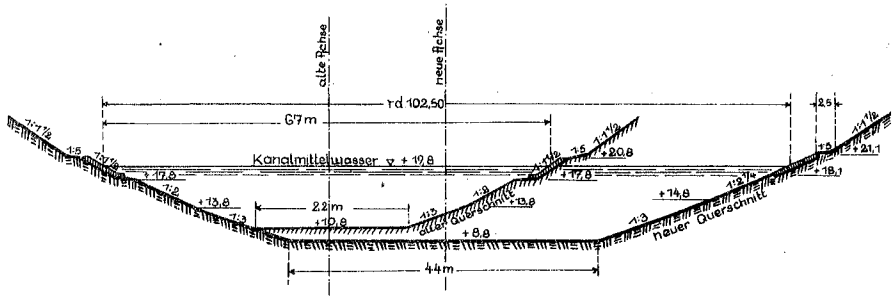


Abb. 1 N.O.-Kanal, alter und neuer Kanalquerschnitt.

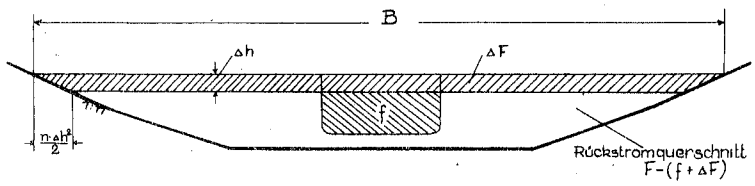


Abb. 2 Absenkung des Wasserspiegels im Kanal.

Abb. 3

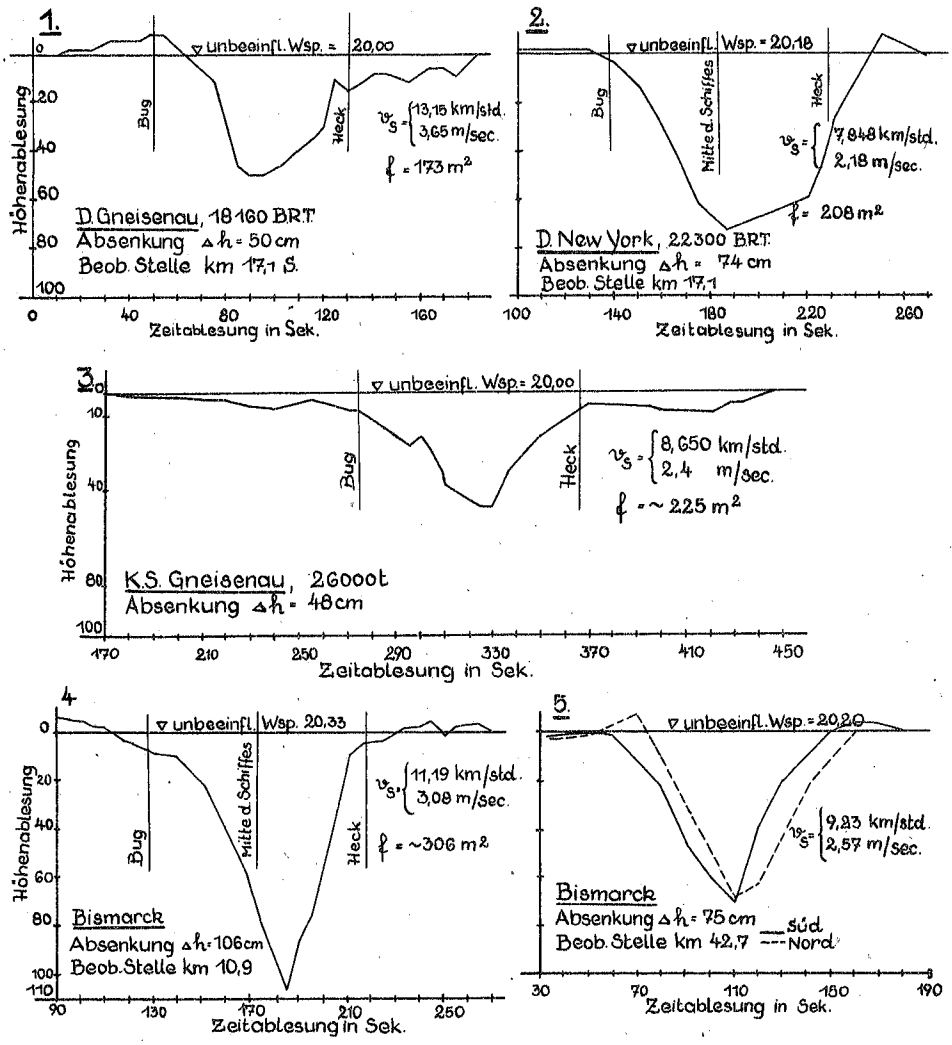


Abb. 3 Absenkung des Wasserspiegels bei der Kanalfahrt großer Schiffe.

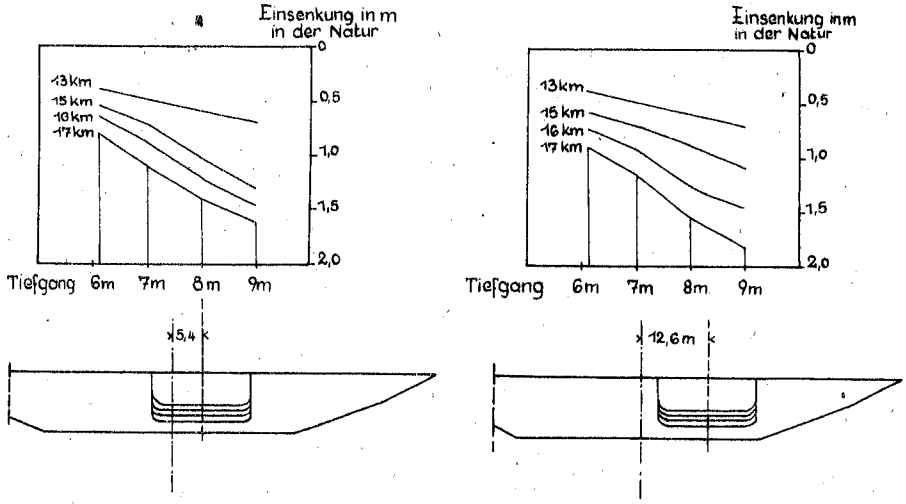


Abb. 4 Modellversuche über die Einsenkung eines Schiffes im N.O.-Kanal bei außermittiger Fahrt

Abb. 5

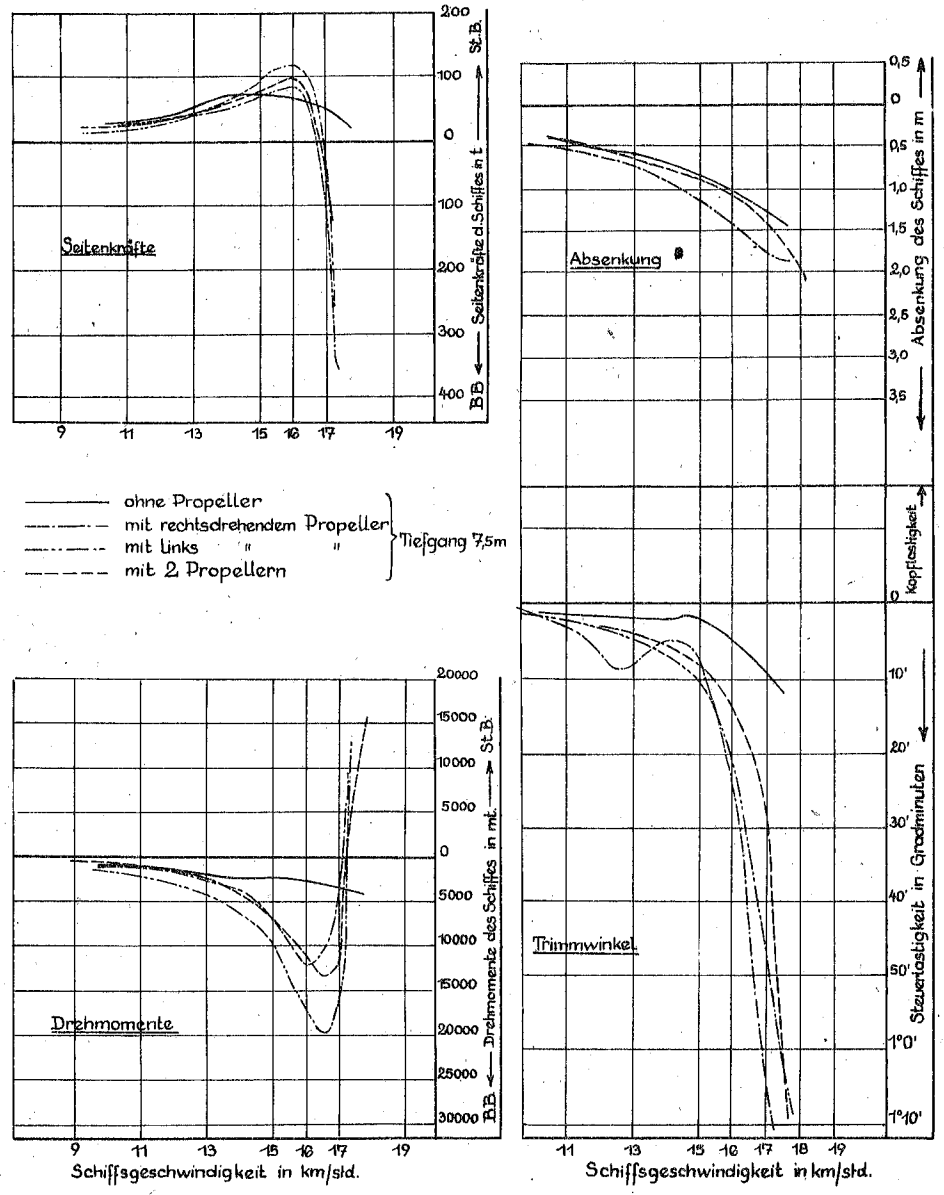


Abb. 5. Modellversuch mit Kanalschiff im Normalprofil d. NO-Kanals bei Schiffslage 12,6 m außer Kanalmitte

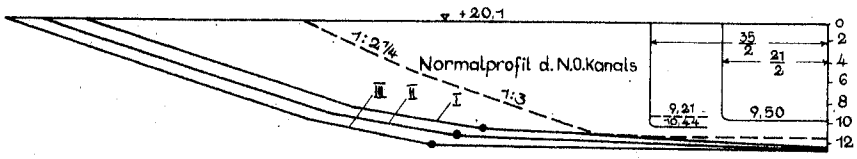


Abb. 6 Vergleich von 3 Modell-Kanalprofilen mit dem Normalprofil des N.O.-Kanals

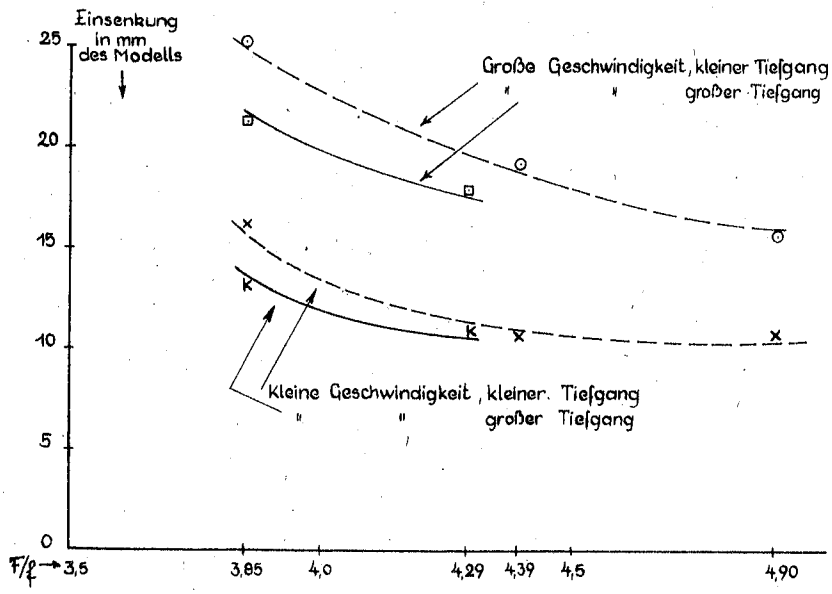


Abb. 7 Modellversuche über parallele Einsenkung eines Schiffes in Abhängigkeit vom Querschnittsverhältnis F:f

Abb. 8 + 10

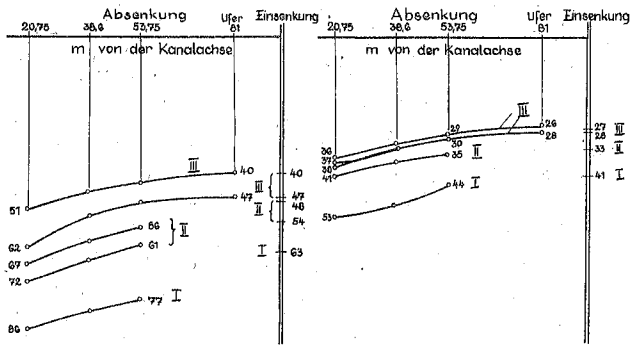


Abb. 8 Modellversuche über Wasserspiegelabsenkung und Schiffseinsenkung in verschiedenen großen Profilen

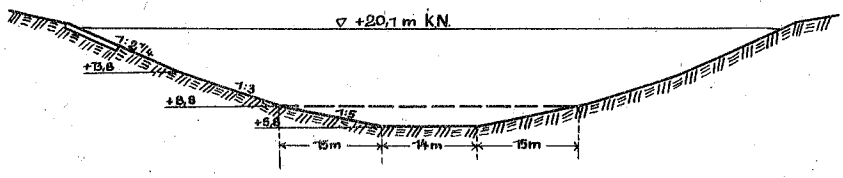


Abb. 10. Vertieftes Normalprofil N.O. Kanal

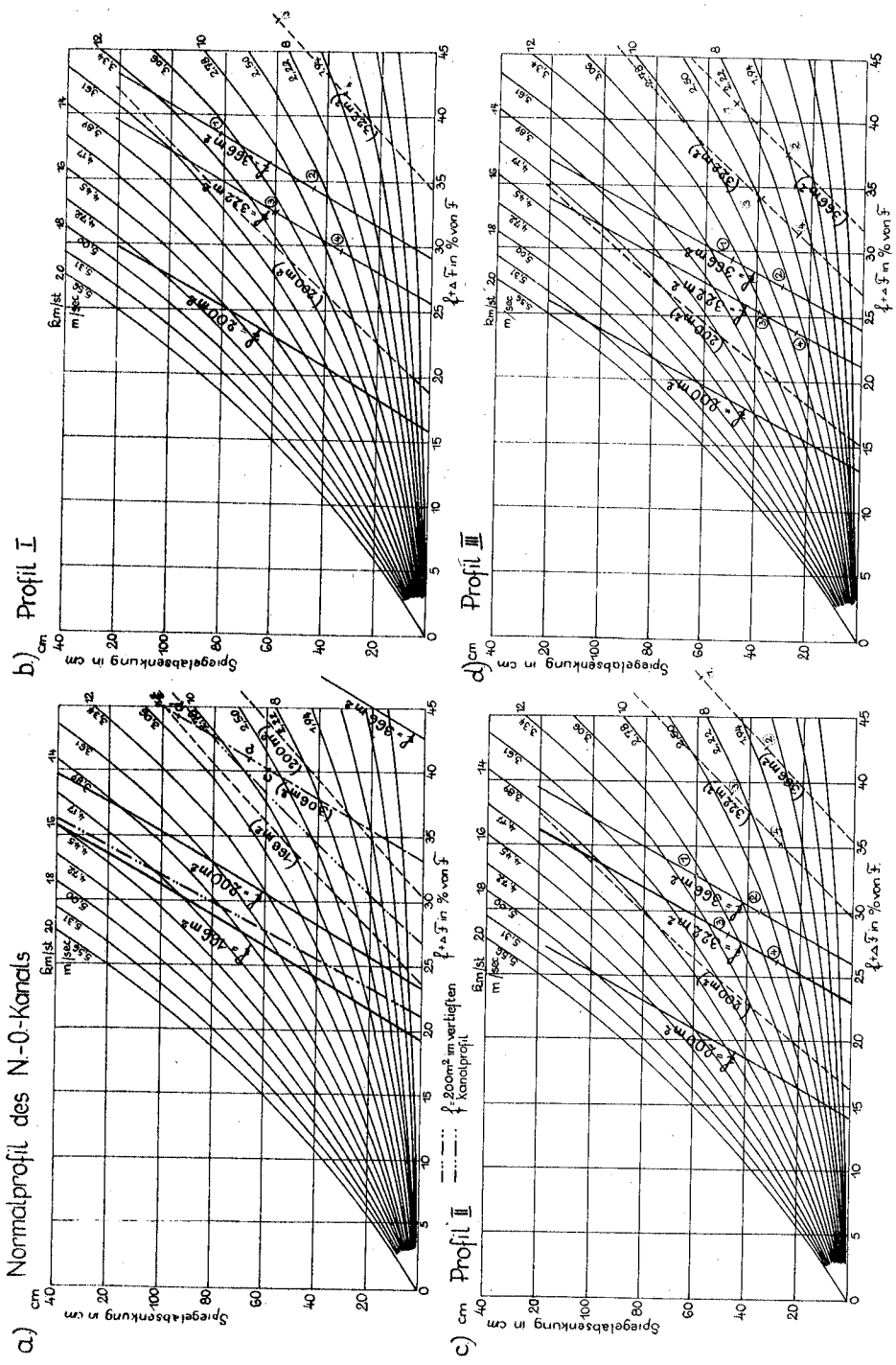


Abb. 9 Wasserspiegelabsenkung in cm u. Rückstromgeschwindigkeit in % der Schiffsgeschwindigkeit

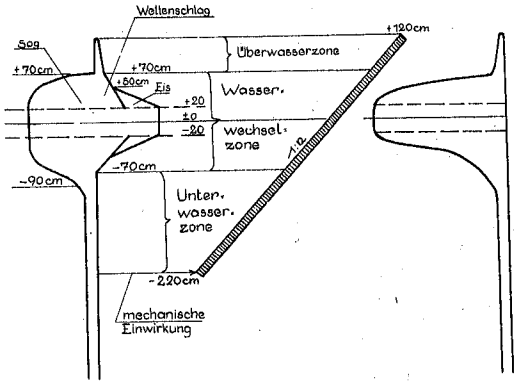


Abb.11 Darstellung der angreifenden Kräfte

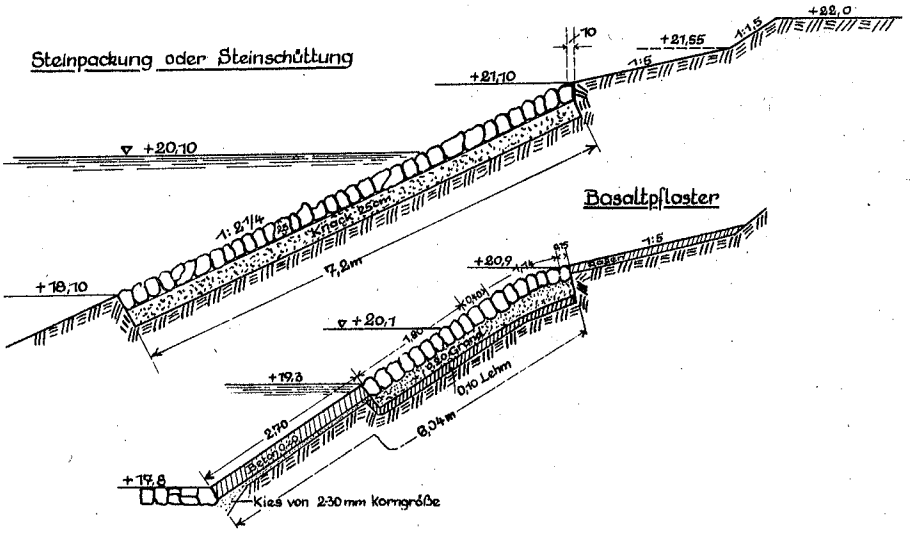


Abb.12. Uferbefestigungen am N.O. Kanal

20

Verbesserung von Mündungen natürlicher Wasserläufe in ein Meer mit Tidebewegung, mit besonderer Berücksichtigung der Nordsee.

Von Ludwig Plate, Oberbaudirektor in Bremen.

An der deutschen Nordseeküste unterliegen die Strommündungen ausnahmslos der Tidebewegung, die sich weit landeinwärts erstreckt. Für alle diese Mündungen bildet, außer der Oberwasserführung des Flusses selbst, die Tidebewegung in der Nordsee die Grundlage der Wasserbewegung, da von ihr aus die stromaufwärts fortschreitende Tideschwankung als Übertragungswelle angeregt wird. Für alle in diesen Wasserläufen vorzunehmenden Verbesserungen ist daher die Erforschung der Tidevorgänge in der Nordsee von großer Bedeutung. Diese ist besonders durch die Forschungen der Deutschen Seewarte gefördert und soweit geklärt, wie es für die strombautechnischen Fragen der deutschen Nordseeströme erforderlich ist. Für diese, in die Südostecke der Nordsee, die Deutsche Bucht, mündenden Tideflüsse ist die entgegengesetzt zum Uhrzeiger umlaufende Flutwelle maßgebend, die sich um einen Knotenpunkt etwa 3 Längengrade westlich von der jütischen Küste dreht und die ihre Entstehung vornehmlich der Überlagerung der vom Nordmeer eindringenden Tidewelle mit der vom Festland zurückgeworfenen Welle verdankt, während die vom Kanal her eindringende Ebbe- und Flutbewegung auf sie keinen erheblichen Einfluß mehr hat. Die Tidebewegung an der deutschen Nordseeküste stellt sich danach als eine zunächst von Westen nach Osten und dann von Süden nach Norden fortschreitende Flutwelle dar, die vor der Emsmündung mit etwa 2,5 m mittlerem Tidenhub beginnt, vor der Jade-, Weser-, Elb- und Eidermündung, die sie 1 bis 2 Stunden später erreicht, auf rund 3 m Hubhöhe anwächst, um darauf etwa eine weitere Stunde später bis zur Insel Sylt auf 2 m Tideschwankung abzuflauen.

Wenn so die Grundlage für die Wasserbewegung in den Tideströmen der deutschen Nordseeküste, soweit sie vom Meere aus erregt wird, auch ziemlich gleich ist, so bedingt doch die Verbesserung einer jeden Mündung eine besondere Erforschung des eigenen Tidegebietes mit all seinen vielseitigen Erscheinungen und insbesondere seinen langzeitlichen Wandlungen, um erfolgversprechende Maßnahmen ergreifen zu können. Durch Berechnungen allein und auch nur durch Modellversuche wird man den nötigen Aufschluß über die für einen Ausbau bedeutungsvollen Vorgänge in solchen Tideströmen nicht erhalten können. Diese sind wohl in der Lage, sehr wertvolle Hilfen für die Planungen zu leisten, die Hauptsache wird aber stets die unmittelbare Beobachtung in der Natur und die Verfolgung des ganzen Entwicklungsanges in den letzten Jahrhunderten sein. Solche Forschungen sind neben Berechnungen und Modellversuchen für alle deutschen Tideströme in großem Umfange angestellt und

weitgehend bei der Bearbeitung der Entwürfe für die Verbesserungen der Strommündungen herangezogen worden.

Eine besondere Beachtung ist ferner dem Zusammentreffen von Seewasser und Süßwasser im Bereich der Tideströme zu schenken. Wenn auch die Oberwasserführung der Menge nach nur in dem obersten Abschnitt des Tidegebietes gegenüber der Tidewassermenge von Bedeutung ist, während sie in den mittleren und unteren Abschnitten immer mehr zurücktritt, so erlangt sie doch in der Brackwasserzone, wo sich Salzwasser und Süßwasser miteinander vermengen, in mehrfacher Hinsicht wieder eine unmittelbare Einwirkung auf die Flußbettgestaltung.

Eine besondere Beachtung ist in den deutschen Tideströmen der Rechtsablenkung der Strömung durch die Erdumdrehung auf der nördlichen Erdhälfte zu schenken, ohne die bedeutungsvolle Erscheinungen und Umgestaltungen in den Stromrinnen und Sänden nicht zu erklären sind und die bei den Maßnahmen zur Verbesserung der Fahrwasserverhältnisse in den Strommündungen durchaus beachtet werden muß.

Verbesserungen an Mündungen natürlicher Wasserläufe und an diesen selbst, soweit sie von den Tideerscheinungen beeinflußt werden, sind im Bereich der Deutschen Bucht insbesondere an der Ems, der Jade, der Weser, der Elbe und der Eider ausgeführt worden. (Abbildung 1). Außerdem sind noch unter kleinen Wasserläufen die Mündungen von Entwässerungssielen zu erwähnen. Als Mündungen künstlicher Wasserläufe kommen in diesem Bereich nur die Einfahrten der offenen Häfen von Cuxhaven an der Elbe und die Vorhäfen von Schleusen in Frage, und zwar in Emden, Wilhelmshaven, Bremerhaven und Brunsbüttelkoog (Nord-Ostsee-Kanal), über die aber neue Erfahrungen nicht zu melden sind. Es sollen daher im Nachfolgenden vornehmlich die genannten Ströme und ihre Mündungen behandelt werden.

I. Die Ems.

In der Ems erforderte die Erhaltung eines bei MSp Tnw 7 m und bei Thw etwa 10 m tiefen Fahrwassers regelmäßig an drei Stellen Baggerungen erheblichen Umfanges, nämlich an der Geiseplate (Strecke Emden—Knock), an der Knock und im Ostfriesischen Gatje. (Abbildung 2). Seit 1930 sind an diesen drei Stellen Teilregulierungen ausgeführt worden.

Auf dem Westausläufer der Geiseplate ist im Jahre 1932 ein Trennungswerk mit Querbuhnen angelegt worden, und auf dem gegenüberliegenden Ufer der Ems sind drei Strombuhnen vom Seedeich Emden—Knock aus vorgestreckt worden. Nach anfänglich guter Wirkung auf das Fahrwasser haben sich seit 1937 wieder erhebliche Versandungen eingestellt, da die aus Oberwasser und Tide zur Verfügung stehenden Wassermengen offenbar nicht ausreichen, um die geforderte Tiefe von 7 m bei Tnw in dem vorhandenen Flußbett aufrecht zu halten. Auf Grund von Strommessungen wird eine Ergänzung der Strombauwerke, insbesondere des Trennungswerkes gegen den Dollart auf der Geiseplate für notwendig gehalten. Es werden z. Z. Modellversuche durchgeführt, um die hiermit zusammenhängenden Fragen zu prüfen.

An der Knock entstanden früher im oberen Teil des Ostfriesischen Gatjes dadurch große Schwierigkeiten, daß sich infolge des stark gekrümmten Fahrwassers zwei nebeneinander herlaufende Stromrinnen bildeten, eine Ebberinne und eine Flutrinne. Nach Durchbaggerung einer einheitlichen Fahrrinne im Jahre 1927 wurde diese durch Vorwandern der im Nordosten liegenden Mittelplate nach Südwesten abgedrängt, wodurch die Krümmung verschärft wurde und erneut die Gefahr der Stromspaltung entstand. Um die von Nord-

osten über die Mittelplate kommenden Sandwanderungen vom Fahrwasser fernzuhalten, wurde auf der Plate im Jahre 1930 ein Leitdamm errichtet, dessen Krone zunächst etwa 2 m über Tnw, das ist etwa 1 m unter Thw, angeordnet wurde. Gleichzeitig wurde eine Nebenrinne durch einen Sperrdamm geschlossen. Dies erwies sich aber nach den angestellten Beobachtungen noch nicht als ausreichend, um die Verlagerung der Fahrrinne nach Südwesten zu vermeiden. Deswegen wurde der Leitdamm im Jahre 1934 bis auf MThw erhöht, und dadurch wurde zunächst erreicht, daß sich die Lage der Fahrrinne einige Jahre lang nicht mehr wesentlich änderte. Das Fahrwasser ist aber später doch wieder weiter nach Südwesten vorgewandert. Dies ist insbesondere dadurch gefördert worden, daß sich unmittelbar nach dem Bau des Leitdammes an seinem Fuß eine Flutrinne bildete, die gegen das Fahrwasser durch eine neuentstehende Plate abgegrenzt war. Diese Plate gewann in den folgenden Jahren ständig an Höhe und Ausdehnung und trat mit dem Watt in Verbindung. Eine laufende Verschiebung des Fahrwassers nach SW und eine Verflachung im Gatjebogen waren die Folgen. Die anfängliche Aussicht, eine Fahrwasserkrümmung auch durch Maßnahmen auf der Innenseite der Krümmung festlegen zu können, wenn dadurch Sandwanderungen ins Fahrwasser bis zur Höhe des Thw abgeschnitten wurden, hat sich auf die Dauer nicht erfüllt.

An der dritten schwierigen Fahrwasserstrecke der Ems, im Nordteil des Ostfriesischen Gatjes wurde im Jahre 1933 ein Durchstich durchgebaggert, der sich bis Anfang 1936 gut gehalten hat, seitdem aber wieder unter beträchtlichen Versandungen leidet. Im Jahre 1938 durchgeführte Strom- und Geschiebemessungen haben gezeigt, daß der Ebbestrom gut dem Verlauf der Baggerrinne folgt, daß aber bei Flut Schrägströme durch das Fahrwasser auftreten, die als Ursache der Sandablagerungen anzusehen sind. Durch weitere bauliche Maßnahmen soll angestrebt werden, den Ebbe- und Flutstrom in möglichst gleiche Richtung zu bringen und ein möglichst geschlossenes Strombett mit größeren Stromgeschwindigkeiten zu schaffen. Die Einzelheiten dieses Ausbauplanes stehen noch nicht fest.

II. Die Jade.

Im Fahrwasser der J a d e sind strombauliche Arbeiten größeren Umfanges nur noch im Mündungsgebiet östlich der Insel Wangerooge notwendig geworden, nachdem auf der Innenjade vor den Schleuseneinfahrten Wilhelmshavens durch den in den Jahren 1893—1897 auf dem Schweinsrücken erbauten, 5,8 km langen Leitdamm befriedigende Fahrwasserverhältnisse geschaffen worden sind. Im Mündungsgebiet bereiteten die großen Sandwanderungen Schwierigkeiten, die von Westen kommend die Jade-Weser-Mündung in nordöstlicher Richtung durchqueren, wobei sich große Sankbänke bilden, zwischen denen hindurch die Jade und Weser, in eine Reihe von Stromrinnen aufgespalten, in die Nordsee laufen. (Abb. 3.) Durch Vergleich neuerer Aufmessungen mit alten Seekarten konnte bis in das 16. Jahrhundert zurück nachgewiesen werden, daß bei diesen Umlagerungen in fast regelmäßigen Zeitabschnitten von 60 bis 70 Jahren etwa gleiche Zustände eintreten, wobei jeweils der östliche Mündungsarm der Jade zu einem neuen Weserarm wird. Eine solche ständige Verlagerung der tiefen Stromrinnen brachte im Jadegebiet wiederholt sehr ungünstige Fahrwasserverhältnisse mit sich, und die Aufgabe, die dem Strombau hier gestellt wurde, ging daher dahin, ein beständiges, von den Sandwanderungen unabhängiges Fahrwasser zu schaffen.

Die weiter östlich liegenden Stromrinnen eigneten sich nicht dazu, wenngleich sie durch die natürliche Entwicklung solche Tiefen erreichten, daß sich in ihnen durch Baggerungen ein für die Großschiffahrt ausreichendes Fahr-

wasser herstellen und erhalten ließ. Ihre ständige Wanderung nach Nordosten konnte aber durch keine strombaulichen Maßnahmen, weder durch Baggerungen noch durch Strombauwerke verhindert werden, und so mußte damit gerechnet werden, daß in größeren Zeitabschnitten immer wieder die Notwendigkeit auftreten würde, das alte Fahrwasser zu verlassen und dann in einer der nachfolgenden Rinnen eine neue Zufahrt zur Jade herzustellen. Die Forderung, ein in seiner Lage beständiges Fahrwasser zu erreichen, ließ sich nur in den Stromrinnen erreichen, die am weitesten nach Westen liegen und sich unmittelbar an die Insel Wangerooge und das östlich davon liegende Minsener Old Ooge anschließen, das ist das von See aus in östlicher Richtung verlaufende Wangerooger Fahrwasser und die aus der Jade in Süd-Nord-Richtung verlaufende Oldoog-Rinne. Ein natürlicher Zusammenschluß dieser beiden, an sich sehr mächtigen Stromrinnen kam dadurch nicht zustande, daß sich an ihrem Vereinigungspunkt ständig Sandbänke vom Minsener Oldoog ablösten und die Bildung einer tiefen Schiffahrtsrinne verhinderten. Die von Westen an Wangerooge entlang wandernden Sandmassen setzten sich nach Durchquerung der Blauen Balje an der Nordostecke von Minsener Oldoog an und lösten sich dann als geschlossene Sandbänke ab, die dann die Wanderung in nordöstlicher Richtung durch die Jade antraten.

Da die Sandwanderung an sich nicht zu verhindern ist, so galt es, die Bildung solcher Sandbänke zu verhindern. Zu diesem Zwecke sind zunächst in den Jahren 1909—1913 die beiden Buhnen A und C erbaut, ohne aber das angestrebte Ziel zu erreichen. Erst nachdem zwischen diesen beiden Werken in den Jahren 1927/28 noch die Buhne B hergestellt worden war, konnte eine solche Stromverstärkung an der Nordostecke von Minsener Oldoog erreicht werden, daß die wandernden Sandmassen sich hier nicht mehr zu geschlossenen Sandbänken zusammenballen können, vielmehr aufgelöst durch die tiefe Stromrinne nach Nordosten getrieben werden. Die dabei im Fahrwasser auftretenden Untiefen geringeren Umfanges ließen sich durch Baggerungen mäßigen Umfanges beseitigen. Hier ist es gelungen, von der Innenseite einer Stromkrümmung her eine durchgreifende Verbesserung des Fahrwassers durch Strombauwerke zu erreichen, die auf eine örtliche Verstärkung der Strömung hinzielten. Dabei ist durch Modellversuche ermittelt worden, daß eine Zwischenbuhne statt der in einem Gutachten vorgeschlagenen zwei Zwischenbuhnen ausreichen würde. Die Folgerungen aus den Modellversuchen haben sich bei der Verwirklichung als zutreffend erwiesen.

Nachdem nach Beendigung des zweiten Weltkrieges jede Unterhaltung des Fahrwassers der Jade durch Baggerungen eingestellt worden ist, bildet jetzt eine weiter östlich gelegene, natürliche Stromrinne, die Minsener Rinne, die Zufahrt nach Wilhelmshaven.

Was die Wirksamkeit von Ebbe- und Flutstrom anbelangt, so hat sich auf der Jade ergeben, daß im Wangerooger Fahrwasser der Flutstrom und in der Oldoog Rinne der Ebbestrom überwiegt, und zwar nicht nur an der Oberfläche, sondern auch am Grunde. Es handelt sich hier um Strömungen in reinem Seewasser, da in der Jade wegen des fehlenden Oberwasserzuflusses kein Brackwasser auftritt.

III. Die Weser.

Die Seewasserstraße der W e s e r zerfällt in zwei Abschnitte, die U n t e r w e s e r von Bremen bis Bremerhaven und die A u ß e n w e s e r von dort nach See.

Die U n t e r w e s e r ist in den 1925 bis 1930 so vertieft und verbreitert worden, daß Schiffe von 8½ m Tiefgang in einer Tide von Bremen nach See

oder umgekehrt fahren können. Dabei ist, mit einer Ausnahme, der durch die frühere Korrektion der Unterweser geregelte Verlauf des Fahrwassers beibehalten. Die Sohlengestaltung ist dabei insofern grundlegend geändert worden, als die Flußsohle zunächst von Bremen auf 16 km um 1½ m ansteigt, dann auf 23 km waagerecht verläuft und darauf wieder bis Bremerhaven um 1½ m abfällt (Abbildung 4). Diese Anordnung hat sich sowohl im Schiffahrtsbetrieb als auch bei der Unterhaltung des Fahrwassers gut bewährt.

Das Fahrwasser der Außenweser ist im Jahre 1922 auf 19 km Länge vom Wurster Arm in den Fedderwarder Arm verlegt worden, die durch die Robbenplate voneinander getrennt werden, weil die Unterhaltung eines bei Tnw 8 m tiefen Fahrwassers große Schwierigkeiten bereitete und selbst durch jährliche Baggerungen von 4½ Millionen cbm Boden nicht in zufriedenstellender Weise durchzuführen war. Anschließend ist durch Herstellung von Strombauwerken und durch Baggerungen das Fahrwasser von Bremerhaven nach See bis zum Jahre 1927 auf 10,3 m bei Tnw oder 13,6 m bei Thw vertieft worden (Abbildung 5). Die Unterhaltung dieses vertieften Fahrwassers erfordert noch eine jährliche Baggerung von 2½ Millionen cbm Boden.

Der Ausbau des Fahrwassers der Unter- und Außenweser ist schon in der Zeitschrift des Internationalen Ständigen Verbandes der Schifffahrts-Kongresse 1935 Nr. 19 behandelt, worauf verwiesen wird. Ergänzend ist den früheren Darlegungen noch folgendes hinzuzufügen:

Bei der Erhaltung des Fahrwassers der Unterweser ist auf einer kurzen Strecke bei Dedesdorf eine Ergänzung der Stromregelung notwendig geworden, weil hier starke Schlickablagerungen ständig große Baggerungen notwendig machten. Diese Zone fällt etwa mit der oberen Grenze der Brackwasserzone zusammen, und daraus ist der Schluß gezogen, daß die starke Ausscheidung von Schlick mit der Mischung von Süß- und Salzwasser zusammenhängt, daß der sich hier absetzende Schlick vom Oberwasser zugeführt wird und daß daneben auch biologische Vorgänge, Absterben von Süßwasser- oder Salzwasser-Radiolarien eine Rolle spielen. Außerdem wird auf der Weser, insbesondere auf der Außenweser, eine jahreszeitlich gebundene Schlickbildung auf den Watten im Frühling und Sommer beobachtet, die teils mit der ruhigen Witterung, teils ebenfalls mit biologischen Erscheinungen (Planktonbildung) zusammenhängen mag. Diese Ansichten sind aber umstritten und bedürfen weiterer Klärung.

In den letzten Jahren ist durch beiderseitige Uferlehren die Strömung auf dieser Strecke schärfer im Fahrwasser zusammengefaßt, und dadurch sind die Baggerungen beträchtlich vermindert. In der Folge haben sich aber stärkere Ablagerungen unterhalb der so regulierten Flußstrecke bemerkbar gemacht, so daß es erforderlich sein wird, die Einschränkung des Flußlaufes noch fortzusetzen, bis die von Natur sehr großen Wassertiefen in der Stromenge bei Nordenham erreicht werden.

Ferner ist zu erwähnen, daß auf der Unter- und Außenweser nach den angestellten Strombeobachtungen allgemein dem Ebbestrom eine größere Wirksamkeit beigemesssen wird als dem Flutstrom, weil der stärkste Ebbestrom bei niedrigeren Wasserständen auftritt und in seiner aktiven Stärke erheblich länger anhält als der Flutstrom. Dabei ist das Verhältnis des Grundstromes sowohl durch Flügelmessungen als auch durch Beobachtung von Flach- und Grundschwimmern festgestellt. Wenn auch der Grundstrom bei Ebbe gegenüber dem Oberflächenstrom an manchen Stellen mehr geschwächt ist als bei Flut, wird doch dem Ebbestrom eine stärkere Räumkraft beigemessen als dem Flutstrom.

Es hat sich dabei eindeutig die Einwirkung der Erdumdrehung auf die Strömungsverhältnisse ergeben, durch die allgemein auf der nördlichen Erdhälfte eine Ablenkung nach rechts hervorgerufen wird, und zwar in um so stärkerem Maße, je größer die Stromstärke ist. Dadurch werden auch auf geraden Flußstrecken Schraubenströme hervorgerufen, und an verschiedenen Stellen ist beobachtet, daß in manchen Stromkrümmungen die Rechtsablenkung die Fliehkraft nach der Außenseite der Krümmung überwiegt. Demzufolge ist z. B. oberhalb von Nordenham das Fahrwasser von der Außenseite der Flußkrümmung auf die Innenseite gelegt worden mit dem Erfolge, daß sich dort etwa 25 Jahre lang ein um 2 m tieferes Fahrwasser ohne Baggerungen gehalten hat, während früher in dem an der Außenseite der Krümmung liegenden Fahrwasser ständig erhebliche Unterhaltungsbaggerungen notwendig waren. Neuerdings haben sich infolge einer Ausweitung des Flußbettes auch im verlegten Fahrwasser wieder stärkere Ablagerungen bemerkbar gemacht, die durch Baggerungen beseitigt werden müssen und Anlaß dazu geben, wieder eine Einschränkung des Flußbettes anzustreben.

Beim Ausbau des Fedderwarder Armes ist eine Verlegung des Fahrwassers nach links, also entgegen der Wirkung der Erdumdrehung auf die Strömung, vorgenommen worden in der Erkenntnis, daß in diesem Falle nicht die Rechtsablenkung des Ebbestromes entscheidend war, sondern die Verkürzung des Weges und das damit verbundene größere Gefälle. Durch besondere Strombauwerke (Buhnen) wird dabei der Ebbestrom vor der Abzweigung nach links abgedrängt. Die Festlegung des Fahrwassers im Fedderwarder Arm ist dann in Krümmungen in der Weise erfolgt, daß an ihrer Außenseite der weitere Abbruch durch Buhnen verhindert worden ist, deren Wurzeln nötigenfalls durch Leitwerke verbunden worden sind.

Modellversuche sind für den Ausbau der Unter- und Außerweser nur in geringem Umfange ausgeführt worden und haben keinen Einfluß auf die Planungen gehabt. Das größte Gewicht ist auf die Beobachtung in der Wirklichkeit und das Studium von Kartenvergleichen gelegt worden, ferner sind umfangreiche Rechnungen aufgestellt worden, die wohl für die Wasserverteilung auf verschiedene Stromarme und für die Senkung der Tideniedrigwasserstände zutreffende Werte geliefert haben, aber nicht für die beim letzten Ausbau der Unterweser beobachtete Hebung des Tidehochwassers im oberen Tideabschnittes bis zu 0,2 m.

IV. Die Elbe.

In der Elbe sind an zwei Stellen umfangreiche Arbeiten zur Verbesserung der Fahrwasserverhältnisse durchgeführt worden, und zwar einmal am Pagensand und sodann an der Ostebank.

Der Pagensand ist eine Insel in der Elbe etwa 38 km unterhalb von Hamburg, und durch sie wird der Strom in zwei Arme gespalten. Das Stromgebiet, das noch oberhalb der bei Glückstadt beginnenden Brackwasserzone liegt, ist hier in der Vergangenheit überaus großen Veränderungen unterworfen gewesen, zumal sich auch im westlichen Hauptarm noch ein wandernder Sand, der Schwarztonnensand, befindet. Es hat sich gezeigt, daß sich in dem übermäßig breiten Strombett immer nur dann ein gutes Fahrwasser ausgebildet hat, wenn Flut- und Ebbestrom mit ihrer Hauptwasserführung in sanfter Krümmung in dem Stromarm zwischen dem Pagensand und dem Schwarztonnensand verliefen und diese Sände durch eine langgestreckte, geschlossene Form eine ausreichend lange Stromführung bildeten. Solche Stromzustände

waren in besonders günstiger Gestaltung am Ende des vorigen Jahrhunderts vorhanden. Mit zunehmender Krümmung verschlechterten sich stets die Fahrwasserverhältnisse. Im Scheitel der Krümmung entstanden tiefe, die Stromkraft nutzlos schwächende Kolke, in den Übergängen bildeten sich Verflachungen und Barren, die die Wasserführung im Fahrwasser zugunsten der Nebenarme und Nebenrinnen verringerten. Flut- und Ebbestrom strebten infolge der Rechtsablenkung durch die Erdumdrehung auseinander und bildeten Querströmungen, die Sände abtrugen, vielfach zerrissen und dadurch Zustände größter Verwilderungen verursachten. Solche wiederholt aufgetretenen Stromverwilderungen hatten bis zum Jahre 1925 so ungünstige Fahrwasserverhältnisse hervorgerufen, daß durchgreifende Maßnahmen dringend erforderlich wurden. (Abbildung 6).

Zunächst, beginnend im Jahre 1900, hatte man versucht, durch Baggerungen der Lage Herr zu werden, und bis 1926 sind hier im ganzen nahezu 10 Millionen cbm Boden gebaggert worden, in den letzten Jahren dieses Zeitabschnittes jährlich über 1 Million cbm. Diese Baggerungen mögen das Fortschreiten der Verwilderung der Stromstrecke etwas verzögert haben, zu einer anhaltenden Besserung führten sie aber nicht, weil die immer stärker wirkenden Ursachen der Verwilderung nicht beseitigt wurden.

Von 1922 bis 1926 wurde am unteren Ende der Insel Pagensand eine Grundschwelle hergestellt, um die in das Nebenfahrwasser vorstoßende, über 10 m tiefe Rinne zu schwächen, und am oberen Ende der Insel wurde ein 1700 m langer Leitdamm ausgeführt, um das weitere Vordringen eines vorgelagerten Sandes, des sogenannten „Hungrigen Wolfes" nach dem Fahrwasser zu verhindern. Diese Strombauwerke genügten aber nicht, um eine durchgreifende Besserung herbeizuführen.

Als Hauptaufgabe der weiter durchzuführenden Stromregelung wurde angesehen, dem Fahrwasser die für den Beharrungszustand günstigste Krümmung zu geben und ihren Bestand durch eine feste, unnachgiebige und in der Länge ausreichende Führung, vor allem auf der hohlen Seite zu sichern. Als Vorbild diente dabei der Zustand des Strombettes zur Zeit der von Natur entstandenen besonders günstigen Fahrwasserverhältnisse. Das Regelungsziel bildete ein bei Tnw 10 m tiefes Fahrwasser von 400 m Breite. Dabei mußte aber das Nebenfahrwasser östlich des Pagensandes für Kleinschiffahrt und als Vorfluter erhalten bleiben.

Die Stromregelung wurde durch Buhnen bewirkt, die vom Pagensand nach Westen gegen das Hauptfahrwasser vorgetrieben wurden. Vom unteren Ende der Insel wurde ein Leitdamm vorgestreckt, an den dann weitere Buhnen angeschlossen wurden. Das obere Ende von Pagensand wurde als Trennungsspitze ausgebaut, um die Wasserverteilung auf Haupt- und Nebenarm der Elbe bei Ebbe zu regeln. (Abbildung 7). Auf 7 km Länge ist durch diese Arbeiten eine feste Stromführung auf der Hohlseite geschaffen worden. Gleichzeitig mit der Ausführung dieser Strombauwerke in den Jahren 1926 bis 1936 sind zur Herstellung der angestrebten Fahrrinne rd. 10 Millionen cbm Boden gebaggert worden.

Wie ein Vergleich der beiden Karten von 1925 und 1936 zeigt, haben diese Arbeiten vollen Erfolg gehabt, und das Ausbauziel ist erreicht worden.

Die zweite schwierige Stelle im Fahrwasser der Elbe lag bei der Ostebank von km 697 bis 707, etwa 80 km unterhalb von Hamburg und kurz unterhalb der Mündung des Nord-Ostsee-Kanals. Die Ostebank, die im Anfang dieses Jahrhunderts der Unterhaltung des Fahrwassers Schwierigkeiten bereitete, ist keine erstmalige Erscheinung in diesem Stromgebiet. An alten Karten läßt

sich vielmehr bis zum Jahre 1588 zurück verfolgen, daß sich im Laufe der Zeit zu wiederholten Malen auf der Nordseite des Flußbettes ein Sand gebildet hat, der dann nach Ablösung vom Nordufer durch den Stromschlauch nach Süden gewandert ist, bis er sich dort wieder an das Ufer anlegte. Der Ursprung der letzten Ostebank läßt sich schon in der Marinekarte von 1864 erkennen, da diese ein starkes Vorspringen des Neufelder Watts im Norden des Flußbettes und die beginnende Ablösung eines Sandes zeigt. Damals ging noch eine Fahrwassertiefe von 10 m bei Tnw in mindestens 500 m Breite durch. Bis 1891 war eine Spaltung des Stromes durch einen langgestreckten Sand, die Ostebank, in zwei Rinnen eingetreten, und in dem Fahrwasser war die 10 m-Tiefe auf 5 km Länge unterbrochen; bis zum Jahre 1902 waren die Verhältnisse für tiefgehende Schiffe so ungünstig geworden, daß man von 1903 an mit Baggerungen eingriff. Bis zum Jahre 1920 versuchte man, mit Baggerungen allein die planmäßige Fahrwassertiefe wiederherzustellen. Dies gelang aber nicht, obgleich in dieser Zeit 24½ Millionen cbm Boden bei der Ostebank gebaggert wurden. Mit knapper Not konnte dadurch nur eine Fahrwassertiefe von 8 m bei Tnw in 200 m Breite erhalten werden, wie aus der Karte von 1921 hervorgeht. (Abbildung 8).

Von 1922 bis 1925 wurden auf der Südseite am Watt oberhalb der Ostemündung, am sogenannten Osteriff, einige Schutzwerke angelegt, um hier den besonders starken Abbruch abzustellen. Im Jahre 1926 wurde ein Gesamtregelungsplan für eine Strecke von rd. 17 km Länge von km 690,25 bis 707,5 abgeschlossen; der auf Grund eingehender Studien der in diesem Gebiet auftretenden Sandwanderungen und ausgedehnter Strommessungen aufgestellt worden war. Dieser sah grundsätzlich folgendes vor: Allmähliches Vorschieben des südlichen Ufers durch den Bau von Buhnen am Osteriff; diesem Vorschieben entsprechende Abbaggerung der Ostebank, wobei aber auf die Einschränkung der übermäßigen Breite des dem Inhalt nach richtig bemessenen Querschnittes Bedacht zu nehmen war. Abflachung der scharfen Krümmung vor dem Osteriff. Schlanke Linienführung des linken Ufers von der Ostemündung aufwärts bis zum sogenannten Böschrücken durch Vorschieben des Ufers in der Bucht oberhalb der Baljer Ecke mittels Buhnen. Verlegung der Ostemündung und Festlegung derselben mit spitzwinkliger Einführung in die Elbe durch Buhnen und Leitwerke, um die Wasserbewegung der Elbe durch das Einmünden dieses Nebenflusses möglichst wenig zu stören.

Dieser Regelungsplan wurde von 1927 bis 1936 planmäßig durchgeführt mit dem Erfolg, daß wieder ein durchlaufendes Fahrwasser von 10 m Tiefe bei Tnw in 400 m Breite hergestellt ist, wie es auch schon die Karte von 1935 zeigt. (Abbildung 9). Diese Stromstrecke hat nach der Streckung des Fahrwassers und der Umgestaltung ihres Querschnittes genügend räumende Kraft erhalten, und durch die ausgeführten Maßnahmen ist bis heute ein guter Zustand des Fahrwassers erreicht worden.

Auf der Außenelbe unterhalb von Cuxhaven haben sich zwischen den Feuerschiffen Elbe 3 und 4 dadurch Schwierigkeiten im Fahrwasser eingestellt, daß sich gleichzeitig mit einer großen Ausweitung des Flußbettes Ebbe- und Flutrinnen voneinander trennten und das Kugelbaken-Fahrwasser durch einen Mittelgrund als Flutrinne abgespalten wurde und daß sich seit 1936 in der als Hauptfahrwasser dienenden Ebberinne vor einem von Norden her zwischen dem Großen Vogelsand und dem Gelbsand vorstoßenden Durchbruch, dem Lüchter Loch, mitten im Fahrwasser eine ständig wachsende Sandbank, der „Lüchter Grund", bildete, auf der im Jahre 1939 nur noch eine Wassertiefe von weniger als 7 m bei MTnw vorhanden war (vgl. Abbildung 10). Im Jahre

1939 wurden groß angelegte Regulierungsarbeiten für die Außenelbe unterhalb Cuxhavens begonnen, die aber infolge Kriegsausbruches nicht fortgeführt werden konnten. Über Ergebnisse dieser Arbeiten kann daher z. Z. noch nicht berichtet werden. Die Fahrwasserverhältnisse auf der Außenelbe haben sich inzwischen wieder günstiger gestaltet, und im Jahre 1948 hat sich ohne Baggerungen wieder eine durchgehende Fahrwassertiefe von 10 m bei Tnw herausgebildet.

Aus den sehr umfangreichen Vorarbeiten und der wissenschaftlichen Erforschung der Außenelbe ergeben sich aber Erkenntnisse von großer allgemeiner Bedeutung.

Aus umfangreichen Kartenvergleichen, die bis zum Jahre 1568 zurückgehen und sich auf 48 vor dem Jahre 1876 herausgegebene Seekarten stützen, sind langperiodische Umbildungen in der Außenelbe festgestellt worden, die bei Regelungsarbeiten beachtet werden müssen.

Besonders eingehend ist das Verhalten der Tidewelle in der Elbe verfolgt worden, wobei insbesondere auch die Einwirkungen von Veränderungen im Stromlauf und Veränderungen der Oberwasserführung auf das Zurückwerfen der Welle und damit auf den Tidenhub oberhalb und unterhalb von Regulierungsstrecken festgestellt worden sind. Die Beseitigung von Hemmungen im Verlauf der Tidewelle bewirkt oberhalb eine Vergrößerung und unterhalb eine Verringerung des Tidenhubes.

Für Sturmfluten konnte keine Einwirkung auf die Umbildungen des Flußlaufes oder Ablagerungen im Fahrwasser nachgewiesen werden.

Bei den Strom- und Salzgehaltsbeobachtungen in der Brackwasserzone, deren obere Grenze in der Elbe etwa bei Glückstadt liegt, ist festgestellt worden, daß eine Verschiedenheit in der senkrechten Verteilung der Strömungen bei Ebbe- und Flutstrom besteht, und zwar derart, daß die Geschwindigkeiten bei Flutstrom mit der Tiefe verhältnismäßig weniger abnehmen als bei Ebbestrom. Aus diesen Messungen ergibt sich z. B. für die Außenelbe, daß bei Flut der Grundstrom 83 v. H. der mittleren Stromgeschwindigkeit erreicht und die Strömung an der Oberfläche 130 v. H., dagegen ist bei Ebbe das Verhältnis beim Grundstrom nur 54 v. H., dafür aber beim Oberflächenstrom 154 v. H. Diese Erscheinung wird auf die verschiedene Dichte des Wassers infolge der Mischung von See- und Flußwasser zurückgeführt. Dabei ist bei Flut der durch Messungen festgestellte Unterschied im Salzgehalt an der Oberfläche und am Grund nicht besonders groß, er beträgt nur 1/2 bis 1 v. T. bei etwa 15 bis 25 v. T. Salzgehalt. Bei Ebbe geht der Unterschied dagegen auf 2 bis 5 v. T. hinauf, ist also erheblich. Da nun der Grundstrom für die Bewegung des Geschiebes ausschlaggebend ist, so wird auf der Elbe in der Brackwasserzone dem Flutstrom eine größere Bedeutung für die Bettgestaltung und -erhaltung zugeschrieben als dem Ebbestrom. Durch verschiedene Verteilung des Salzgehaltes im Flußbett selbst werden insbesondere auch Querströmungen hervorgerufen, die nicht ohne Bedeutung für die Ablagerungen im Fahrwasser sind.

Ferner hat die Rechtsablenkung der Strömung durch die Erdumdrehung auch auf der Elbe eine besondere Beachtung erfahren. Man findet darin besonders die Erklärung für das verschiedene Verhalten der Strömung in Rechts- und Linkskurven, in Stromrichtung gesehen, und z. B. für die Erscheinung, daß in einer Rechtskurve die stärkste Strömung durchaus nicht an der Außenseite der Krümmung zu liegen braucht, sondern auch auf der Innenseite der Krümmung auftreten kann, nämlich solange wie die Rechtsablenkung durch die Erdumdrehung die in einer Rechtskurve entgegengesetzte

Fliehkraft des in der Kurve strömenden Wassers überwiegt. Eine rechnerische Verfolgung, wie sie versucht worden ist, stößt allerdings auf große Schwierigkeiten, da sich die Rechnung wohl ohne Berücksichtigung der Reibung durchführen läßt, die Reibung in einem Tidefluß aber nicht, wie bei Meeresströmungen, vernachlässigt werden darf. Rechnerische Untersuchungen konnten daher in dieser Hinsicht nur Fingerzeige für die Beurteilung dieser Erscheinung geben, aber keine in die Wirklichkeit oder auf einen Modellversuch übertragbare Ergebnisse liefern.

Beide Erscheinungen, das verschiedene Verhalten des Grund- und Oberflächenstromes infolge der Schichtung des Wassers in der Brackwasserzone sowohl, wie die Rechtsablenkung der Strömung durch die Erdumdrehung können im Modellversuch schwerlich naturgetreu nachgeahmt werden, da sich die Schichtung des Wassers durch verschiedene Salzgehalte in einer Wasserschicht geringer Tiefe, wie sie im Modell vorhanden ist, nicht erhalten läßt und weil die Erdumdrehung zwar auch auf die Strömungen im Modell die nach rechts ablenkende Wirkung ausübt, aber in einem anderen Verhältnis, wie sie der Verkleinerung der Stromgeschwindigkeit im Modell gegenüber der Wirklichkeit entspricht. Von dem Modell eines Tideflusses wird man daher nicht erwarten können, daß es einwandfreie Aufschlüsse über Strömungsvorgänge geben kann, auch wenn man im übrigen erreichen sollte, das Ähnlichkeitsgesetz in weitgehendem Maße zu verwirklichen.

Bei den umfangreichen Modellversuchen, die noch nicht abgeschlossen sind, ist es gelungen, durch Auflegen von kleinen Platten auf die Sohle die Rauhigkeit im Modell so zu gestalten, daß ein naturgetreuer Verlauf der Tidebewegung erreicht wird.

V. Die Eider.

Als letzter, bedeutungsvoller Wasserlauf im Bereich der Deutschen Bucht, der durch künstliche Eingriffe eine Umgestaltung erfahren hat, ist die Eider zu behandeln. Die Veranlassung dazu hat nicht eine beabsichtigte Verbesserung der Schiffahrt gegeben, dafür waren vielmehr Belange der Landeskultur maßgebend.

Die Eider, die ihren Ursprung südlich von Kiel hat und nach Westen zu bis Rendsburg verschiedene größere Seen durchfließt, ist bei dieser Stadt durch den Bau des Nord-Ostsee-Kanals am Ende des vorigen Jahrhunderts von ihrem Unterlauf abgeschnitten worden. Die bei Rendsburg seit langem zwischen dem Unterlauf und Oberlauf der Eider bestehende Schleuse verbindet seitdem den Kanal mit der unteren Eider. Diese mündet nach 120 km Lauflänge bei Vollerwick, unterhalb von Tönning, in die Nordsee und steht unter der Einwirkung von Ebbe und Flut. Sie entwässert zwischen Rendsburg und Friedrichstadt ein großes, tiefliegendes Niederungsgebiet, das am Ende des vorigen Jahrhunderts zum großen Teil noch nicht durch Winterdeiche und nur teilweise durch niedrige Sommerdeiche gegen Überflutungen geschützt war. Erst von Friedrichstadt abwärts waren schon seit langem Winterdeiche vorhanden, die besonders die Marschen vor Sturmfluten schützten. In der Niederung oberhalb von Friedrichstadt wurden dann aber später in immer zunehmendem Maße Sommerdeiche gebaut oder erhöht, um die Wiesen im Sommer vor Überflutungen zu schützen, die nach der Erweiterung des Nord-Ostsee-Kanals im Jahre 1914 noch dadurch besonders unerwünscht wurden, daß der Salzgehalt des Eiderwassers sich durch den Zulauf salzhaltigen Wassers aus dem Kanal erhöht hatte. Die Folge dieser Deichbauten war nun, daß sich die bei starken westlichen Winden über den gewöhnlichen Stand auflaufenden Fluten infolge der Verkleinerung des Aufnahmebeckens beträchtlich erhöhten. Bei Rends-

burg ist bei mittelhohen Sturmfluten von 1893/1907 bis 1926/1929 eine Hebung bis zu 1 m bei gleicher Wasserstandshöhe an der Eidermündung eingetreten. Die Folge davon waren häufige Überströmungen der Sommerdeiche trotz ihrer Erhöhung, verbunden mit schweren Deichbrüchen. Da im Untergrunde starke Moorschichten liegen, die für hohe Deiche nicht genügend tragfähig sind, so konnten diese Mißstände nicht durch eine weitere Erhöhung der Deiche beseitigt werden.

Außerdem machte sich im Eiderbett selbst auf etwa 5 km Länge unterhalb der Rendsburger Schleuse ein erheblicher Schlickfall bemerkbar, der umfangreiche Baggerungen zur Erhaltung der Fahrwassertiefe notwendig machte. Die Ursache dieses weit stromaufwärts reichenden Schlickfalles ist darin zu erblicken, daß durch die Abschneidung des Oberlaufes der Eider mit einem Einzugsgebiet von 1200 qkm durch den Nord-Ostsee-Kanal der natürliche Süßwasserzufluß aufgehört hat. Vom Kanal aus konnte zwar zunächst doch durch die Rendsburger Schleuse eine Spülung der unteren Eider durch Einlassen von Kanalwasser erfolgen, dies mußte aber stark eingeschränkt oder ganz aufgegeben werden, nachdem sich der Salzgehalt des Kanalwassers bei Rendsburg gleichzeitig mit der Erweiterung des Kanals in solchem Maße erhöht hatte, daß er für die Landeskultur in der Eiderniederung nicht mehr erträglich war.

Zur Abstellung dieser Mißstände ist die Eider in den Jahren 1934/36 bei Nordfeld, 78,4 km unterhalb von Rendsburg, d. i. 5 km oberhalb von Friedrichstadt oder 21,6 km oberhalb von Tönning sturmflutfrei abgeschleust worden. In dem Durchstich wurde zunächst in den Jahren 1934/35 ein großes Entwässerungssiel mit 100 qm Durchflußquerschnitt in fünf Öffnungen von je 6 m lichter Weite und einer Schiffahrtsschleuse von 70 m Länge und 9,5 m Breite angelegt. Darauf wurde im Jahre 1936 der eigentliche Eiderlauf durch einen sturmflutfreien Erddamm geschlossen.

Durch diese Anlage ist der Eiderlauf zwischen Nordfeld und Rendsburg dem Zutritt von Ebbe und Flut vollständig entzogen, und der Binnenwasserstand wird allein nach den landwirtschaftlichen Bedürfnissen geregelt. Für die Entwässerung der angrenzenden Niederungen soll der Binnenwasserstand möglichst unter —0,9 NN gehalten werden. Für die Schiffahrt ist auf der Binneneider teils durch Ausbaggerung und teils durch Aufstau des Wassers durch eine zweite kleinere Abdämmung mit Schleuse bei Lexfähre eine Wassertiefe von 3,3 m hergestellt worden.

Durch die Abdämmung ist der Tideverlauf in der Eider stark beeinflußt, da das ganze Aufnahmebecken oberhalb von Nordfeld sowohl für die gewöhnlichen Tiden als auch für Sturmfluten ausfällt. Aus Abbildung 11 geht hervor, wie sich die normale Tidekurve der Eider bei Nordfeld zunächst infolge der Abdämmung geändert hat. Das MThw ist an der Sperrstelle von 1935 auf 1937 um 0,32 m gestiegen und dasMTnw um 0,66 m gefallen, so daß also der mittlere Tidehub fast um 1 m zugenommen hat, von 2,36 m auf 3,34 m. Selbst bei Tönning, 21,6 km unterhalb der Abschleusung, betrug die Hebung des MThw noch 0,16 m, die Zunahme des Tidenhubes 0,49 m. Besonders hat sich auch die ganze Form der Tidekurve zunächst stark verändert. Durch das Zurückwerfen der Tidewelle am Stauwerk stellte sich zunächst eine sehr rasch ansteigende Flut und ein lang anhaltendes Thw ein, in dem sich zwei Wellenscheitel andeuten.

Von besonderer Bedeutung ist die Frage, ob und in welchem Maße sich die Höhe der Sturmfluten infolge der Abdämmung verändert. Rechnerische Untersuchungen hatten ergeben, daß mit einem Ansteigen der höchsten Sturmfluten um 0,53 m zu rechnen sei. Dagegen hatten in der Preußischen Versuchsanstalt für Wasserbau und Schiffbau in Berlin durchgeführte Modellversuche

ein höheres Auflaufen um 1,03 m ergeben. Bei einer Sturmflut am 27. November 1938 ist der Wasserstand nur um 0,11 m darunter geblieben. Daraus ist zu schließen, daß die Modellversuche zutreffende Ergebnisse geliefert haben, während die Berechnung einen erheblich zu niedrigen Sturmflutwasserstand ergeben hat. Im Zusammenhang mit der Abschleusung der Eider sind wegen der Erhöhung der Sturmfluten auch die Eiderdeiche unterhalb der Sperrstelle abwärts bis Friedrichstadt erhöht worden und sollen noch weiter stromabwärts bis Tönning verstärkt werden.

Nach der Abdämmung der Eider im Jahre 1936 ist eine starke Versandung des Eiderbettes unterhalb der Abschleusung eingetreten, die sich nach zwei Jahren, im Sommer 1938, schon auf 10 km Länge erstreckte und eine Ablagerungsmenge von 10,5 Millionen cbm umfaßte. Wider Erwarten handelte es sich nicht um eine Verschlickung, sondern um die Ablagerung von Sand, der von den Watten unterhalb von Tönning stammte. Diese Versandung hat sich in den folgenden Jahren, wenn auch in vermindertem Maße, fortgesetzt und hat bis 1946 einen Umfang von fast 19 Millionen cbm erreicht.

Unterhalb der Abschleusung ist das früher (1935) etwa 800 qm im Querschnitt messende Niedrigwasserbett fast vollständig, 1947 bis auf 2 qm, verschwunden, und das ehemals 1550 qm große Hochwasserprofil ist auf 330 qm zusammengeschrumpft. Der Sand dringt bis vor die Tore des Sperrwerkes vor und verhindert die Öffnung der Tore, so daß diese dann freigebaggert werden müssen. Die Versandungen erstrecken sich stromabwärts bis nach Tönning und haben etwa 20 km unterhalb der Abschleusung das Hochwasserbett von 2400 qm auf 2060 qm, d. i. um 14 v. H., und das Niedrigwasserbett von 1380 qm auf 1040 qm, d. i. um 25 v. H., verringert.

Die auf der Eider nur noch in geringem Umfange stattfindende Kleinschiffahrt ist auf die Zeit des Tidehochwassers beschränkt.

Verheerend sind die Folgen der Versandung für die Entwässerung der oberhalb der Absperrung liegenden Eiderniederung. Während zunächst nach der Ausführung der Abdämmung im Jahre 1937 der für die Entwässerung angestrebte Binnenwasserstand von —0,9 NN kaum jemals überschritten wurde, war dies im Jahre 1946 an 242 Tagen der Fall. Regenfälle in dem 1500 qkm großen Einzugsgebiet verursachen oft große Überschwemmungen in der Eiderniederung, die bei der mangelhaften Vorflut nur langsam zurückgehen.

Die unterhalb der Eiderabdämmung eingetretene starke Versandung hat ihre Ursache darin, daß durch das Sperrwerk die Tidebewegung zur Binneneider vollkommen abgeschnitten worden ist. Vor der Absperrung strömten dort bei jeder Tide 12,5 Millionen cbm Wasser ein und aus, und bei Tönning betrug die Tidewassermenge 22,0 Millionen cbm. Nach der Absperrung ging die Tidebewegung am Sperrwerk auf 0 zurück und nahm bei Tönning auf 16,6 Millionen cbm, also um 5,4 Millionen cbm ab. Infolge der Vergrößerung des Tidenhubes erreichte die Verminderung des Tidewassers bei Tönning nicht das volle Maß von 12,5 Millionen cbm, das jetzt an der Sperrstelle nicht mehr durchfließen kann. Bei der fortschreitenden Versandung, die sich auch über das Thw erstreckt, hat sich der Speicherraum für Tidewasser inzwischen stark verringert und bis 1946 zu einer weiteren Abnahme der Tidewassermenge bei Tönning um 3,3 Millionen cbm auf 13,3 Millionen cbm geführt.

Das Hinaufschieben der gewaltigen Sandmassen in die Eider unterhalb des Sperrwerkes hat seine Ursache darin, daß der Ebbestrom durch die völlige Absperrung der oberen Eider von der Tidebewegung mehr geschwächt ist als der Flutstrom, der infolge des raschen Ansteigens der ersten Flut die Grenzgeschwindigkeit, bei der der Wattensand noch bewegt wird, noch längere Zeit

überschreitet und den feinen Sand stromaufwärts mit sich führt. Während der langen Hochwasserzeit setzt sich der Sand ab und wird von dem flauen Ebbestrom nicht wieder seewärts geführt, wie es vor der Absperrung der Fall war, wo die Räumungskraft des Ebbestromes nicht nur dazu ausreichte, das Flußbett reinzuhalten, sondern sogar noch zu vertiefen.

Ein Abschluß der Versandung ist in absehbarer Zeit noch nicht zu erwarten, es ist vielmehr zu befürchten, daß das ganze Eiderbett mit der Zeit bis auf ein schmales Priel verlandet und dann nicht nur die Entwässerung der Eiderniederung oberhalb des Sperrwerkes sich weiter verschlechtert, sondern daß dieser Mißstand sich dann auch noch auf die unterhalb des Sperrwerkes mündenden Entwässerungen ausdehnt, insbesondere auf den Vorfluter der großen Treeneniederung.

Über die Abhilfemaßnahmen ist noch kein endgültiger Beschluß gefaßt. Zur Erörterung stehen unter anderen insbesondere zwei Möglichkeiten. Ein Vorschlag strebt an, durch Einlassen von Flutwasser in die obere Eider und Auslassen desselben bei niedrigen Ebbewasserständen wieder eine natürliche Spülung des Unterlaufs der Eider in solchem Maße zu erreichen, daß die für eine natürliche Entwässerung notwendige Vorflut und für die Kleinschiffahrt ausreichende Fahrwassertiefen wieder erreicht werden. Andere Vorschläge gehen dahin, die natürliche Entwässerung und die unbedeutende Schiffahrt ganz aufzugeben und für die Entwässerung der Eiderniederung ein großes Schöpfwerk mit einer Leistung von 70 cbm/sec zu bauen, dem bald ein ähnliches Pumpwerk an der Treenemündung bei Friedrichstadt würde folgen müssen.

Die Abdämmung der Eider stellt ein warnendes Beispiel dafür dar, daß man die natürlichen Verhältnisse einer Flußmündung im Tidegebiet nicht durch einen künstlichen Eingriff vollständig umgestalten sollte.

Nr. 20
Abb. 1

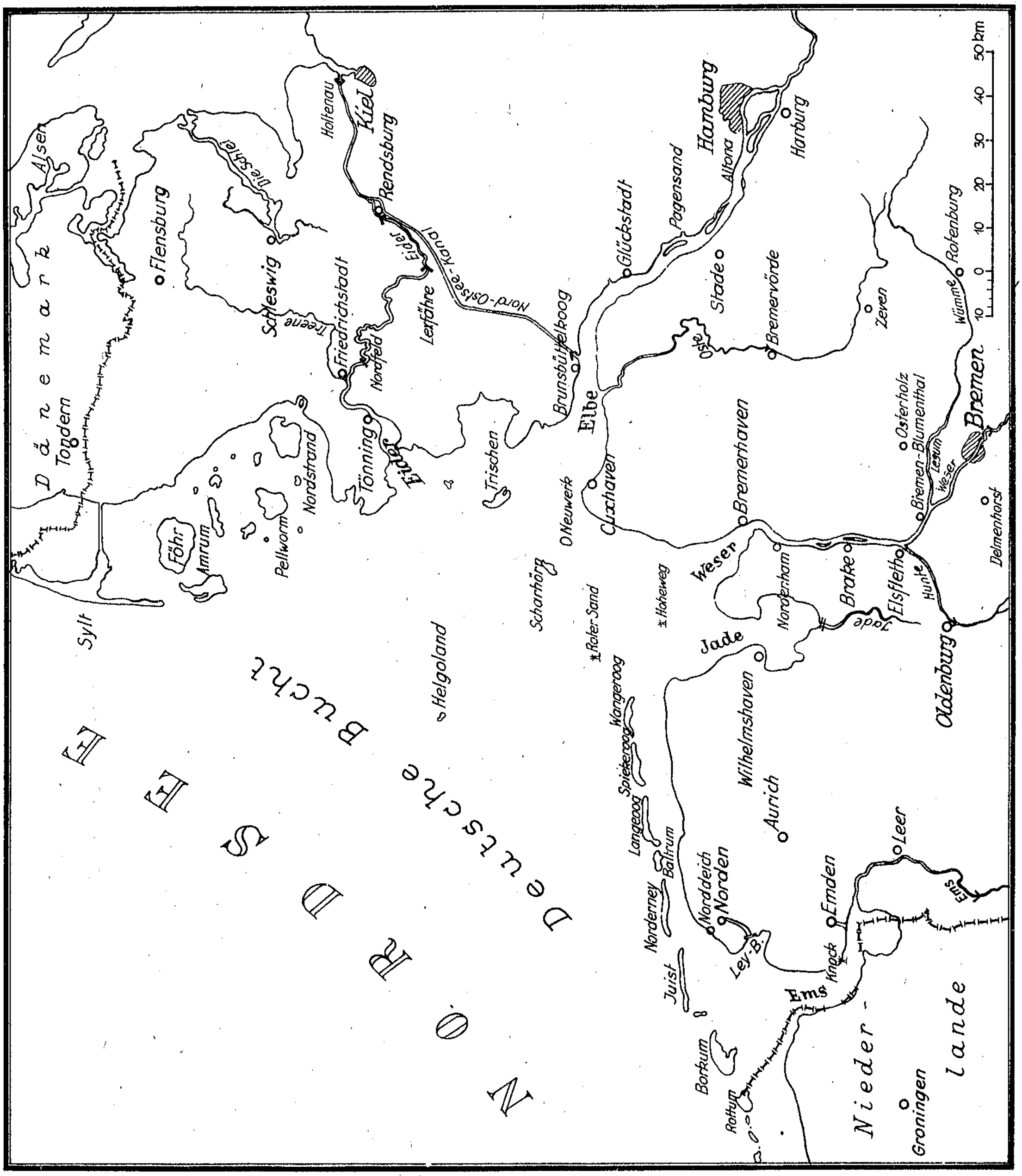
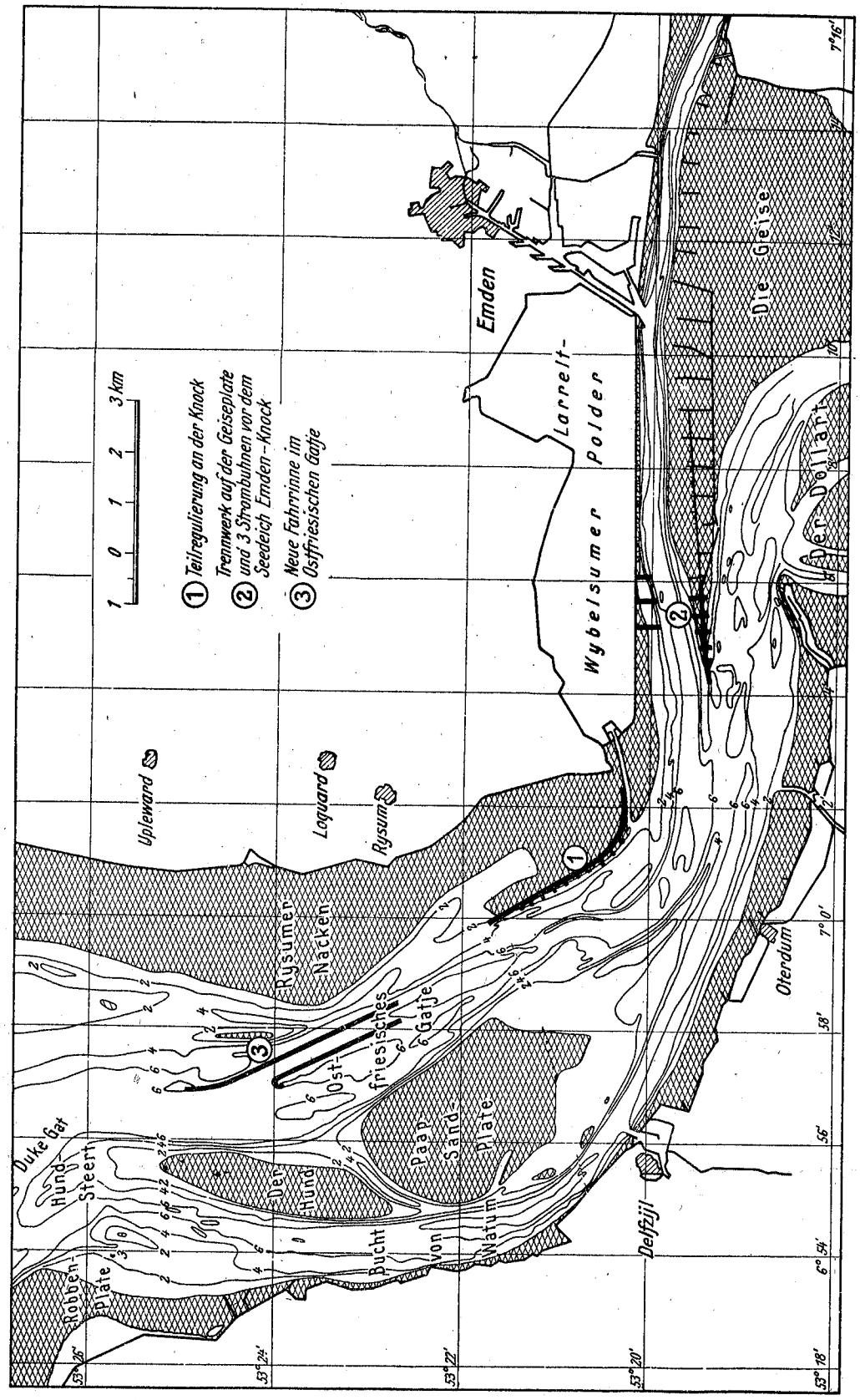
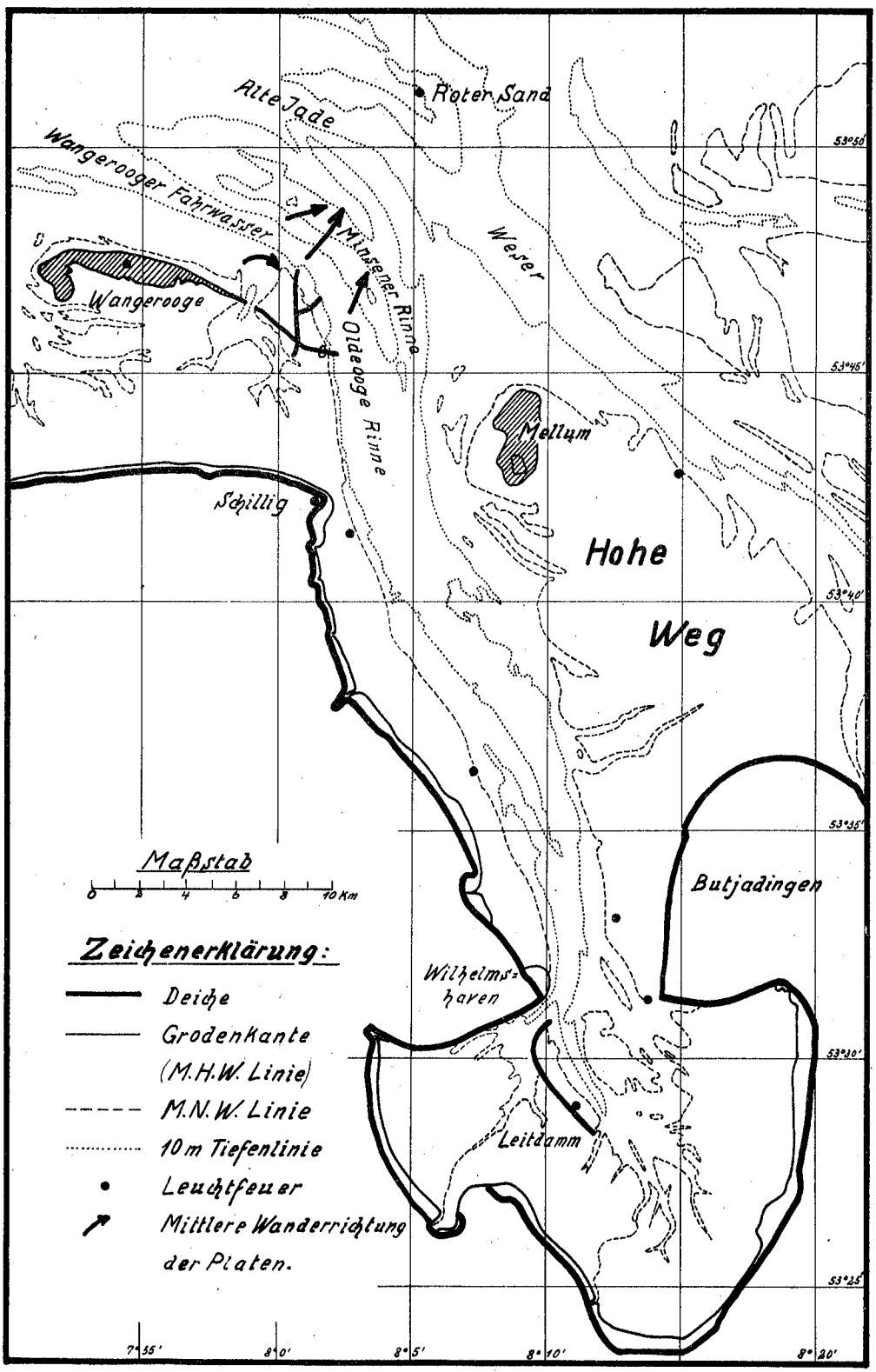

Dänemark
Alsen
Flensburg
Tondern
Sylt
Föhr
Amrum
Pellworm
Nordstrand
Schleswig
Die Schlei
Treene
Friedrichstadt
Nordfeld
Tönning
Eider
Lexfähre
Rendsburg
Kiel
Holtenau
Nord-Ostsee-Kanal
Brunsbüttelkoog
Trischen
Glückstadt
Pagensand
Altona
Hamburg
Harburg
Stade
Elbe
Neuwerk
Cuxhaven
Scharhörn
Helgoland
Deutsche Bucht
NORDSEE
Roter Sand
Hoheweg
Bremerhaven
Bremervörde
Oste
Zeven
Rotenburg
Wümme
Osterholz
Bremen-Blumenthal
Lesum
Weser
Bremen
Delmenhorst
Nordenham
Brake
Elsfleth
Hunte
Jade
Oldenburg
Wilhelmshaven
Wangerooge
Spiekeroog
Langeoog
Baltrum
Norderney
Juist
Borkum
Rottum
Norddeich
Norden
Aurich
Leer
Emden
Ley-B.
Knock
Ems
Nieder-lande
Groningen
0 10 20 30 40 50 km

Abb. 2

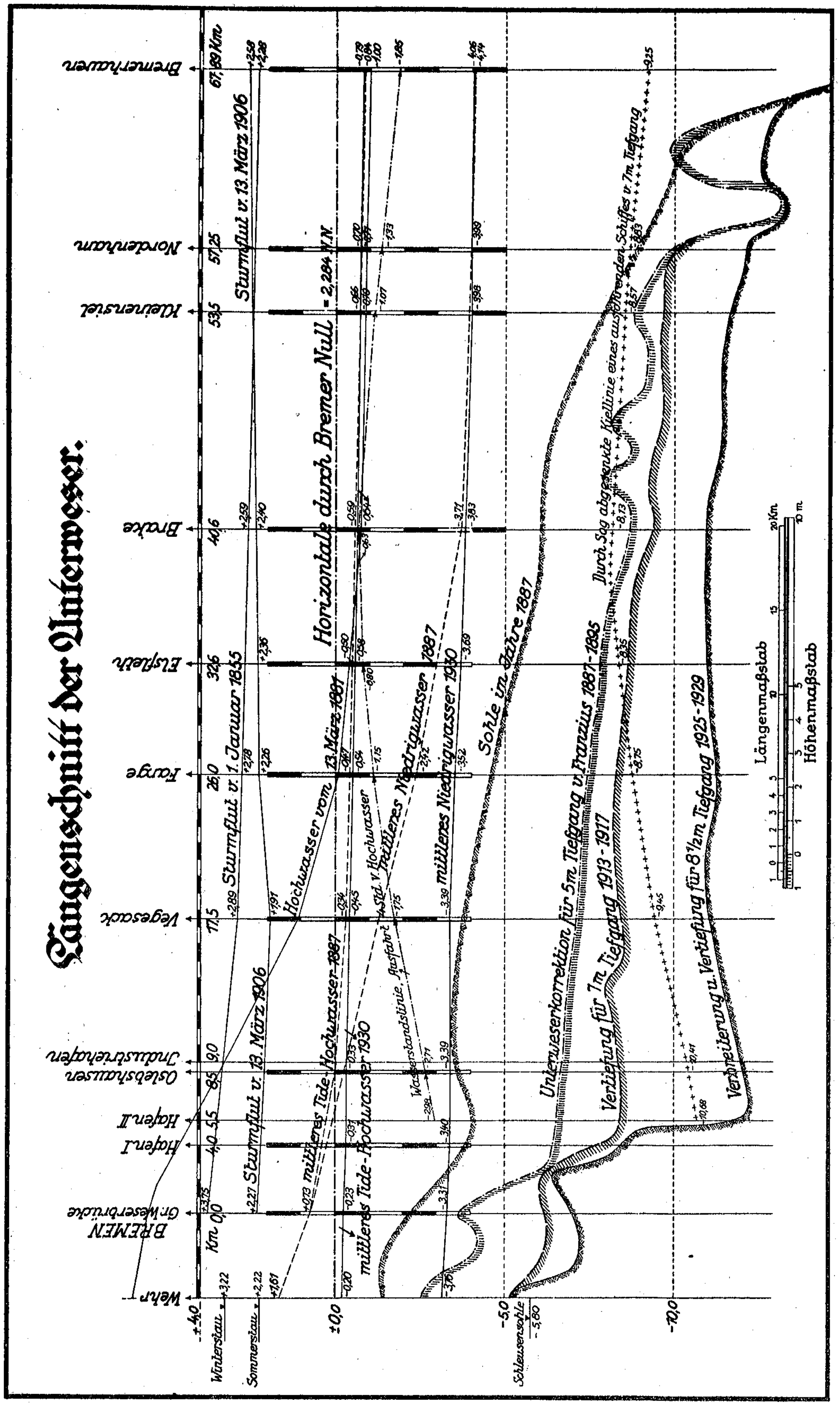


Übersichtsplan.

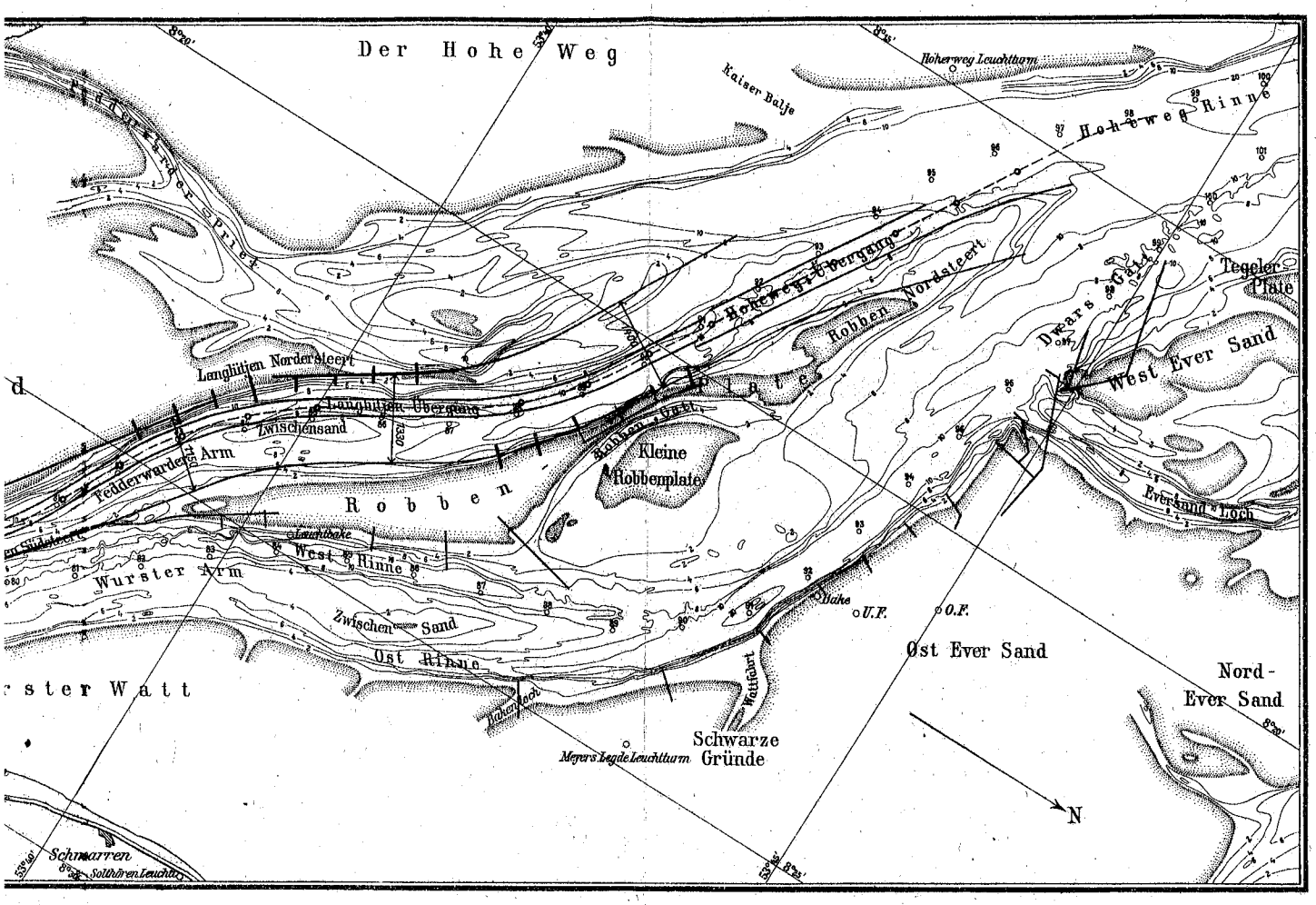


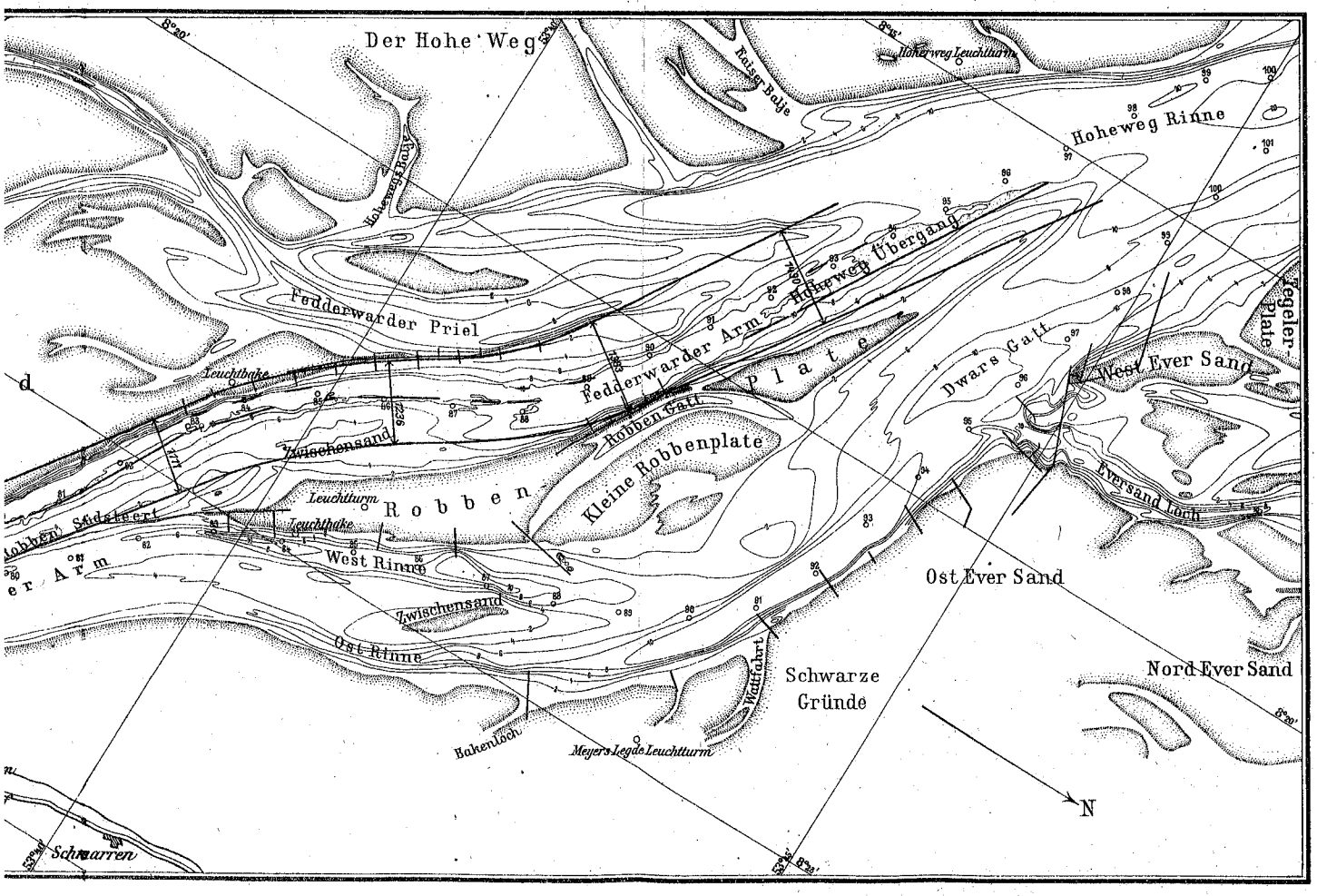
Die Jade im Jahre 1936.

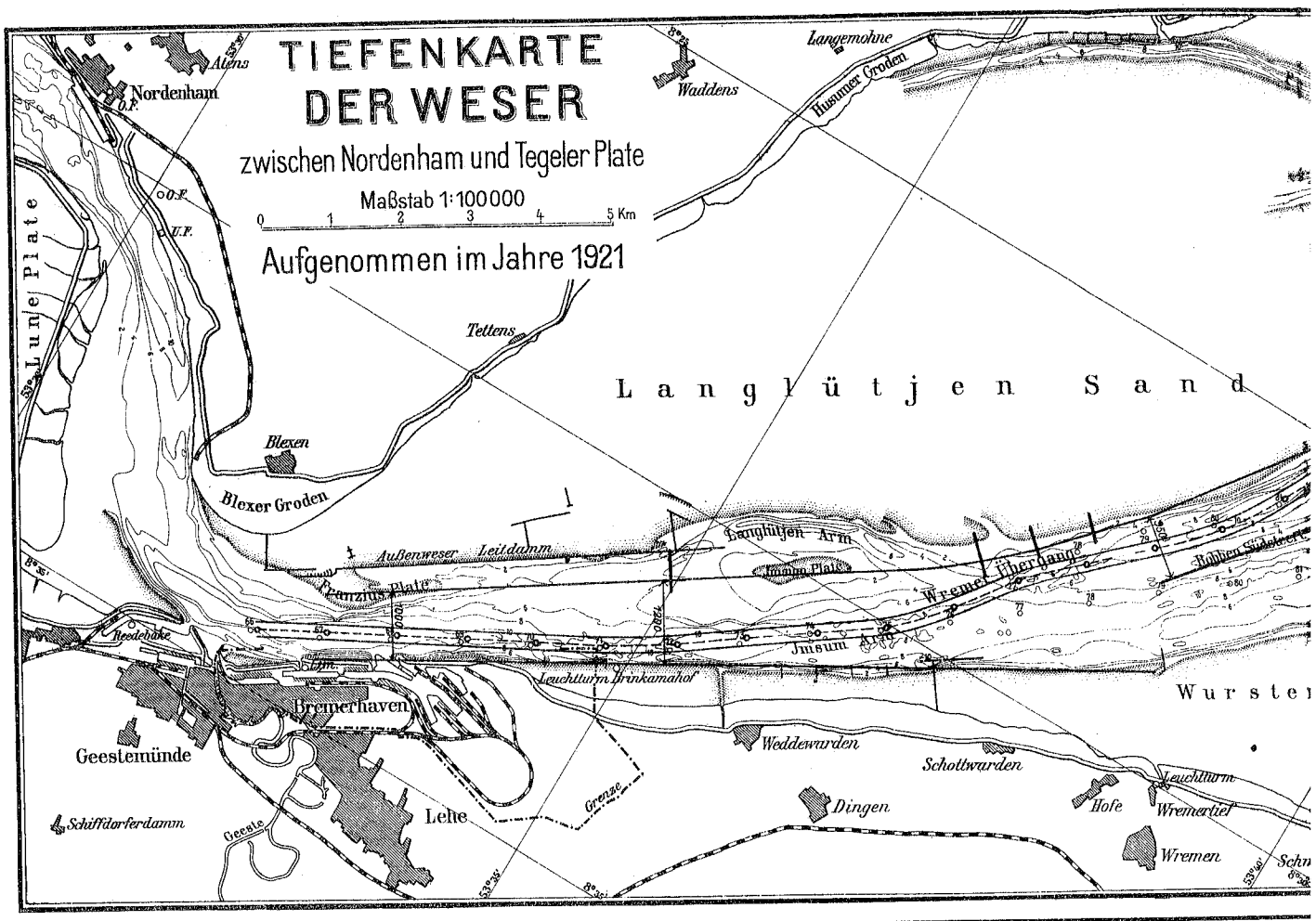
Abb. 4

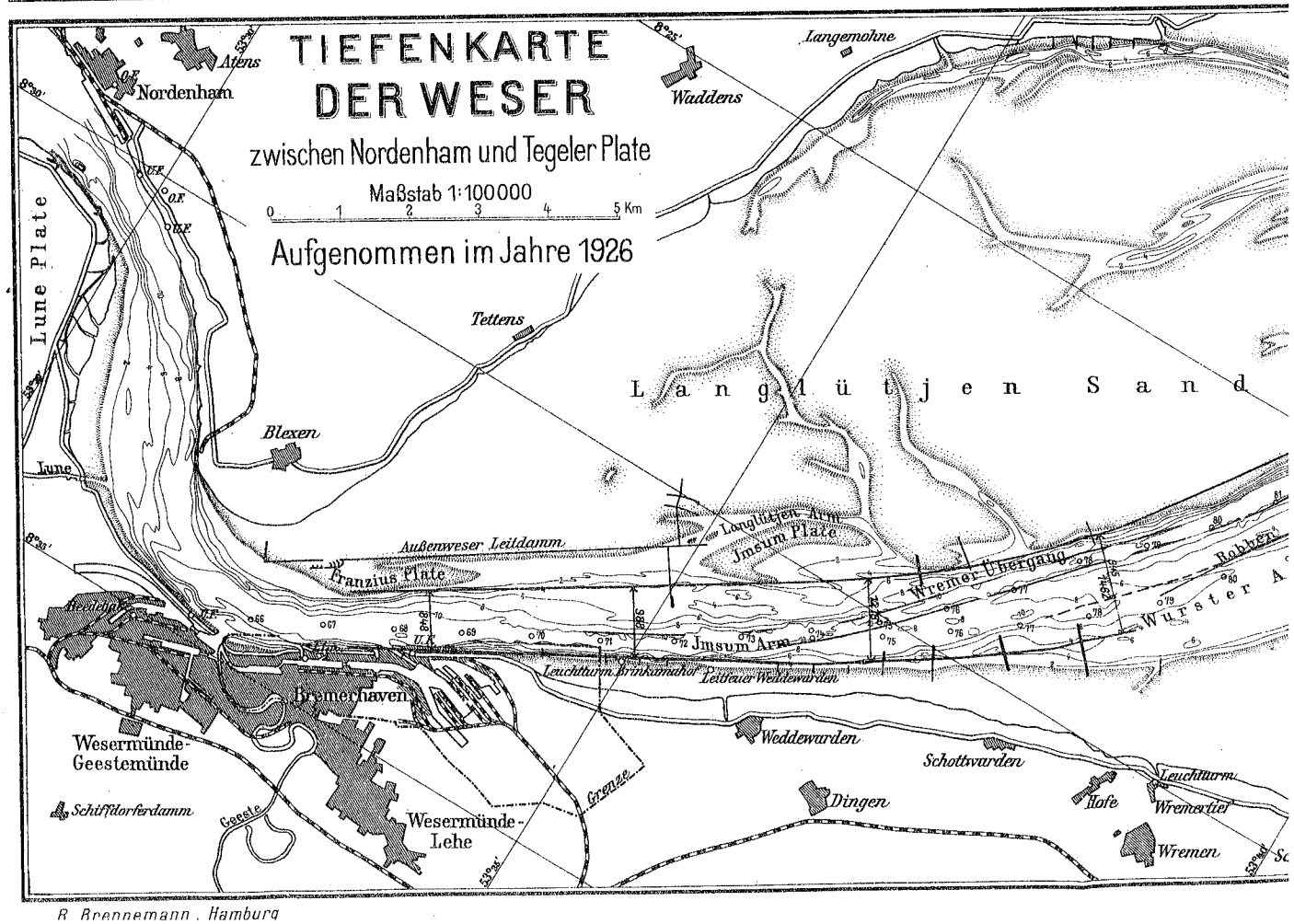

Längenschnitt der Unterweser.
Bremerhaven
Nordenham
Kleinensiel
Brake
Elsfleth
Farge
Vegesack
Industriehafen
Oslebshausen
Hafen II
Hafen I
BREMEN Gr. Weserbrücke
Wehr
Sturmflut v. 13. März 1906
Horizontale durch Bremer Null = 2,284 N.N.
Sturmflut v. 1. Januar 1855
Hochwasser vom 13. März 1881
mittleres Niedrigwasser 1887
mittleres Niedrigwasser 1930
Sohle im Jahre 1887
Unterweserkorrektion für 5 m Tiefgang v. Franzius 1887-1895
Vertiefung für 7 m Tiefgang 1913-1917
Verbreiterung u. Vertiefung für 8½ m Tiefgang 1925-1929
mittleres Tide-Hochwasser 1887
mittleres Tide-Hochwasser 1930
Längenmaßstab
Höhenmaßstab
Winterstau
Sommerstau
Schleusensohle

Nr. 20
Abb. 5


Der Hohe Weg
Hoheweg Leuchtturm
Kaiser Balje
Hoheweg Rinne
Hoheweg Übergang
Robben Nordsteert
Dwars Gatt
Tegeler Plate
West Ever Sand
Eversand Loch
Langlütjen Nordersteert
Langlütjen Übergang
Zwischensand
Tedderwarder Arm
Robben Gatt
Kleine Robbenplate
Robben-Plate
Leuchtbake
West Rinne
Wurster Arm
Zwischen Sand
Ost Rinne
Bake
U.F.
O.F.
Ost Ever Sand
Nord-Ever Sand
Watfahrt
Bakenloch
Meyers Legde Leuchtturm
Schwarze Gründe
Schmarren
Solthörn Leuchtturm
N


Der Hohe Weg
Raise Balje
Hoheweg Leuchtturm
Hoheweg Rinne
Hoheweg Übergang
Fedderwarder Priel
Fedderwarder Arm
Tegeler Plate
Dwars Gatt
West Ever Sand
Eversand Loch
Leuchtbake
Zwischensand
Robben Gatt
Kleine Robbenplate
Robben-Plate
Leuchtturm
West Rinne
Ost Rinne
Ost Ever Sand
Nord Ever Sand
Watfahrt
Bakenloch
Meyers Legde Leuchtturm
Schwarze Gründe
Schmarren
N





R. Brennemann, Hamburg

Nr. 20
Abb. 6-7

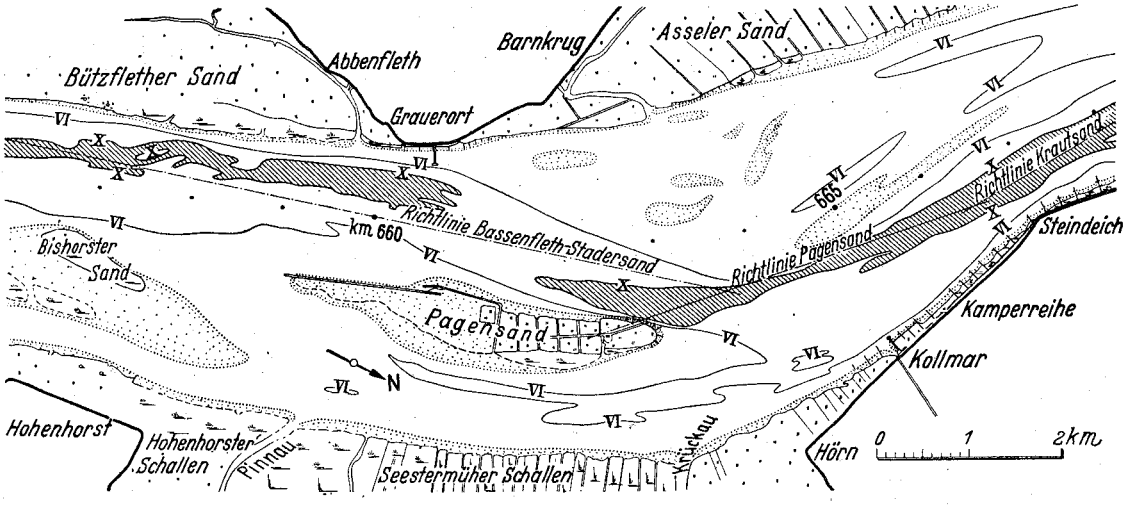


Abb. 6 Pagensand. Zustand 1926.

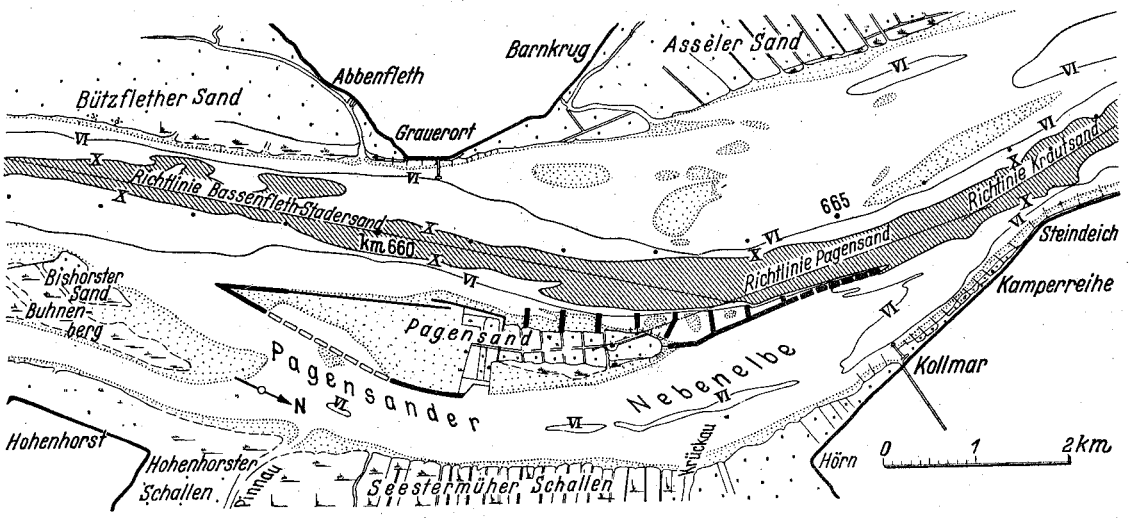


Abb. 7 Pagensand. Zustand 1935.

Nr. 20
Abb. 8-9

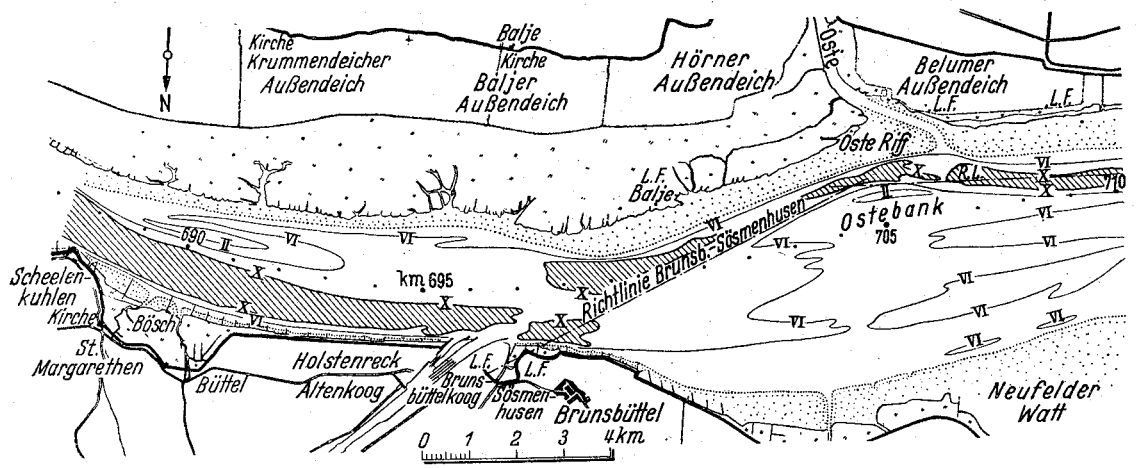


Abb. 8 Ostebank-Südfahrwasser. Zustand 1921.

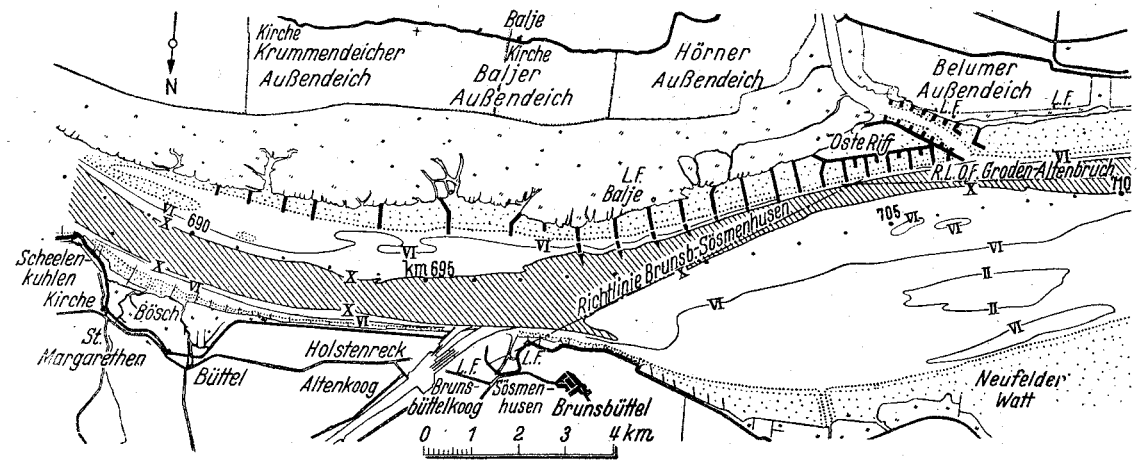
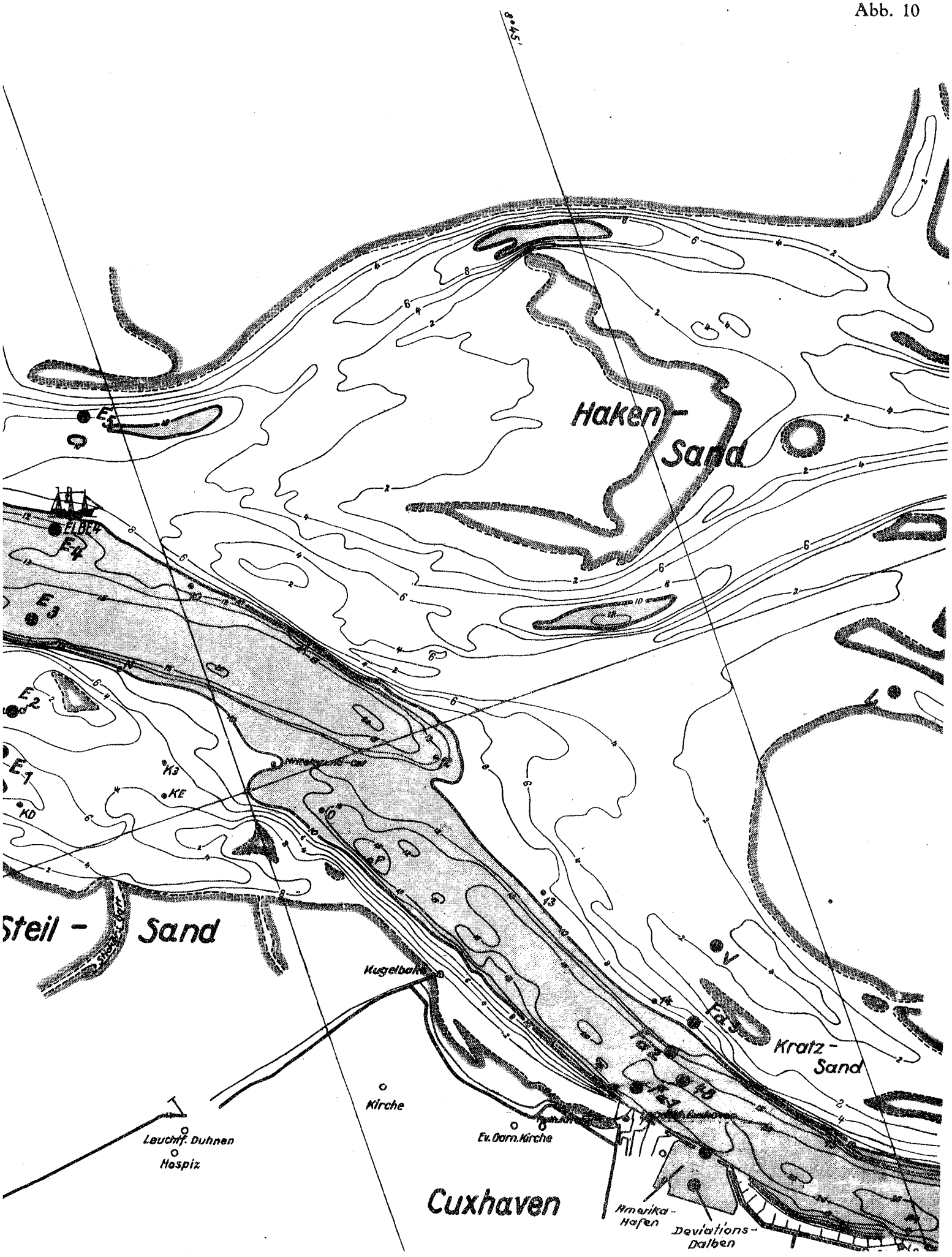
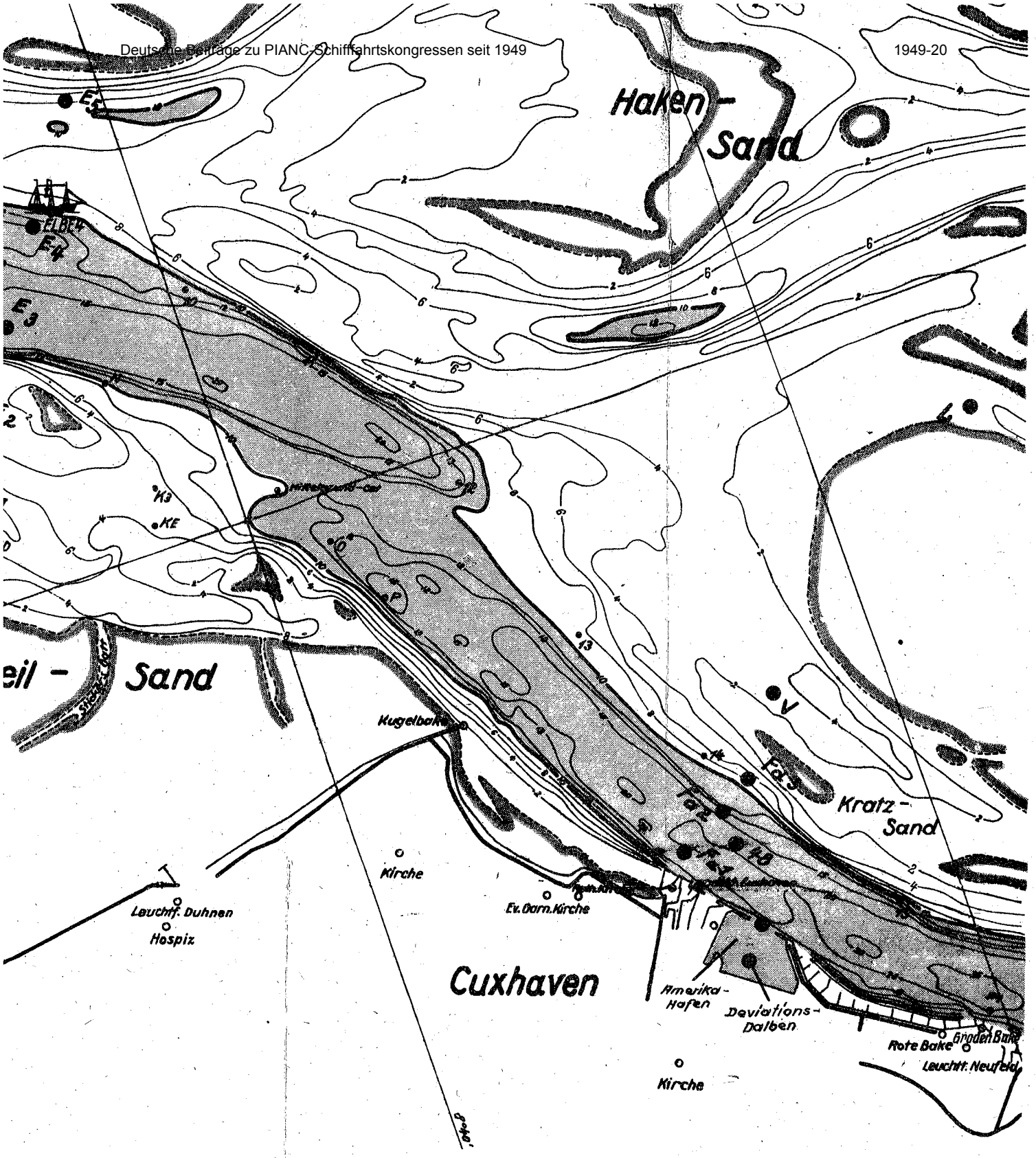


Abb. 9 Ostebank-Südfahrwasser. Zustand 1935.

r angeführten Meßstellen

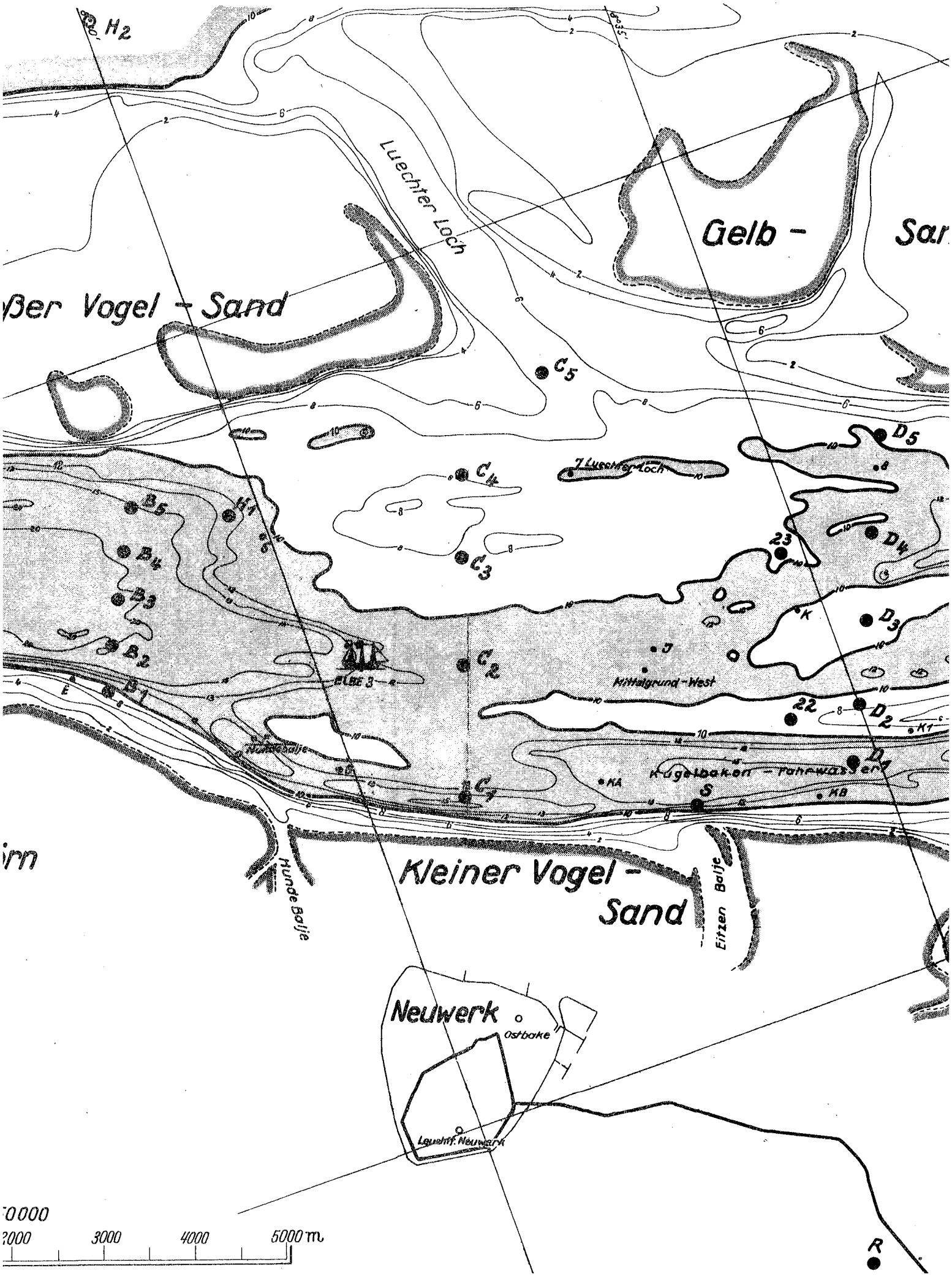
Nr. 20
Abb. 10





Verlag von Julius Springer in Berlin.

Abb. 10. Strömungsmessungen in der Außenelbe.



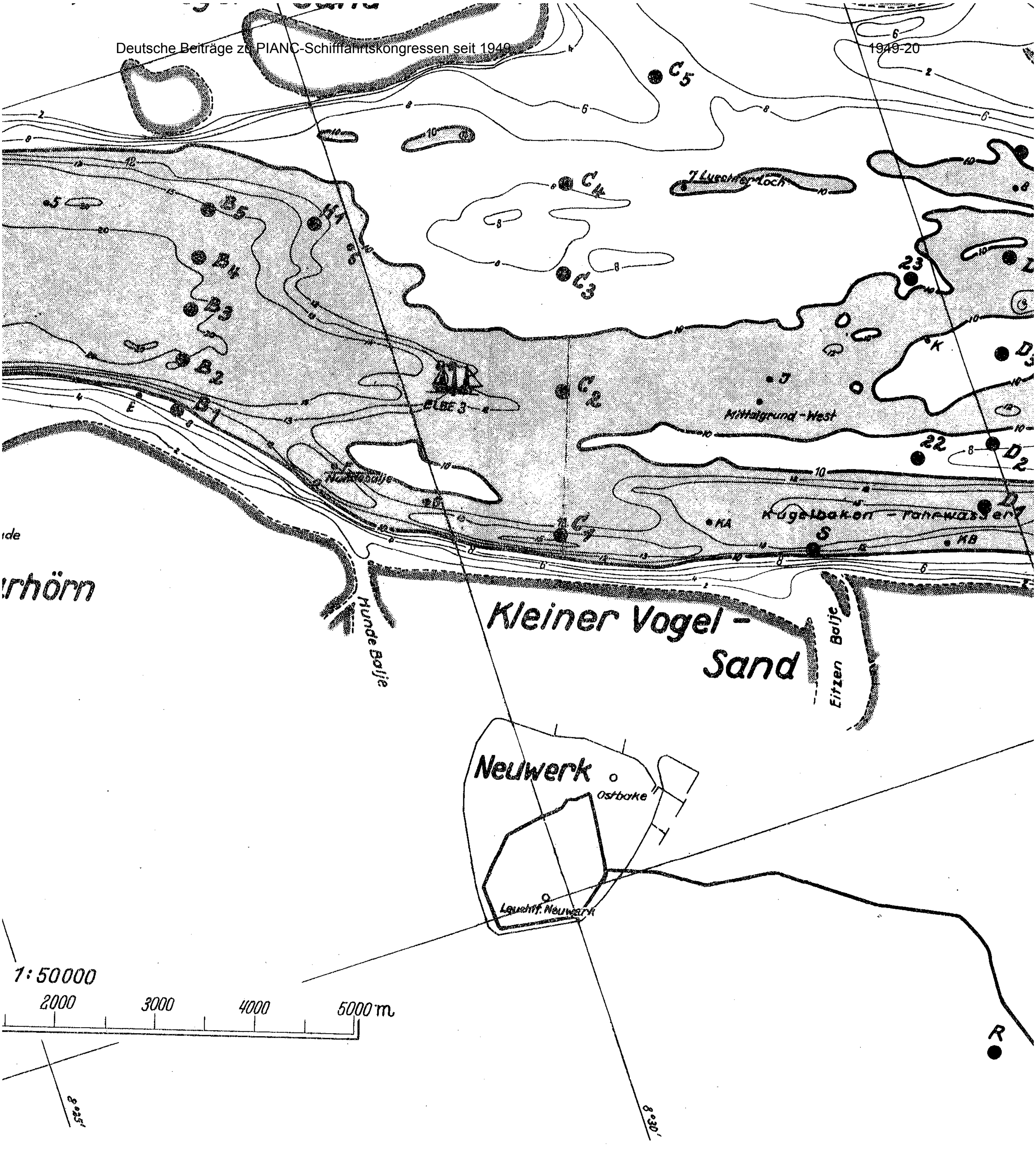
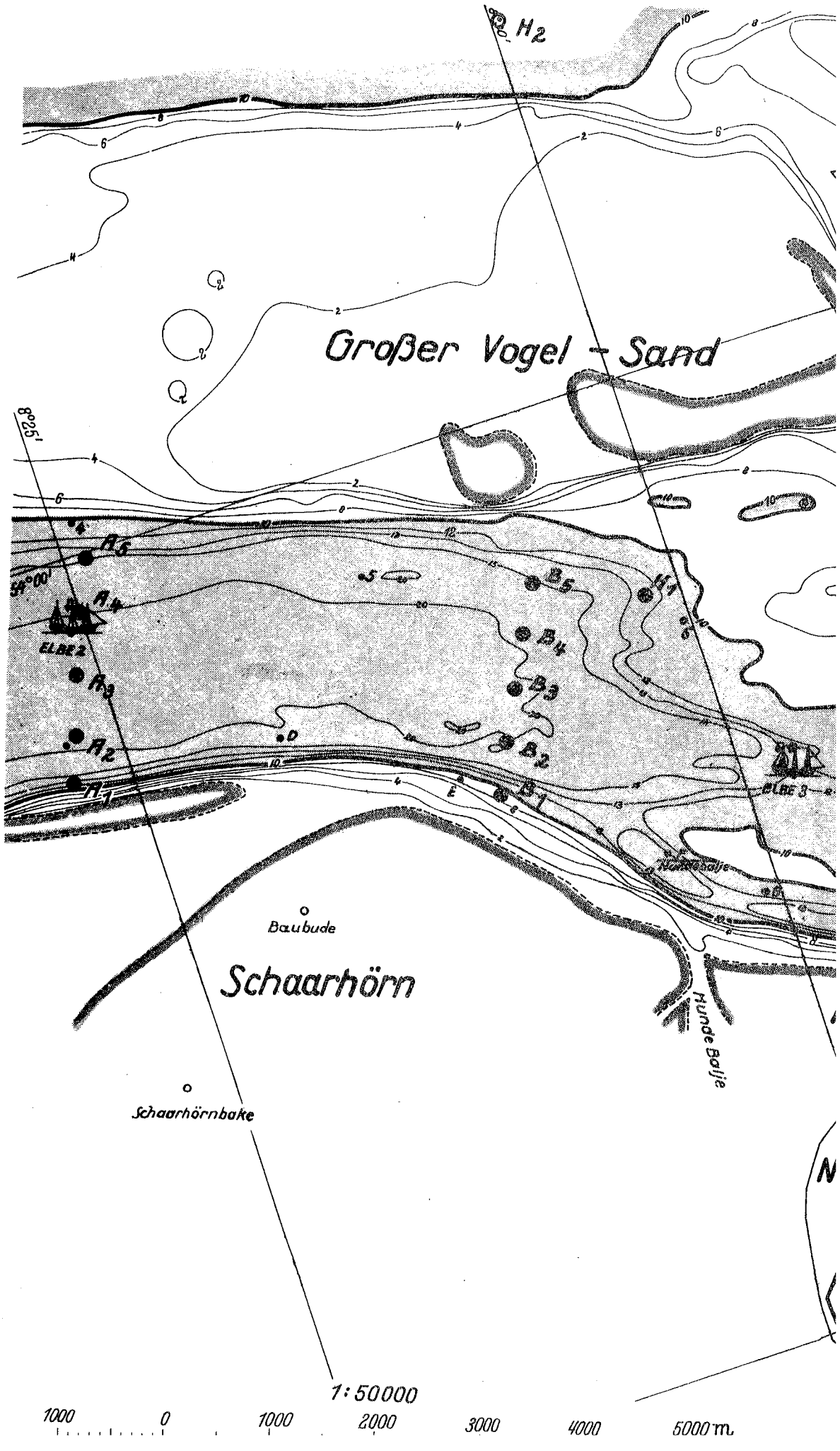
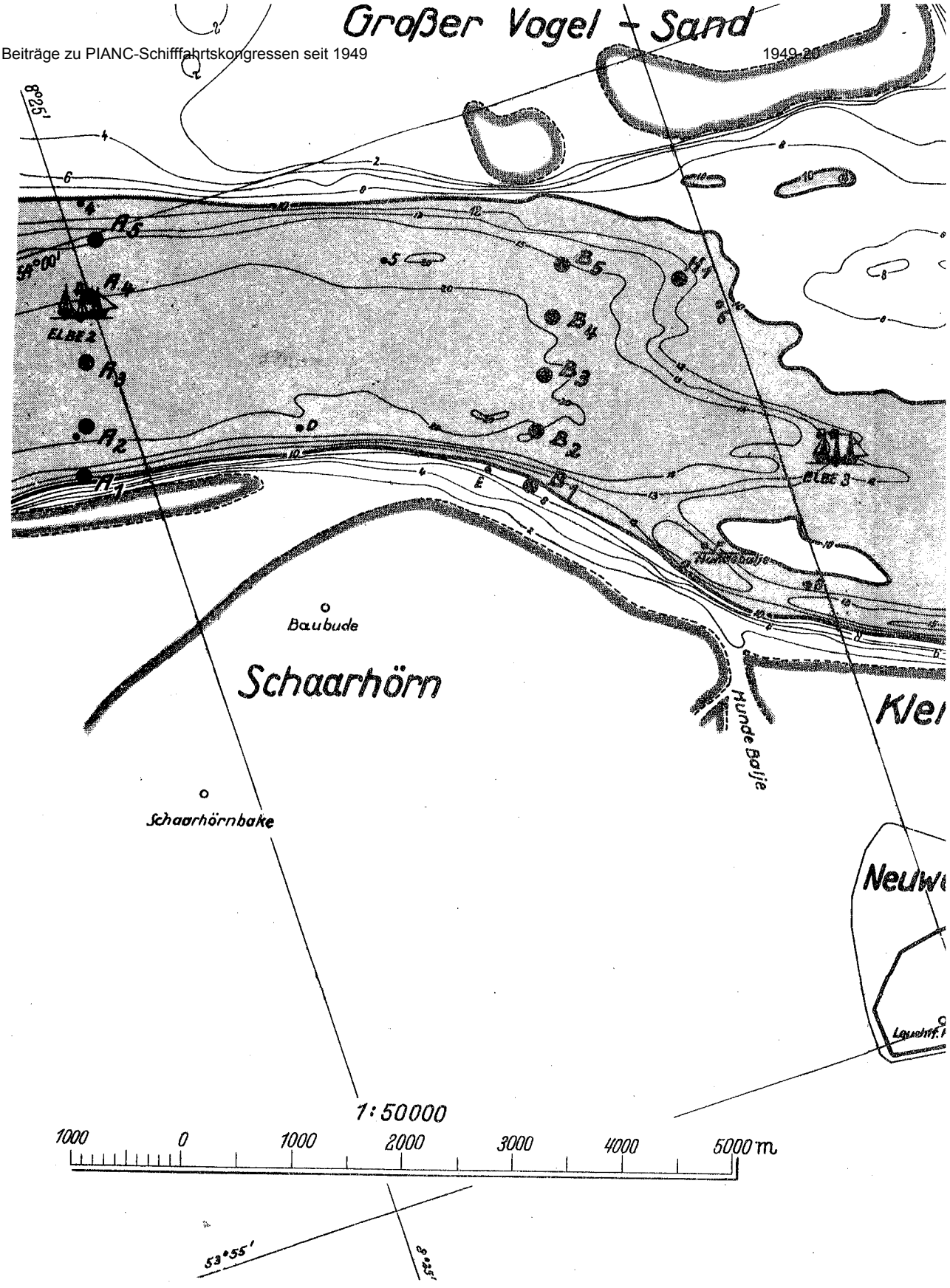

Kleiner Vogel -
Sand
Neuwerk
Ostbake
Leuchtf. Neuwerk
Mittelgrund-West
Kugelbaken - Fahrwasser
Munde Balje
Eitzen Balje
ELBE 3
1:50000
2000
3000
4000
5000 m
8°25'
8°30'

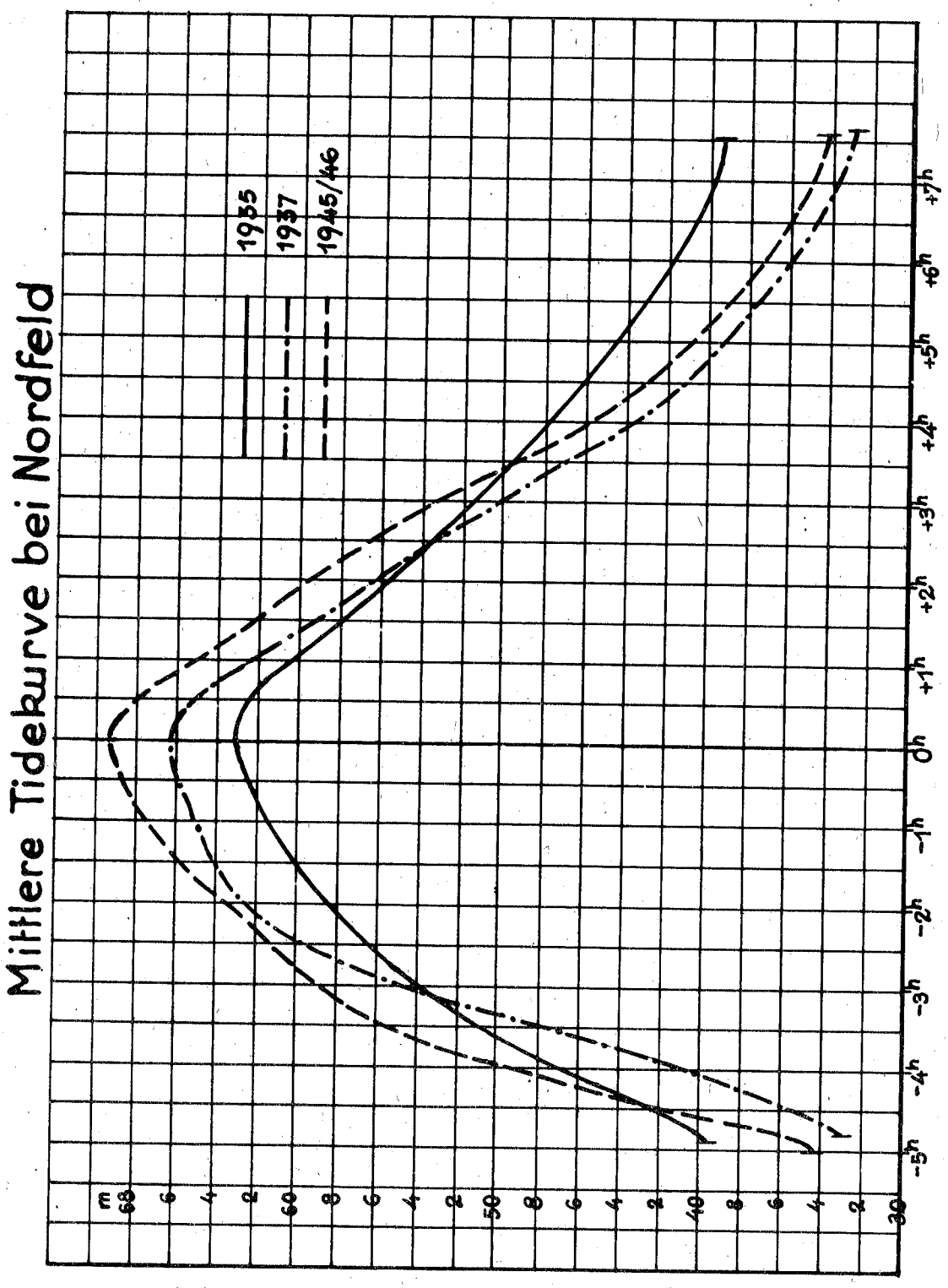
Abb.


H2
Großer Vogel - Sand
8005
54°00'
A5
A4
A3
A2
A1
B5
B4
B3
B2
B1
ELBE 2
ELBE 3
Baubude
Schaarhörn
Schaarhörnbake
Hunde Balje
1:50000
1000 0 1000 2000 3000 4000 5000 m



Jahrbuch der HTG. Bd. 18 (Beitrag Hensen).

Abb. 11


Mittlere Tidekurve bei Nordfeld
1935
1937
1945/46
m
68
6
4
2
60
8
6
4
2
50
8
6
4
2
40
8
6
4
2
30
-5h
-4h
-3h
-2h
-1h
0h
+1h
+2h
+3h
+4h
+5h
+6h
+7h

21

Verbesserung von Flußmündungen an Meeren ohne Tidebewegung, unter besonderer Berücksichtigung der Ost- und Südküste der Ostsee.

Von Dr.-Ing. Egon Leppik, Reg.- u. Baurat i. R. in Hamburg.

I. Einleitung.

Bei der Behandlung der Frage ist von den natürlichen Verhältnissen in den Mündungsstrecken und an den anliegenden Küsten ausgegangen worden, wonach die durch Regelung der Mündungsstrecke, Anlagen an der Mündung und sonstige Maßnahmen erzielten Ergebnisse festgestellt wurden. Daran schließt sich eine Untersuchung der zur weiteren Verbesserung der Mündungsverhältnisse erforderlichen Maßnahmen.

Die bestehenden Anlagen stellen Modelle im natürlichen Maßstabe dar. Bei ähnlichen Verhältnissen, wie sie streckenweise an der Ost- und Südküste der Ostsee vorliegen, ist es möglich, Vergleiche von Anlagen und Maßnahmen verschiedener Art in ihrer Auswirkung auf die Mündungsverhältnisse durchzuführen. Daraus ergeben sich wertvolle Hinweise zur Verbesserung bestehender Anlagen.

Eine rechnerische Erfassung der Vorgänge kann erst dann zu brauchbaren Ergebnissen führen, wenn durch langjährige, eingehende Untersuchungen die Einwirkung der natürlichen Kräfte auf die Gestaltung der Mündungen genügend geklärt ist. Im einzelnen sind zu untersuchen einerseits die Wasser-, Eis- und Sinkstoffbewegung in der Mündungsstrecke, andererseits in Verbindung mit der Richtung und Stärke der Winde, die Wasserbewegung (Wellen, Brandung, Strömung) und Sandwanderung an der luv- und leeseitigen Küste. Anhaltspunkte für eine solche Untersuchung ergeben sich aus der Berechnung des Wellenenergiefaktors nach Munch-Petersen (1) und der Zerlegung dieses Faktors in die entsprechenden Komponenten. Solche Berechnungen sind in diesem Bericht für einige Flußmündungen, über die genügend Angaben vorlagen, durchgeführt worden.

Bei der gruppenweisen Betrachtung ähnlicher Mündungsverhältnisse ergeben sich die Vorteile oder Nachteile der einzelnen Anlagen, was zur Klärung des Problems auf breiterer Grundlage dient.

In Ergänzung zu den Untersuchungen an Modellen im natürlichen Maßstab sind auch Modellversuche im kleineren Maßstab zu empfehlen. Aus letzteren erhält man nützliche Hinweise auf die Wasserbewegung in der Mündungsstrecke vor und nach der Einschaltung neuer oder ergänzender Anlagen, während die Sinkstoffbewegung mit Barrenbildung vor der Mündung sich im Modell nicht naturähnlich darstellen läßt. Auch ist die unter der Windwirkung entstehende Wasserbewegung an der Küste im Modell schwer darstellbar. Die Frage der Modellversuche ist noch zum Schluß dieses Be-

richtes im Zusammenhang mit den Ergebnissen der Modellversuche im natürlichen Maßstabe berührt worden.

Bei der Wahl der Maßnahmen zur Verbesserung der Flußmündungen ist von der bisherigen Entwicklung der Mündungen unter der Auswirkung der maßgebenden Naturvorgänge auszugehen. Dazu gehören die Wasser- und Materialbewegung vom Strom aus und an der Küste.

Die Wasserbewegung in den Mündungsstrecken wird durch den Windstau von seiten der See gehemmt. Auch bei ruhender See besteht eine gewisse Hemmung beim Zusammenstoß der ausströmenden Wassermenge mit der ruhenden Wassermasse der See. Die Wirkung des Staues von seiten der See läßt sich mit der Wirkung eines beweglichen Wehres auf fester Unterlage vergleichen. Dem Anwachsen des Windstaues entspricht eine Hebung des Wehres, was zu einer weiteren Verzögerung und schließlich zu einem Stillstand der Strömung im Müdungsgebiet führt. Zu der mechanischen kommt noch eine physikalische Wirkung, welche durch die Verschiedenheit der Dichte des Fluß- und Meerwassers bedingt ist. Infolgedessen schiebt sich das Meerwasser unter das ausströmende Flußwasser, welches sich dann als Oberschicht noch weiter seewärts ausbreitet. Ganz besonders aber kann die Wasserbewegung vom Strom aus durch die Eisverhältnisse gehemmt werden, erstmalig durch Grund- und Schwebeeis, was zu einer Verstopfung des Strombettes führen kann, und dann durch Eisversetzungen beim Eisgang.

In unmittelbarer Abhängigkeit von der Wasserbewegung steht die Sinkstoff- und Geschiebebewegung. Infolge der geringen Strömungsgeschwindigkeit im Bereich des Mündungsgebietes ist die Geschiebebewegung örtlich begrenzt, wogegen die Sinkstoffbewegung vom Strom aus bis in das Meer hinausreicht. Beim Windstau kommt es zwar zeitweilig zur Ablagerung von Sinkstoffen innerhalb der Mündungsstrecke, die aber bei nachlassendem Windstau von der Strömung wieder aufgenommen und zur Mündung weiter verfrachtet werden. Erst bei der Mischung von Fluß- und Meerwasser nimmt die Ablagerung von Sinkstoffen einen größeren Umfang an.

Zu der Wasser-, Sinkstoff- und Geschiebebewegung vom Strom aus tritt eine solche längs der Küste, welche zum Teil durch Temperaturunterschiede (Dichteströmung) oder durch Winde (Drift) hervorgerufen wird. Dazu kommt die Wellenbewegung mit Brandung.

Dadurch werden je nach dem Verlauf der Küstenlinie, der Höhenlage der Küste und den Tiefenverhältnissen der See die leichteren Bodenbestandteile in Bewegung gesetzt und verfrachtet. An den Mündungen wird die Wasser- und Materialbewegung längs der Küste durch das ausströmende Flußwasser abgelenkt. Somit hemmen sich beide Wasserbewegungen, von der Küste und vom Fluß aus, gegenseitig, was zur Verminderung der Transportfähigkeit, zu Ablagerungen und Barrenbildungen an den Mündungen führt. Einen gewissen Einfluß auf die Ausbildung der Mündungen übt auch die Corioliskraft (Einfluß der Erdumdrehung) aus, welche in den Breiten der Ostsee auf eine Verlagerung der Mündungen von West nach Ost hinwirkt.

Unter den beschriebenen Verhältnissen entwickeln sich die Fluß- und Strommündungen. Dieser Ausbildungsprozeß ist einerseits ein fortlaufender, wobei sich zeitweilig ein Gleichgewichtszustand ausbilden kann, anderseits sind aber von ausschlaggebenderer Bedeutung die außergewöhnlichen Naturereignisse: Hochwasser und Eisgang im Strom, Sturmflut von seiten der See. Letztere können die Lage- und Bodengestaltung der Fluß- und Strommündungen weitgehend ändern, wonach es wieder einer längeren Zeit bedarf, bis sich ein annähernder Gleichgewichtszustand einstellt. Von größerer Ein-

wirkung auf die Mündungsverhältnisse können auch künstliche Maßnahmen sein, durch welche meist eine Verbesserung der Tiefenverhältnisse angestrebt wird.

II. Die Strommündungen an der Ost- und Südküste der Ostsee.

Ausgehend von den unter I. dargelegten Richtlinien sind eine Reihe von Strommündungen an der Ost- und Südküste der Ostsee, welche mittleren Seeschiffen zugänglich sind, untersucht worden. Dazu gehören: Narowa (Finnischer Meerbusen), Pernau und Düna (Rigaer Meerbusen), Windau (Ostküste), Memeltief (Kurisches Haff und Memel), Pillautief (Frisches Haff und Pregel), Weichsel, Stolpe, Wipper, Persante, Swine (Stettiner Haff und Oder) und Trave.

Die genannten Mündungen lassen sich in folgende Gruppen zusammenfassen:

1. Mündungen aus Haffs und seeartigen Erweiterungen, die als Ausgleichbecken der in sie mündenden Wasserläufe dienen: Memeltief, Pillautief, Swine und Trave.
2. Einfache Mündungen (ohne Deltabildung):
   a) Pernau (7162 km²) und Windau (11 500 km²)
   b) Stolpe (1653 km²), Wipper (2173 km²) und Persante (3145 km²).
3. Mündungen mit Deltabildung: Narowa (56 000 km²), Düna (85 400 km²) und Weichsel (195 000 km²).

Alle angeführten Wasserläufe münden an sandiger Küste. Bei den Mündungen der ersten Gruppe üben in Anbetracht der großen Ausgleichbecken die Eigenschaften der in diese mündenden Wasserläufe keinen merklichen Einfluß auf die Mündungen der Tiefs. Hier sowie auch bei kleineren Niederschlagsgebieten (Gr. 2 b) überwiegt bei der Entwicklung der Mündungsverhältnisse der Einfluß der See. Die Gr. 3 steht unter der Wechselwirkung von Strom und Meer.

Da wegen Raummangels eine Beschreibung der Verhältnisse an den genannten Strommündungen und der an ihnen bisher durchgeführten Verbesserungsmaßnahmen nicht möglich ist, folgen über die einzelnen Mündungen außer den Schrifttumshinweisen nur einige ergänzende Angaben: a) über die Ergebnisse der Berechnung des Energiefaktors, b) über die zu empfehlenden weiteren Maßnahmen zur Verbesserung der Mündungsverhältnisse.

1. Die Mündung der Narowa (Narwa) (Abb. 1).

Die Beschreibung der Lage, der Gestaltung und des Bestandes der Mündungsstrecke und der anliegenden Küste, der meteorologischen Vorgänge, des Abflusses, der Wasserbewegung an der Küste (Wellen und Strömungen) sowie der Eisverhältnisse liegt vor in (3).

Nach der Munch-Petersenschen Formel (1) ($E = hs^2 \sqrt{f}$, wo h = Häufigkeit, s = Geschwindigkeit des Windes und f = Abstand vom gegenüberliegenden Meeresufer in der gegeben Windrichtung) erhält man für diese Mündung nach Einschaltung eines Eisfaktors = 0,75 folgende Werte: E (Wellenenergiefaktor) = 8025, S (senkrechte Komponente = $E \cos\alpha$) = 7950, T (parallele Komponente = $E \sin\alpha$) = — 1000, T_1 (luvseitige) = + 1200, T_2 (leeseitige) = — 2200. Im Verhältnis zur aufwühlenden Energie (S) ist die transportierende (T) klein, wobei zwischen Luv- und Leeseite ein annäherndes Gleichgewicht herrscht.

Die jährlich zur Mündung gelangende Sinkstoffmenge läßt sich auf Grund einer Reihe von Einzelmessungen wie folgt schätzen:

Tafel 1.

Zeitdauer	Absetzbare Stoffe auf 1 m³ Wasser		bei einer mittleren Abflußmenge während 8 Mon. von 405 m³/sec. während 2 Mon. von 810 m³/sec.		
Monate	kg	m³	m³/sec.	m³/24 Std.	gesamt m³
8	0,03	0,00002	0,0081	700	168 000
2	0,12	0,00008	0,0648	5600	336 000
					504 000

Die bisher ausgeführten Verbesserungsmaßnahmen beschränken sich auf Uferbefestigungen und Einschränkung der Breite der Mündung durch Bollwerke auf 180 m. Die Zufahrt zur Mündung wird durch Baggerungen unterhalten. Unter normalen Verhältnissen (keine außergewöhnlichen Eisverhältnisse in der Mündungsstrecke und keine Sturmfluten) betrugen die Ablagerungen im Seekanal 50 000 bis 100 000 m³, doch war die notwendige Aushubmasse gewöhnlich geringer. In außergewöhnlichen Jahren ist es zu einer vollständigen Versandung des Seekanals gekommen, wobei zur Freilegung einer Rinne von 100 m Breite und 5—6 m Tiefe 150 000 m³ und mehr gebaggert werden mußten.

Da durch Baggerung allein sich die für die Schiffahrt erforderlichen Tiefen nicht unterhalten lassen, müßten zur Verbesserung der Mündungsverhältnisse folgende Bauten ausgeführt werden:

1. Regelung der Breite der Mündungsstrecke und der eingeengten Mündung auf 250 m mit Befestigung der dem Abbruch unterworfenen Ufer.

2. Bau von Leitdämmen bei einem Abstand von 250 m; von der Mündung auf einer Länge von 750 m in NNW-Richtung und weiter, auf einer Länge von 1000 m, im Bogen allmählich in die W-Richtung übergehend.

Bei der vorgeschlagenen Form würde sich vom Westen aus die Küstenlinie im Bogen an die Leitdämme anschließen und die Materialwanderung von der Küste aus seewärts abgelenkt werden, wonach sich voraussichtlich ein Gleichgewichtszustand ausbilden würde.

Durch Aufbruch des Eises zwischen den Dämmen ist für hemmungslosen Abgang des Eises zu sorgen. Zur Unterhaltung der Tiefen werden auch nach dem Ausbau leichte Baggerungen, insbesondere vor der Einfahrt, erforderlich sein.

2. Die Mündung der Pernau (Abb. 2).

Über die natürlichen Mündungsverhältnisse und die bisher ausgeführten Regelungsarbeiten liegen Angaben in (3) vor. Die Mündung ist durch gleichlaufende Leitdämme eingefaßt. Da an der Mündung ein annäherndes Gleichgewicht herrscht, läßt sich in der Fahrrinne durch leichte Baggerungen eine 5,4-m-Tiefe unterhalten.

Zur Verbesserung der Schiffahrtsverhältnisse in der Bucht müßte ein Kanal von 9 km Länge und 100 m Breite ausgehoben werden. Dazu käme eine Verlängerung der Leitdämme um 700 m, während der übrige Teil des Kanals ungeschützt bleiben könnte. Es ist dabei in Betracht zu ziehen, daß in einer gewissen Entfernung von der Küste die Sandwanderung aufhört und der Boden fester ist.

3. Die Mündung der Düna (Abb. 3).

Die Mündungsstrecke und die anschließende Küste sowie die im Laufe der Zeit ausgeführten Verbesserungsmaßnahmen sind in (3), (4), (7) und (8) beschrieben.

Die Berechnung des Wellenenergiefaktors ergab nach Einschaltung eines Eisfaktors von 0,80 : E = 7200, S = 7090, T = — 648, T_1 = 2032, T_2 = — 2680. Dementsprechend findet an der Dünamündung keine durchgehende Sandwanderung statt, sondern es hat sich ein Gleichgewichtszustand ausgebildet, was die Unterhaltung der erforderlichen Fahrwassertiefen im Seegat erleichtert.

Auf Grund einer Reihe von Einzelmessungen läßt sich die jährlich zur Mündung verfrachtete Sinkstoffmenge wie folgt schätzen:

Tafel 2.

Zeitdauer	Absetzbare Stoffe: Auf 1 m³ Wasser		bei einer mittleren Abflußmenge während 10 Mon. von 500 m³/sec. während 2 Mon. von 2000 m³/sec.		
Monate	kg	m³	m³/sec.	m³/24 Std.	gesamt m³
8	0,03	0,00002	0,010	864	207 360
2	0,15	0,00001	0,200	17280	1034 400
					1241 760

Zur Unterhaltung einer Tiefe von 7,3 m in der Mündungsstrecke und im Seegat, sind jährlich 800 000—900 000 m³ zu baggern, davon im Seegat je nach den Abflußbedingungen 5 bis 30 v. H. Maßgebend für die jährliche Baggermenge ist die Windrichtung während des Eisganges. Im Mittel fällt der Eisgang und das Frühjahrshochwasser mit einer ungünstigen Windrichtung (N 25° W) zusammen. Außer der Sinkstoffbewegung vom Strom aus findet eine solche in geringerem Maße von der Küste aus statt. Die Barre an der Mündung wird durch die Fahrrinne in zwei Teile gespalten. Bei Westwinden verlagert sich die westliche Bank bis in die Fahrrinne. Die östliche Bank liegt fest.

Die Mündung ist durch zwei Leitdämme eingefaßt. Durch Verlängerung der Leitdämme könnte die Bildung einer Barre für einige Jahre unterbunden werden, doch würde dadurch der Abgang des Eises erschwert werden. Bei durchbrochenen Dämmen würde sich die Spülkraft des Stromes auf der offenen Strecke aufzehren und die Schiffahrt durch die Querströmung behindert werden. Anderseits scheint sich bei der bestehenden Anlage ein Gleichgewichtszustand ausgebildet zu haben, der nur bei außergewöhnlichen Naturerscheinungen zeitweilig unterbrochen wird. Nachdem im Zeitraum 1788/1923 die Küsten und Tiefenlinien links um 2200 m, rechts um 1000 m vorgerückt waren, hat sich das Vorrücken in den letzten Jahrzehnten verzögert. Deshalb könnte bei planmäßiger Baggerung von einem weiteren Ausbau der Leitdämme bis auf weiteres abgesehen werden.

4. Die Mündung der Windau (Abb. 4).

Die Entwicklung der Mündungsverhältnisse unter der Auswirkung des Ausbaues ist in (3), (5), (6) und (8) beschrieben worden.

Die Berechnung des Energiefaktors ergab folgende Werte: E = 25 000, S = 18 200, T = + 17 700, T_1 = + 24 000, T_2 = — 6300. Danach können die aufwühlenden und transportierenden Kräfte als annähernd gleich groß angenommen werden. Von den transportierenden Kräften überwiegt die luvseitige.

Die Anordnung von aufeinander zulaufenden Molen hat sich an der Windaumündung nicht bewährt. Bei der Anlage treten die üblichen Erscheinungen auf: Ablagerungen luvwärts mit allmählichem Vorrücken der Küsten und Tiefenlinien bis 500 m, Anlandungen an der Einfahrt mit zeit-

weiliger Verminderung der Tiefe um 2 bis 3 m, Abbruch leewärts, in einiger Entfernung von der Anlage. Am Ende der Südermole treten Auskolkungen auf, woran sich nördlich eine Sandbank anschließt. Eine Vertiefung der Rinne im Vorhafen ist alle 2 bis 3 Jahre notwendig, wobei 150 000 bis 200 000 m³ zu entfernen sind. Die Fahrrinne auf der Barre muß alljährlich nach den Herbst- und Winterstürmen ausgebaggert werden.

Als zeitweilige Maßnahmen zur Bekämpfung der Barrenbildung an der Mündung kommen in Frage: Umbau der Molenköpfe und verstärkte Baggerung. Die Molenenden müssen mehr umgebogen werden, wobei die Richtung der die beiden Molenköpfe verbindenden Linie mit der Hauptrichtung des Strandes zusammenfallen sollte und vor allem das Vortreten des Nordermolenkopfes zu beseitigen wäre.

Von weitgehender Bedeutung könnte sich folgende Maßnahme erweisen: Durch den Bau einer bis zur 6-m-Tiefe reichenden Abwehrmole ist westlich von der Hafenanlage die Küstenströmung und die Sandwanderung abzuleiten. Durch die Unterbrechung der Sandzufuhr von West würde sich dann im Bereich der bestehenden Hafenanlage eine Abbruchzone ausbilden, was zur Verminderung der Anlandungen westlich des Hafens und an seiner Einfahrt führen dürfte.

5. Die Mündung des Memeler Tiefs.
(Kurisches Haff, Abb. 5.)

Von den in das Kurische Haff einmündenden Flüssen sind außer der Memel (91 338 km²) die Schmelz und die Darge zu nennen. An der Mündung letzteren Flusses liegt der Seehafen Memel. Das Haff bildet das Absetzbecken der in dasselbe mündenden Flüsse. Mit der See steht das Haff durch das an seiner nördlichen Spitze befindliche Tief in Verbindung. Die Küstenlinie hat die Richtung N 5° W. Die Berechnung des Energiefaktors ergab:

$E = 24\,900$, $S = 24\,800$, $T = 1500$, $T_1 = +7500$, $T_2 = -6000$.

Danach überwiegt die aufwühlende Kraft die transportierende, während die luv- und leeseitigen transportierenden Kräfte annähernd gleich sind.

Der Ausbau der Mündung ist in (9) beschrieben. Die Mündung des Tiefs wird von zwei Leitdämmen eingefaßt, Norder (1210) und Süder (1390). Der Abstand zwischen den Leitdämmen beträgt 350 m, die Tiefen an den Köpfen — Norder 5 m, Süder 6 m. Die Verbindungslinie der Köpfe hat eine dem Küstenstrich und den Tiefenlinien gleichlaufende Richtung. Zwischen den Molenköpfen und der Ansegelungstonne liegt das Seegat, in welchem die Tiefen (8—9 m) durch Baggerungen unterhalten wurden. Die jährliche Baggermenge beträgt im Mittel 87 000 m³.

Im allgemeinen sind die Tiefenverhältnisse vor der Einfahrt und im Seegat beim Vorhandensein eines kräftigen Spülstroms soweit günstig, daß, abgesehen von besonders schweren Stürmen, die erforderlichen Tiefen sich durch verhältnismäßig geringe Baggerungen unterhalten lassen. Deshalb könnte, obwohl die Leitdämme nur bis zur 6-m-Tiefe reichen, von ihrer Verlängerung abgesehen werden, nur müßte das Vorstehen des Nordermolenkopfes durch Verlängerung der Südermole beseitigt werden.

6. Die Mündung des Pillautiefs.

Nach Abschluß des Weichselarmes Nogat im Jahre 1914 ist das Haff hauptsächlich auf die von der See einströmenden Wassermassen angewiesen. Einstrom findet an 108 Tagen (4028 m³/s), Ausstrom an 223 Tagen (4630 m³/s) statt. Somit ist ein kräftiger Spülstrom (1,5 m/s) vorhanden, der mit dem Hauptküstenstrom unter einem rechten Winkel zusammentrifft, wobei Sandmassen zur Ablagerung kommen, die z. T. in das Haff gelangen.

Der Ausbau der Mündung des Tiefs ist in (10) beschrieben. Die Leitdämme haben bei einem Abstand von 360 bis 500 m eine Länge von 1100 m. Die Tiefe an den Köpfen ist folgende: Nordermole 7 m, Südermole 9 m. Die jährliche Baggermenge beträgt im Mittel 200 000 m³, wovon 1/4 auf die Barre entfällt.

Da die Leitdämme schon bis zur 8-m-Tiefe durchgeführt sind, verbleibt als einziges Mittel zur Verbesserung der Mündungsverhältnisse verstärkte Baggerung.

7. Die Mündung der Weichsel (Abb. 6 u. 7).

Die Entwicklung der Mündungsverhältnisse war bedingt von dem Ausbau der Weichselmündungen. Nach Abschluß der Danziger und der Elbinger Weichsel wurde 1895 der Strom bei Schiewenhorst in gerader Richtung ins Meer geleitet. Schließlich wurde 1914/15 der Nogatarm hochwasserfrei abgeschlossen und das ganze Weichselwasser mit allen Sinkstoffen der neuen Mündung Schiewenhorst zugeführt.

Die Abflußmenge beträgt 250 — 1000 — 10 000 m³/s bei einem Jahresmittel von 32 km³. Die Lage des Strandes westlich von Neufahrwasser verändert sich wenig, während östlich dieser Mündung der Strand zu Uferabbrüchen neigt. Von da aus setzt auch eine Sandwanderung ein, doch wird durch Vorwölbung der Küste und vorspringende Bauten ein Teil des wandernden Sandes aufgehalten, so daß die Sandzufuhr von der Küste zur Schiewenhorster Mündung nicht bedeutend ist. Die Berechnung des Energiefaktors für die Schiewenhorster Mündung ergab: $E = 13\,600$, $S = 13\,300$, $T = 3040$, $T_1 = 5600$, $T_2 = -2560$. Danach überwiegt die Sandzufuhr von Westen aus, doch erreicht sie aus den angeführten Gründen keine größeren Ausmaße.

Von ausschlaggebender Bedeutung für die Mündungsverhältnisse der Weichsel ist die Sinkstoffführung dieses Stromes. Vor dem Durchstich bei Schiewenhorst sollen an den alten Weichselmündungen (Danziger, Elbinger, Nogat) im Zeitraum 1840/1890 100 000 000 m³ Sand zur Ablagerung gekommen sein, was im Jahre 2 000 000 m³ ausmacht.

Die Sinkstofffracht oberhalb der Mündungsstrecke ist im Laufe von 3 Jahren (1941/43) durch tägliche Probeentnahme in mehreren Stromprofilen und Filtrierung der Proben gemessen worden. Die Ergebnisse dieser Messungen waren:

1941	bei einer	jährlichen	Abflußmenge	von	245 mm	— 5 565 000 m³
1942	„	„	„	„	166 mm	— 2 531 000 m³
1943	„	„	„	„	99 mm	— 777 000 m³

Bei normalen Abflußverhältnissen ist im Unterlauf und in der Mündungsstrecke die Geschiebefracht im Verhältnis zur Sinkstofffracht gering (2—4 v. H.). Nur bei außergewöhnlichem Hochwasser und schweren Eisverhältnissen (Eisgang mit Eisversetzungen) kommt es in der Mündungsstrecke bei verstärktem Gefälle und dementsprechend vergrößerter Schleppkraft zu Vertiefungen der Stromsohle. Dadurch werden größere Geschiebemengen in Bewegung gesetzt, die dann teils als Geschiebe, teils als Sinkstoffe weiter zur Mündung verfrachtet werden.

Eine fortschreitende Senkung der Wasserstände und Vertiefung der Sohle erfolgte im Unterlauf der Weichsel 1. nach dem Durchstich bei Schiewenhorst und 2. nach dem Abschluß der Nogat.

Tafel 3.

Pegel P. N. ü. N. N. oberhalb d. Mündung	MNW (ungehemmt)				MW				Hebung + Senkung — v. 1890	
	1881 1890	1901 1910	1931 1938	1943	1880 1889	1900 1909	1931 1938	1943	MNW	MW
	v. d. Durchstich b. Schiew.	n. d. Durchstich b. Schiew.	n. d. Abschl. d. Nog.		v. d. Durchstich b. Schiew.	n. d. Durchstich b. Schiew.	n. d. Abschl. d. Nog.			
km	cm ü. P. N.				cm ü. P. N.				cm	
Kurzebrack 8.00 71	255	252	229	200	398	385	364	352	—55	—46
Nogathaupt 4.14 49	264	240	155	130	401	368	299	288	—134	—113
Dirschau —0.51 30	406	360	235	220	453	387	296	300	—186	—153

Bei Dirschau beginnt die Mündungsstrecke. Nachdem sich der Mündungskegel von 1895 ständig vergrößerte und sich zwischen den unregelmäßigen Anhäufungen immer wieder neue Arme bildeten, setzten 1906 Baggerungen ein, die fast jedes Jahr bis 1916 ausgeführt wurden, wonach eine Unterbrechung in diesen Arbeiten eintrat. Im Zeitraum 1906/1916 sind 1 517 000 m³ ausgehoben worden, während der Zugang zum Mündungskegel 1895/1916 21 120 000 m³ betrug. Die Mengenberechnung beruht auf alljährlichen Peilungen einer Wasserfläche von 6×3 km bis zur 15-m-Tiefe. Zur Schaffung eines einheitlichen Bettes für ungehinderte Eis-, Geschiebe- und Sinkstoffabfuhr und dadurch zur Verminderung der Baggerarbeiten ist die Mündung ausgebaut worden. Einem kurzen östlichen Leitdamm folgte ein westlicher. Im Jahre 1941 waren beide Leitdämme bis auf 80 m der im Entwurf vorgesehenen Länge ausgebaut (Abb. 7), wonach die Arbeiten abgeschlossen wurden. Durch den sich entwickelnden Spülstrom erfolgt eine Aufräumung des Strombettes zwischen den Leitdämmen, wobei sich auch in der Barre eine Rinne von 2,5 m bildete.

Auf Tafel 4 ist die Entwicklung der Schiewenhorster Mündung im Zeitraum 1923/37 zu ersehen. Die Peilungsergebnisse sind (11) entnommen. Die Sinkstofffracht ist auf Grundlage der Meßergebnisse 1941/43 unter Berücksichtigung der jährlichen Abflußmengen berechnet worden.

Der außergewöhnliche Zugang der Zeitspannen 1923/24, 1928/29, 1931/32 wurde durch schwere Eisverhältnisse und Hochwasser hervorgerufen. Das Gefälle in der Mündungsstrecke betrug beim HW 24 0,307 ‰ und beim HW 29 0,260 ‰. Dementsprechend entwickelte sich bei den großen Tiefen der Mündungsstrecke eine außerordentliche Schleppkraft, was zur Vertiefung der Stromsohle führte. Den größeren Zugängen in den genannten Zeitspannen folgten auch wiederum größere Abgänge, da die Sinkstoffe des Stromes schon in der vertieften Mündungsstrecke zur Ablagerung kamen, sich zwischen den Leitdämmen infolge günstiger Wind- und Eisverhältnisse ein Spülstrom entwickelte und auch die Küstenströmung eine abtragende Wirkung auf die Barre ausübte. Wie so oft, hat sich die Natur auch in den vorliegenden Fällen nach einer Katastrophe selbst geholfen und die Blockierung der Strommündung verhindert.

Tafel 4.

Materialbilanz an der Mündung bei Schiewenhorst.

Zeitspannen	Materialbewegung: Sinkstoff-Fracht	Baggerungen	+ Zugang — Abgang	Gesamtzugang	Bemerkungen
	1000 m³				
1895/23				57 700	
1. 5. 23 / 30. 4. 24	3 245	56	+ 17 697	75 467	Durch Sohlenvert. um 1 m zusätzliche Fracht 1 × 400 × 30 000 = 12 000 000 m³.
1. 5. 24 / 30. 4. 25	1 235	45	— 23 489	51 978	b. günst. Abfl. aufräum. Küstenströmung.
1. 5. 25 / 30. 4. 26	2 175	—	— 4 211	47 767	
1. 5. 26 / 30. 6. 27	4 390	226	— 6 151	41 616	starker Spülstrom
1. 7. 27 / 30. 4. 28	1 677	—	+ 1 554	43 170	
1. 5. 28 / 30. 4. 29	1 226	50	+ 13 924	57 093	Zus. Fracht infolge Sohlenvertiefung 0,75 × 400 × 30 000 = 9 000 000 m³
1. 5. 29 / 30. 4. 30	1 075	96	— 1 996	55 099	
1. 5. 30 / 30. 4. 31	2 300	—	+ 1 612	56 711	
1. 5. 31 / 30. 4. 32	2 460	120	+ 9 823	65 534	
1. 5. 32 / 30. 4. 33	940	—	— 5 188	60 346	
1. 5. 33 / 31. 3. 34	1 030	—	+ 2 024	62 370	Weiterhin wirkt sich aus d. Verlängerung d. W-Mole
1. 4. 34 / 31. 3. 35	2 157	—	— 3 756	58 614	Bau einer östlichen Hilfsbuhne
1. 4. 35 / 30. 4. 36	2 160	(130) *)	— 1 746	56 868	*) Bag. z. Auffüll. d. Kolkes am Kopfe d. Ostmole
1. 5. 36 / 30. 4. 37	2 350	(250) *)	+ 1 236	58 104	
	28 420	593		+ 404	
i. M.	2 030	(380) *)			

Im Gesamtzugang 1895/1924 (57 700 000 m³) spiegelt sich die durch die Auswirkung des Ausbaues hervorgerufene Sohlenvertiefung von Kurzebrack an. Von der Sinkstoffmenge des Stromes gelangte während des betrachteten Zeitraumes nur ein Teil (etwa 2/3) zur Schiewenhorster Mündung, da der Abschluß der Nogat erst 1915 erfolgte. Bei diesen Voraussetzungen erhält man eine dem tatsächlichen Zugang entsprechende Zahl, wie aus der Tafel 5 zu ersehen ist.

Tafel 5.

Bezeichnung der Stromstrecke	Länge m	Breite m	Vertiefung m	Geschiebemenge m³
Kurzebrack—Nogathaupt	22 000	250	0,30	1 650 000
Nogathaupt—Dirschau	20 000	300	1,00	6 000 000
Dirschau—Schiewenhorst	30 000	400	1,70	20 400 000
				28 050 000
Zugang an Sinkstoffen $^2/_3 \times 2\,000\,000 \times 23$				=30 000 000
				=58 000 000

Durch den Ausbau der Schiewenhorster Mündung werden die Sinkstoffe vom Strome aus auf eine größere Tiefe abgeführt. Deshalb sind Baggerungen nur noch ausnahmsweise erforderlich. Die Mündungsverhältnisse haben sich soweit günstig entwickelt, daß auch der Abgang des Eises in der Regel ohne Stockungen sich vollzieht, jedoch unter der Voraussetzung eines rechtzeitigen, falls erforderlich, künstlichen Eisaufbruches. Die Tiefen an der Mündung (2,5 m) genügen zwar nicht den Anforderungen der Seeschiffahrt, doch ist die Schiewenhorster Mündung nicht zu diesem Zwecke angelegt.

8. Die Mündungen der Stolpe, Wipper und Persante (Abb. 8 und 9).

Die Vorteile und Nachteile der Anlagen an den Mündungen dieser Flüsse sind eingehend untersucht und in (12), (13) und (14) beschrieben worden.

Zur Kennzeichnung der Verhältnisse an den Mündungen der Persante und Wipper folgen die Berechnungsergebnisse der Wellenenergiefaktoren

a) Persante: E = 23 000, S = 21 000, T = 9 300, T_1 = 19 600, T_2 = — 10 300
b) Wipper: E = 35 000, S = 33 500, T = 12 400, T_1 = 20 320, T_2 = — 7 920

S : T = 2,5 : 1 (Persante) und = 2,6 : 1 (Wipper)
$T_1 : T_2$ = 1,9 : 1 „ „ = 2,6 : 1 „

Aus dem Vergleich tritt hervor, daß der Wellenenergiefaktor und seine Komponenten an der Wippermündung größer als an der Persantemündung und daß die luv- und leeseitigen transportierenden Kräfte an der Persantemündung ausgeglichener sind. Diese Ergebnisse stehen auch im Einklang mit den Beobachtungen, wonach die Brandung vor der Wippermündung größer ist.

Durch die berechneten Energiefaktoren werden zwar die Wellenbewegung und die damit im Zusammenhang stehenden Oberflächenströmungen zutreffend gekennzeichnet, doch sind außerdem die Tiefenströmungen zu untersuchen, welche der Windbeeinflussung fast vollkommen entzogen sind und vorwiegend der Küstenrichtung folgen.

An den Mündungen der drei angeführten Flüsse sind die Verhältnisse annähernd gleich, während die Anordnung der Anlagen wesentliche Unterschiede aufweist, insbesondere an der Persante (Kolberg) und an der Wippermündung (Rügenwaldermünde). Von letzteren soll sich die Kolberger Anlage besser bewährt haben. Die luvseitigen Anlandungen und die Barrenbildung

an der Mündung sind bei Kolberg geringer. Auf der Leeseite beider Anlagen treten Uferabbrüche auf, doch haben die Buhnen bei Kolberg erfolgreicher gewirkt. Die Baggerungen sind vor Rügenwaldermünde im Jahresmittel um 25 v. H. größer gewesen als vor Kolberg, wo der Sand gröber und die Durchschnittswassertiefen größer sind. Der Vorteil eines Vorhafens bei Rügenwaldermünde wird durch die Schwierigkeiten der Hafeneinfahrt beeinträchtigt. Eine Verbreiterung dieser Hafeneinfahrt ist in Betracht zu ziehen. Zur Verbesserung der Kolberger Hafeneinfahrt liegen Vorschläge in (14) vor: Schaffung eines Beckens hinter der Hafeneinfahrt, wobei die luvseitige Mole konkav gekrümmt beiben soll, und Verstärkung der Molenköpfe mit konkav ausgebildeten Außenseiten.

In jedem Fall erscheint es zweckmäßiger, der luvseitigen Mole eine konkave Krümmung zu geben (Kolberg). Bei einer konvexen Krümmung (Rügenwaldermünde, Windau) bildet sich luvseitig erst dann ein annähernder Gleichgewichtszustand, wenn die Strandlinie im Laufe der Jahre einen konkaven Anschluß an die luvseitige Mole erreicht hat.

9. Die Mündung der Swine (Stettiner Haff).

Der Ausbau der Wasserstraße Stettin—Swinemünde ist in (15) beschrieben. Die von der Mündung ausgehenden Leitdämme sind annähernd gleichlaufend, mit einer Krümmung gegen den Hauptküstenstrom. Der Ostdamm (1452 m) überragt den Westdamm (1022 m). Der Abstand zwischen den Leitdämmen beträgt 400—425 m, die Tiefe am Westkopf 2 m, am Ostkopf 6 m. Zwischen den Leitdämmen ist eine 10-m-Fahrwassertiefe vorhanden, wobei bei Ausstrom die Geschwindigkeit 2 m übersteigt. Die jährliche Baggermenge zur Unterhaltung der Tiefen betrug im Mittel 32 000 m³. Der westliche Strand und die 5-m-Tiefenlinie sind nach dem Ausbau um 800 m vorgerückt. Die Wandersande haben von der Luvseite aus den Westmolenkopf umwandert und an der Innenseite eine Sandbank gebildet. Ferner hat sich in Verlängerung dieser Mole eine Sandbank vorgeschoben, die den Kopf der Ostmole weit überragt.

Durch ergänzende Regelung der Swine zwischen Haff und Mündung lassen sich noch vorhandene Unregelmäßigkeiten, welche das Ein- und Ausströmen des Wassers behindern, beseitigen und dadurch den Spülstrom verstärken. Zu erwägen wäre eine Verlängerung der Westmole.

10. Die Mündung der Trave.

a) Die natürlichen Mündungsverhältnisse.

Bis Lübeck hat die Trave ein Niederschlagsgebiet von 1572 km². Der Unterschied zwischen den äußersten Wasserständen beträgt bei Lübeck 546 cm. 4 km unterhalb Lübeck mündet die Trave in ein Seengebiet, welches von der See durch eine Nehrung (Priwall) abgeschlossen ist. Bei Dassow mündet ein weiterer Zubringer, die Stepenitz. Die Mündung der Trave in die See befindet sich bei Travemünde. Der mittlere Abfluß der Trave beträgt bei Lübeck 12,5 m³/s. Bei Travemünde erreicht das Niederschlagsgebiet 2683 km². An die See gibt die Trave i. M. 21,5 m³/s ab, wobei Qmin = 7 m³/s und Qmax = 107 m³/s. Das Gefälle zwischen Lübeck und Travemünde ist äußerst gering (0,0004 ‰), wobei der Ausstrom oft durch Einstrom unterbrochen wird. Bei Travemünde findet im Jahr i. M. an 217 Tagen Ausstrom und an 133 Tagen Einstrom statt. Das bezieht sich auf die Oberflächenströmung, während bei der Tiefenströmung die Zahlen sich verschieben können. Bei höheren Wasserständen in der Ostsee kann der Stau bis zum Elbe-Trave-Kanal reichen, bei außergewöhnlichen Sturmfluten sogar bis Bad Oldesloe. In kälteren Wintern wird die Schiffahrt durch Eis gehemmt. Im Zeitraum 1933/43 waren 159 Sperr-

tage, im Jahresmittel 16. Das Geschiebe und die Sinkstoffe der Trave kommen schon im Gebiet von Lübeck zur Ablagerung.

In der Lübecker Bucht (Abb. 10) machen sich hauptsächlich Stau-Strömungen bemerkbar. Bei westlichen Winden steigt der Wasserstand der Ostsee, was sich dann auch auf den Wasserstand in der Lübecker Bucht auswirkt. Die Bucht und die Mündung der Trave ist den Winden zwischen N und O offen. Bei Travemünde beträgt der Unterschied zwischen den äußersten Wasserständen 532 cm. Der luvseitige Strand ist von N nach S, der leeseitige an der Mündung von W nach O und weiter nach ONO gerichtet. Nach der Munch-Petersenschen Formel ergeben sich für den Wellenenergiefaktor und seine Komponenten folgende Werte:

Tafel 6.

Bezeichnung der Energiefaktoren	Luvküste	Leeküste
E (Wellenschlagsenergiefaktor)	1134	1134
S (senkrechte Komponente $= \varepsilon \cos \alpha$)	745	855
T (parallele Komponente $= \varepsilon \sin \alpha$)	855	745
Verhältnis S : T	0,9 : 1	1,15 : 1

Infolge der geschützten Lage der Bucht, wobei nur die Winde zwischen N und O auflandig sind, sind der Wellenschlagsenergiefaktor und dementsprechend seine Komponenten verhältnismäßig klein. Luvseitig der Mündung befindet sich in einer Entfernung von 1,7 km eine Steilküste, das Brodtener Ufer, welches Abbruch unterworfen ist. Die Küste besteht aus Geschiebemergel mit Tonzwischenschichten. In trockenem Zustande ist das eine harte Masse, welche sich jedoch im Wasser auflöst. Die Zerstörung erfolgt einerseits durch die Brandung von seiten der See, anderseits durch das von oben herabsickernde atmosphärische Wasser. Durch Frosteinwirkungen wird die Zerstörung beschleunigt. Da rechts und links vom Brodtener Ufer die Küste zurückgewichen ist, wozu eine fortschreitende Senkung beigetragen hat, ist die Zerstörung dieser Steilküste ein natürlicher Vorgang, der sich aber durch künstliche Maßnahmen aufhalten läßt. Im Laufe der letzten 100 Jahre ist die Küste um 50 m zurückgetreten. Vor der Steilküste findet weder Sandflug auf dem trockenen Strande noch Sandwanderung in der Brandungszone statt. Deshalb ist auch die Sandbewegung am Strande zur Mündung hin gering. Im allgemeinen scheint an der Mündung der Trave ein Gleichgewichtszustand zu bestehen, der für die Unterhaltung der für die Schiffahrt erforderlichen Tiefen günstig ist.

b) Regelung der Mündungsstrecke und der Mündung.

Der erweiterte Flußlauf von der Stadt Lübeck abwärts wurde allmählich zum Seekanal ausgebildet. Der Seekanal von Lübeck bis Travemünde wurde bis auf 8,5 m bei einer Sohlenbreite von 80 bis 100 m vertieft. Die Mündung selbst ist durch kurze Leitdämme eingefaßt, von denen der Norderdamm um 200 m den Süderdamm überragt. Die Tiefen an den Molenköpfen sind gleich Null, doch in der Fahrrinne zwischen den Leitdämmen halten sich die Tiefen gut. Die angeführten Regelungsarbeiten sind von Rheder beschrieben worden (15). Auf der Barre an der Mündung sind Baggerungen im Durchschnitt nur jedes zweite Jahr erforderlich, wobei die Baggermenge 20 000 m³ nicht übersteigt. Außerdem sind alle 4—5 Jahre Baggerungen unterhalb Lübeck (km 1—5) auf einer Strecke mit moorigem Untergrund und zwischen km 14 und 15 ausgeführt worden. Im Seegat außerhalb der Mündung ist nur selten gebaggert worden. Die geschützte Lage der Mündung, die geringe Sandbewegung und der bestehende Gleichgewichtszustand haben sich auf die

Mündungsverhältnisse bei Travemünde außerordentlich günstig ausgewirkt, so daß die für die Schiffahrt erforderlichen Tiefen sich mühelos halten lassen.

Zu erwähnen ist noch, daß der Badestrand in Travemünde (luvseitig) an Sandmangel leidet, wobei die geplanten Schutzanlagen am Brodtener Ufer sich nachteilig auswirken könnten. Diese Frage bedarf aber noch der näheren Klärung durch Messung der Oberflächen-, Tiefen- und Grundströmungen sowie durch systematische Peilungen, um die Materialwanderung an der Küste und in den tieferen Schichten zu erfassen.

III. Schlußfolgerungen.

Wie in der Einleitung hervorgehoben und bei der Beschreibung der einzelnen Mündungen erläutert worden ist, sind die Verbesserungsmaßnahmen im Einklang mit den natürlichen Vorgängen (Wind, Wasser- und Materialbewegung) durchzuführen. Das Endergebnis dieser Naturvorgänge spiegelt sich in der Ausbildung der Mündung mit einer vorgelagerten Barre, deren Lage und Umfang durch den Materialtransport aus dem Fluß und von der Küste bedingt ist. Der Materialtransport vom Fluß aus läßt sich qualitativ und quantitativ erfassen. Dazu gehören eine fortlaufende Entnahme von Wasserproben im Laufe einiger Jahre und deren Untersuchung (Filtrierung und Verdampfung) sowie systematische Bestimmungen der Abflußmengen. Außerdem sind die Veränderungen in der Sohlenlage der Mündungsstrecke zu erfassen, woraus sich ein weiterer Zugang an Material zum Mündungskegel ergeben kann. Die Materialbewegung längs der Küste läßt sich mengenmäßig nur in Einzelfällen (z. B. bei natürlichen oder künstlichen Küstenvorsprüngen) ermitteln. An größeren Strommündungen überwiegt die Geschiebe- und Sinkstoffbewegung vom Strom aus, wobei auch der anliegende Strand und der Vorstrand vom Strom aus mit Sand angereichert werden. Bei kleineren Flüssen dagegen werden die Mündungsverhältnisse vom Meer aus beherrscht.

Die Wasserbewegung an der Küste (Wellen und Strömungen) ist abhängig von der Richtung und der Stärke der Winde. Da die Wassserbewegung und Sandwanderung an der Küste bei stürmischer See schwer meßbar sind, ist versucht worden, zur Schätzung dieser Bewegungen von der Richtung und der Stärke der Winde auszugehen (Munch-Petersen). Für die Wellenbewegung (Höhe, Länge, Geschwindigkeit und Brandung) ist in Binnenmeeren außer der Windrichtung und -stärke noch die Streichlänge (Entfernung von der gegenüberliegenden Küste) maßgebend. Aus diesen Faktoren erhält man den Wellenenergiefaktor, welcher der Schleppkraft in den Strömen entspricht. Nach Zerlegung des Wellenenergiefaktors in eine zur Küstenlinie senkrechte und eine dazu parallele Komponente erhält man die zerstörende und die transportierende Kraft. Letztere ergibt sich als Differenz einer linksseitigen (luv-) und einer rechtsseitigen (lee-) Teilkraft. Inwieweit diese Kräfte zur Auswirkung kommen, hängt naturgemäß von der Lage, Gestaltung (Tiefenverhältnisse) und Bestand (Gesteinsart, Sand, Schlamm) der Küste ab.

Wie aus den vorhergehenden Beispielen hervorgeht, erhält man auf diesem Wege nützliche Hinweise zur Beurteilung der Wasser- und Materialbewegung an der Küste. Dabei bleiben aber die Tiefen und Grundströmungen (Sog), welche unmittelbar auf die Bodengestaltung wirken, unberücksichtigt. Als weiterer Schritt zur exakten Forschung ist daher die Messung dieser Strömungen erforderlich, was bei stürmischer See, durch welche die größten Veränderungen hervorgerufen werden, nicht durchführbar ist. Immerhin sind solche Messungen, soweit möglich, auszuführen.

Aus der Materialbewegung von der Küste und vom Strom aus bildet sich der Mündungskegel. Durch systematische Peilungen lassen sich die mengen-

mäßigen Veränderungen des Mündungskegels feststellen und mit der in demselben Zeitabschnitt erfolgten Materialzufuhr vom Strom und von der Küste aus vergleichen. Aus dieser Bilanz ist zu ersehen, welchen Schwankungen die Größe des Mündungskegels unterworfen ist und von welchen Faktoren (Eisgang, Hochwasser, Sturmflut) diese Schwankungen bedingt sind. Langjährige Untersuchungen solcher Art ergeben wertvolle Hinweise für die erforderlichen Baggerarbeiten sowie auch für etwaige Veränderungen oder Ergänzungen der bestehenden baulichen Anlagen zur Fassung der Mündung.

Im Einklang mit den Untersuchungen in der Natur ergeben wertvolle Hinweise für den Aufbau auch Modellversuche. Die Vorgänge in der Natur lassen sich in ihrer Gesamtheit im Modell nicht darstellen. Untersucht werden kann nur die Wirkung von Einzelkräften unter Ausschaltung der übrigen Kraftwirkungen. Dazu gehört in erster Linie die Stauwirkung von seiten der See auf die Mündungsstrecke. Zur Regelung des von der See einströmenden Wassers dient dann ein Steuerpegel mit einer Sollkurve an der Mündung. Die Naturähnlichkeit ergibt sich aus den Wasserstandsschwankungen an den übrigen Pegeln der Mündungsstrecke. Mit Versuchen dieser Art läßt sich die voraussichtliche Wirkung von geplanten Regelungsbauten auf die Wasserbewegung prüfen. Als Vorbild können Modellversuche mit Flußmündungen im Tidegebiet dienen, welche mit Erfolg sowohl im Laboratorium (17) als auch im Freien (Elbe- und Emsmodell) durchgeführt worden sind. Bei tidelosen Flüssen fehlt zwar die Regelmäßigkeit der Bewegung durch die überragende Kraft der Gezeiten, doch können für den Stau Mittelwerte aus einer Reihe von Sturmfluten zugrunde gelegt werden. Bei überwiegendem Einfluß der Wasserbewegung an der Küste lassen sich Versuche mit der Küstenströmung und mit künstlicher Erzeugung von Brandungswellen ausführen. Als Beispiel dieser Art kann auf die Modellversuche von Kreßner (18) hingewiesen werden. Ein Zusammenwirken beider Wasserbewegungen, vom Strom und von der Küste aus, ist bisher im Modell nicht untersucht worden. Als weiteres Glied müßte die Sandbewegung vom Strom und von der Küste untersucht werden, was aber beim heutigen Stand der Versuchstechnik im Modell naturähnlich nicht darstellbar ist. Bei den Vorgängen in der Natur sind noch von wesentlicher Bedeutung die Dichteunterschiede des Fluß- und Meerwassers. Dieser Umstand läßt sich im Modell des verzerrten Maßstabes wegen (Längen zu Höhen) nicht berücksichtigen. Somit sind die Möglichkeiten für Versuche mit tidelosen Strommündungen zwar beschränkt, doch kann eine Reihe von Einzelversuchen zum Verständnis der Gesamtwirkung aller in Betracht kommenden Faktoren beitragen.

Bei den beschriebenen Mündungen der Ost- und Südküste der Ostsee sind durch Darstellung der örtlichen Lage und der Naturvorgänge Vergleichsmöglichkeiten für die Wirksamkeit der durchgeführten Regelungsarbeiten gegeben. Ein annähernder Gleichgewichtszustand besteht an folgenden Mündungen: Pernau, Düna und Weichsel. Günstige Bedingungen liegen auch vor an den Mündungen von Wasserläufen mit einem großen Ausgleichbecken vor der Mündung: Memeler Tief, Pillauer Tief, Swine und Trave. Die Mündung der Narowa bedarf noch des Ausbaues. Durch die Anlagen an den Mündungen der Windau und Wipper ist anfangs der Gleichgewichtszustand an der Küste weitgehend gestört worden, doch hat sich auch an diesen Mündungen nach einigen Jahrzehnten ein annähernder Gleichgewichtszustand eingestellt, nach dem sich die Küstenlinien den vorspringenden Mündungsanlagen angepaßt haben. In geringerem Maße ist der Gleichgewichtszustand durch die Anlagen an den Mündungen der Stolpe und Persante gestört worden.

Bei annäherndem Gleichgewichtszustand oder beim Vorhandensein von Ausgleichbecken (Pernau, Düna und Weichsel sowie Memeler Tief, Pillauer Tief und Swine) haben sich gleichlaufende Leitdämme bewährt. Dabei erscheint es nicht immer erforderlich, die Leitdämme bis zur neutralen Zone (9—10-m-Tiefe) durchzuführen, da bei annäherndem Gleichgewichtszustand sich die Tiefen außerhalb der Brandungszone durch verhältnismäßig geringe Baggerungen erhalten lassen. Es ist jedoch zweckmäßig, beide Leitdämme bis zu einer an die Köpfe der Leitdämme parallel zur Küstenlinie angelegten Tangente durchzuführen, da sonst um den kürzeren Molenkopf eine Nehrungsströmung einsetzt, die zur Ablagerung führt. An dem Kopf der kürzeren Mole setzt meist eine Barrenbildung parallel der längeren Mole ein. Wesentlich ist auch die Form der Molenenden. Vorzuziehen ist eine konkave Form zur Ablenkung der Strömung von der Mündung. Bei allem sind die Einfahrtsmöglichkeiten zu berücksichtigen, wozu die Einfahrt in die Richtung der vorherrschenden stärkeren Winde anzulegen ist.

Da ein Vorhafen an der Mündung für die Schiffahrt erwünscht ist, sind schräg aufeinander zulaufende Molen unter gewissen Umständen zweckmäßig.

Dabei ist in der Richtung der vorherrschenden Küstenströmung die Mole konkav zu krümmen, um die Sandwanderung weiter seewärts abzulenken. Bei konvex gekrümmten Molen (Windau, Rügenwaldermünde) hat sich im Laufe der Zeit die luvseitige Strandlinie konkav an die luvseitige Mole angeschlossen, wonach ein Gleichgewichtszustand eingetreten ist. Dieser Umstand erhärtet die viel umstrittene Meinung, daß eine konkave Krümmung der entsprechenden Mole zweckentsprechender ist. Die Abtragungen leewärts einer vorspringenden Anlage sind nachteilig, doch stellt sich auch da im Laufe der Jahre meist ein Gleichgewichtszustand ein. Durch rechtzeitige Befestigung der leeseitigen Küste läßt sich der Abbruch vermindern. Doch müßte damit im Zusammenhang die Frage der Sandwanderung unter den veränderten Zuständen vorher geklärt werden.

Die wesentlicheren Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung lassen sich wie folgt zusammenfassen:

1. Die Maßnahmen zur Verbesserung der Mündungen sind im Einklang mit der Wasser- und Materialbewegung vom Strom und von der Küste aus durchzuführen. Dazu sind die Sinkstofffracht des Flusses und die durch eine Sohlenvertiefung der Mündungsstrecke entstandene zusätzliche Fracht zu bestimmen, ferner, soweit möglich, die Sandwanderung an der Küste. Besonders zu berücksichtigen sind die Auswirkungen des Eisganges, des Hochwassers und der Sturmfluten.

2. Die Wasser- und Sandbewegung an der Küste wird durch den Energiefaktor ($E = h \cdot s^2 \cdot \sqrt{f}$) in Binnenmeeren zutreffend gekennzeichnet. Zur genaueren Kenntnis der Vorgänge in den tieferen Schichten sind aber Messungen der Tiefen- und Grundströmungen erforderlich.

3. Bei Kenntnis der Naturvorgänge ergeben die Untersuchungen von Veränderungen der Mündungsverhältnisse unter der Auswirkung bestehender Anlagen wertvolle Hinweise für die Verbesserung solcher Anlagen als auch für Neuanlagen.

4. Durch Modellversuche läßt sich die Wirkung von Einzelkräften unter Ausschaltung der übrigen Kraftwirkungen untersuchen, insbesondere in bezug auf die Wasserbewegung. In ihrer Gesamtheit lassen sich die Naturvorgänge im Modell nicht darstellen.

5. Bei einem annähernden Gleichgewichtszustand oder beim Vorhandensein von größeren Ausgleichbecken vor der Mündung genügen gleichlaufende

Leitdämme, deren Länge bei einem annähernden Gleichgewichtszustande unter der Voraussetzung von periodischen Baggerungen im Seegat beschränkt werden kann.

6. Die Anlage eines Vorhafens an der Mündung ist zweckmäßig, wobei die in der Richtung der vorherrschenden Küstenströmung und Sandwanderung gelegene Mole konkav zu krümmen ist.

7. Besonderes Gewicht ist auf eine für die Schiffahrt gefahrlose Einfahrt zu legen, was durch die Anlage der Einfahrt in der Richtung der vorherrschenden stärkeren Winde und durch eine entsprechende Lage und Form der Molenköpfe anzustreben ist.

Literaturverzeichnis.

(1) Munch-Petersen, Über Materialwanderung an der Küste. (Bericht zur V. Baltischen Hydrologischen Konferenz, Helsingfors 1936.)

(2) Verbesserung der Mündungen der Flüsse, welche sich in Meere ohne Ebbe und Flut ergießen. (Bericht zum X. Internationalen Schiffahrtskongreß, Mailand 1905.)

(3) Leppik, Flußmündungen mit Barrenbildung an der baltischen Ostseeküste. (Zeitschrift für Bauwesen, 1927, 1. bis 6. Heft [Ingenieurbauteil].)

(4) von Naghel, Erläuterungsbericht zum Entwurf der Verbesserung der Einfahrt zum Rigaschen Hafen.

(5) Schistovsky, Der Windauer Hafen.

(6) Ivanina und Aeckerle, Bau der Häfen an sandigen Küsten. (Bericht zum XI. Internationalen Schiffahrtskongreß 1908.)

(7) Revelis, Materialwanderung an der lettischen Küste. (Bericht zur VI. Baltischen Hydrologischen Konferenz 1938.)

(8) Knaps, Prüfung der Formel von Munch-Petersen. (Bericht zur VI. Baltischen Hydrologischen Konferenz 1938.)

(9) Weber, Der Memeler Hafen. (Jahrbuch der Hafenbautechnischen Gesellschaft 1925.)

(10) Prengel, Der Ausbau des Königsberger Seekanals. (Jahrbuch der Hafenbautechnischen Gesellschaft 1925.)

(11) Rozankowski, Die Küste der Weichselmündung. (Bericht zur VI. Baltischen Hydrologischen Konferenz 1938.)

(12) Musset: a) Untersuchungen über die Einwirkung der Form der Molen auf Küstenströmungen und Sandwanderungen vor den Hafeneinfahrten. (Zeitschrift für Bauwesen 1920.)
b) Weitere Untersuchungen über die Einwirkung der Form der Molen auf Küstenströmungen und Sandwanderungen. (Zeitschrift für Bauwesen 1922.)
c) Untersuchungen über den Zusammenhang der Sandbewegungen und Wassertiefenschwankungen in den Hafeneinfahrten mit den Windstärkeschwankungen für die Häfen zu Rügenwaldermünde und Kolberg, sowie daraus für Molenbauten sich ergebende Grundsätze. (Zeitschrift für Bauwesen 1923.)
d) Über Sandwanderung, Dünenbildung und Veränderung der Ufer an der hinterpommerschen Küste. (Zeitschrift für Bauwesen, 1924.)

(13) Heiser, Über die zweckmäßigste Anordnung der äußeren Hafendämme von Seehäfen an sandiger Küste mit Rücksicht auf den Einfluß, den die auf die Umgestaltung der Ufer einwirkenden Naturkräfte ausüben, unter besonderer Betrachtung der Verhältnisse an der deutschen Ostseeküste. (Zeitschrift für Bauwesen 1920.)

(14) Krause, Beitrag zur Frage der Häfen an sinkstoffführenden Küsten. (Bautechnik 1935.)

(15) Faehndrich. Die Wasserstraße Stettin—Swinemünde. (Jahrbuch der Hafenbautechnischen Gesellschaft 1922/23.)

(16) Rehder. Die bauliche und wirtschaftliche Ausgestaltung und Nutzbarmachung der Lübecker Hauptschiffahrtstraße.

(17) Seifert: a) Modellversuche für Tideflüsse. (Z. VDI 1937.)
b) Modellversuche für Tideflüsse. (Jahrbuch der Hafenbautechnischen Gesellschaft 1937.)

(18) Kressner: Modellversuche über die Wirkung der Strömungen und Brandungswellen auf einen sandigen Meeresstrand und die zweckmäßige Anlage von Strandbuhnen. (Bautechnik 1928.)

Abb. 1

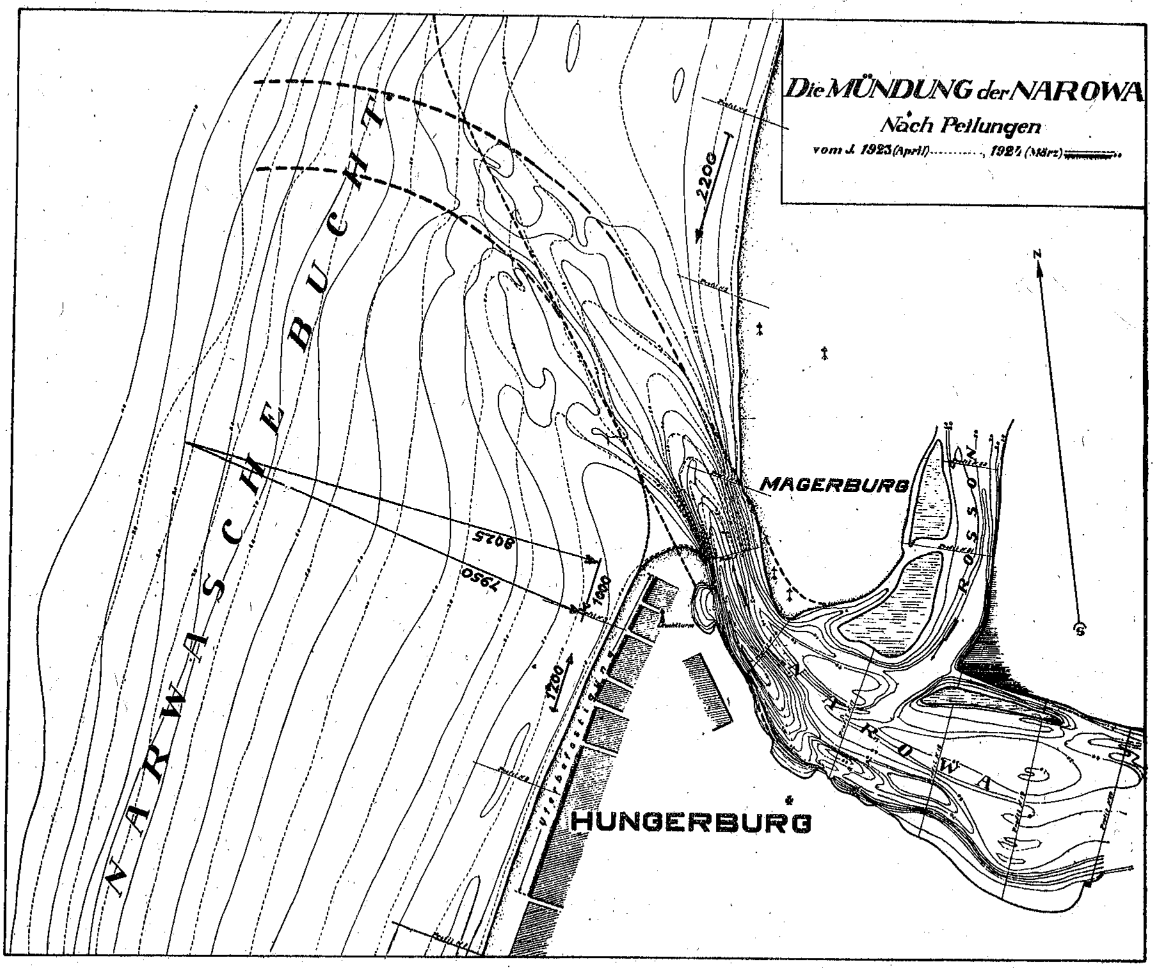
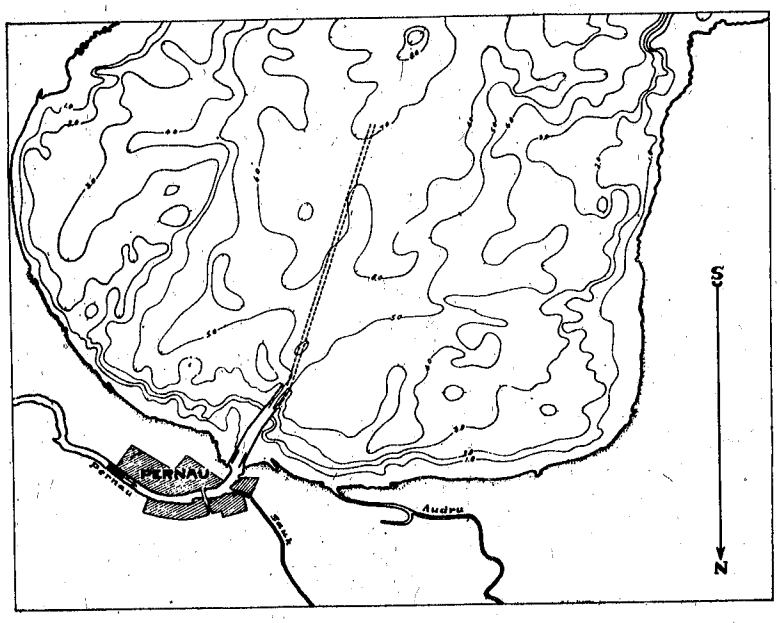
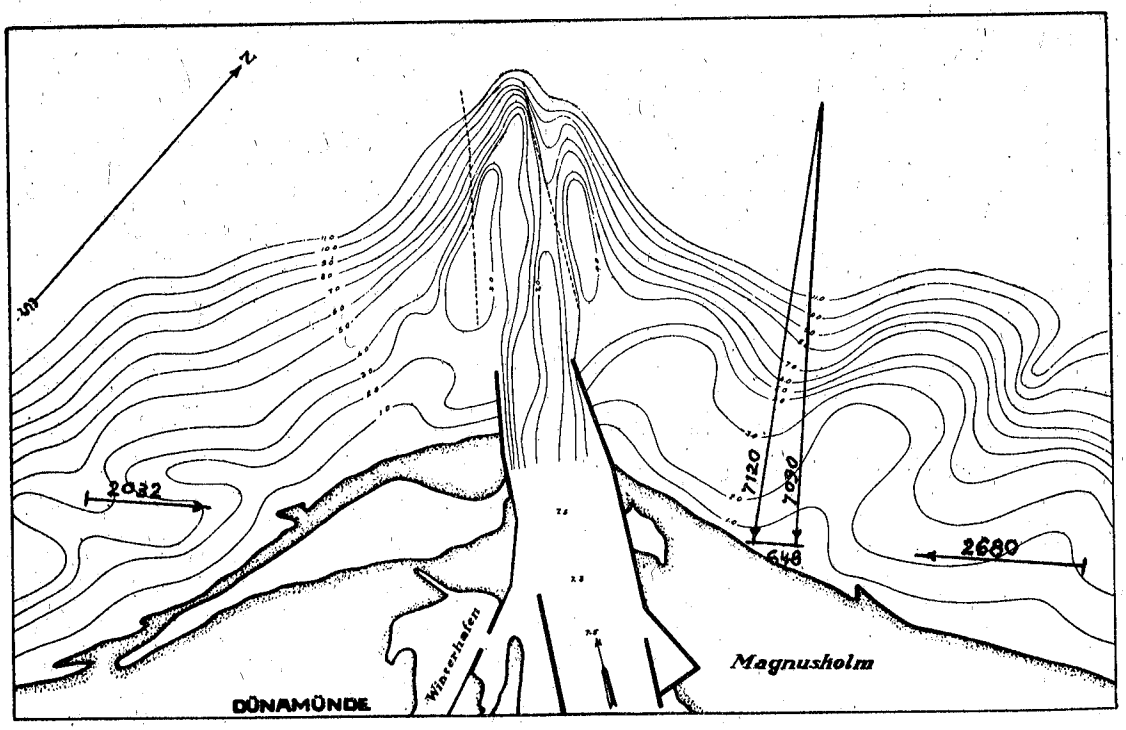
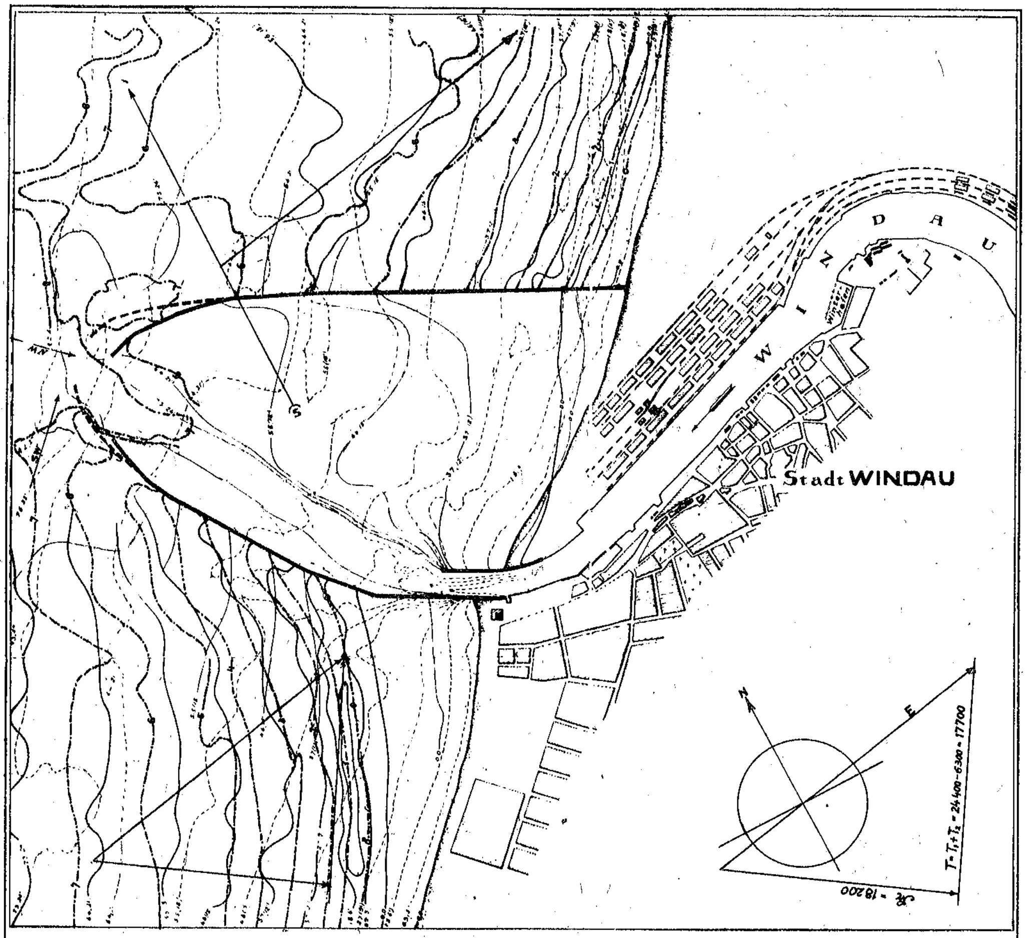

Die MÜNDUNG der NAROWA
Nach Pellungen
vom J. 1923 (April) ...., 1924 (März)
NARWASCHE BUCHT
MAGERBURG
HUNGERBURG
NAROWA
ROSSON
2200
8025
7950
1600
1200
N
S

Abb. 2-3


S
PERNAU
Audru
N


N
2032
7120
7090
648
2680
Winterhafen
DÜNAMÜNDE
Magnusholm

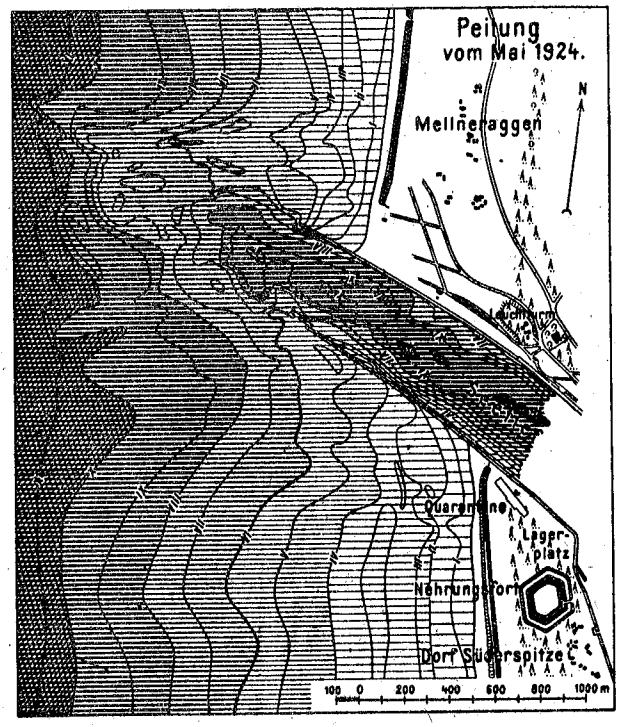
Nr. 21
Abb. 4



HAFENANLAGE an der MÜNDUNG der WINDAU

i.J. 1897 ———, 1907 ———, 1923–1924 ——— 1937 -·-·-·-

Abb. 5+6


Peilung
vom Mai 1924.
Mellneraggen
N
Leuchtturm
Quarantäne
Lager-
platz
Nehrung-Fort
Dorf Süderspitze
100 0 200 400 600 800 1000 m

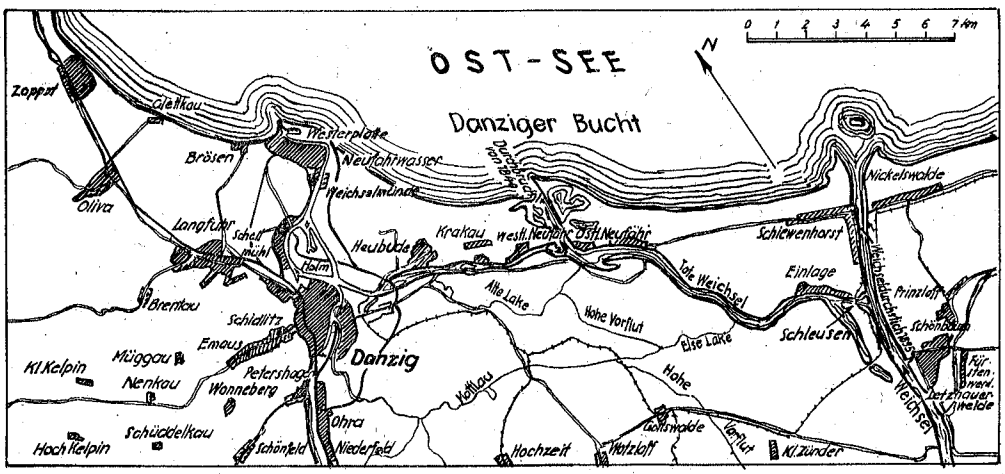
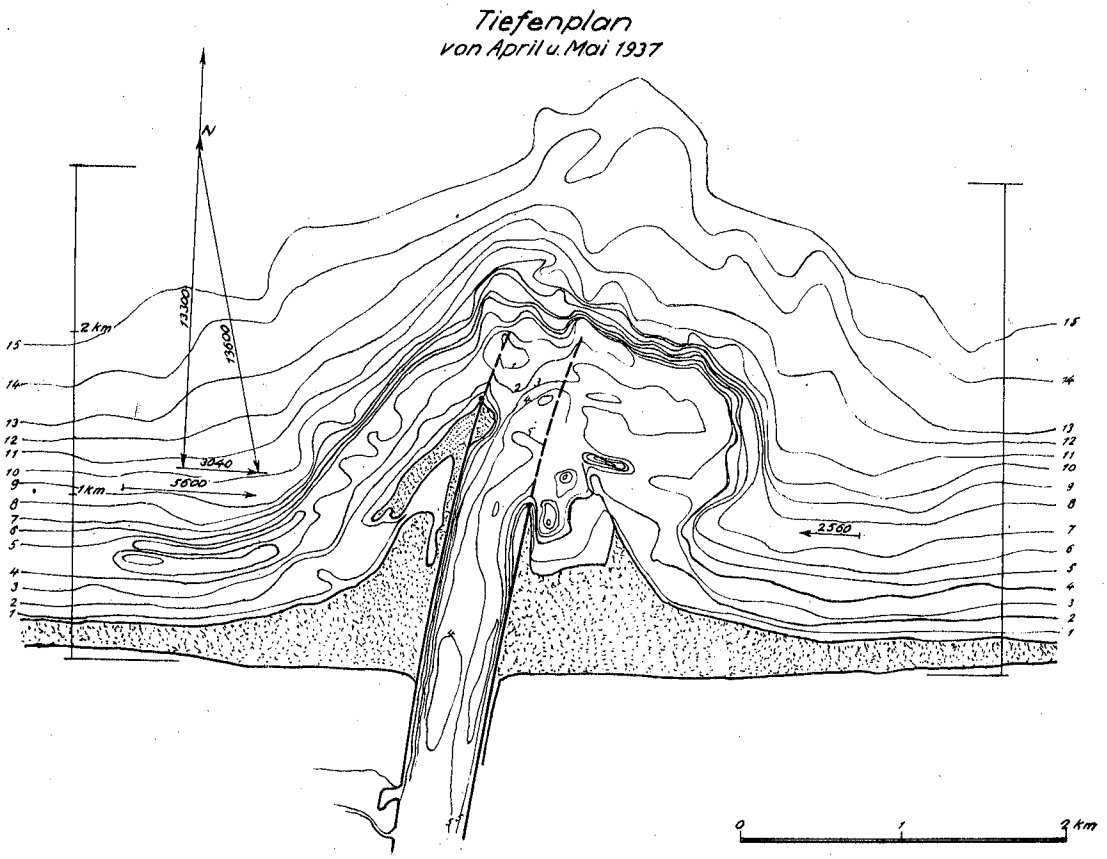
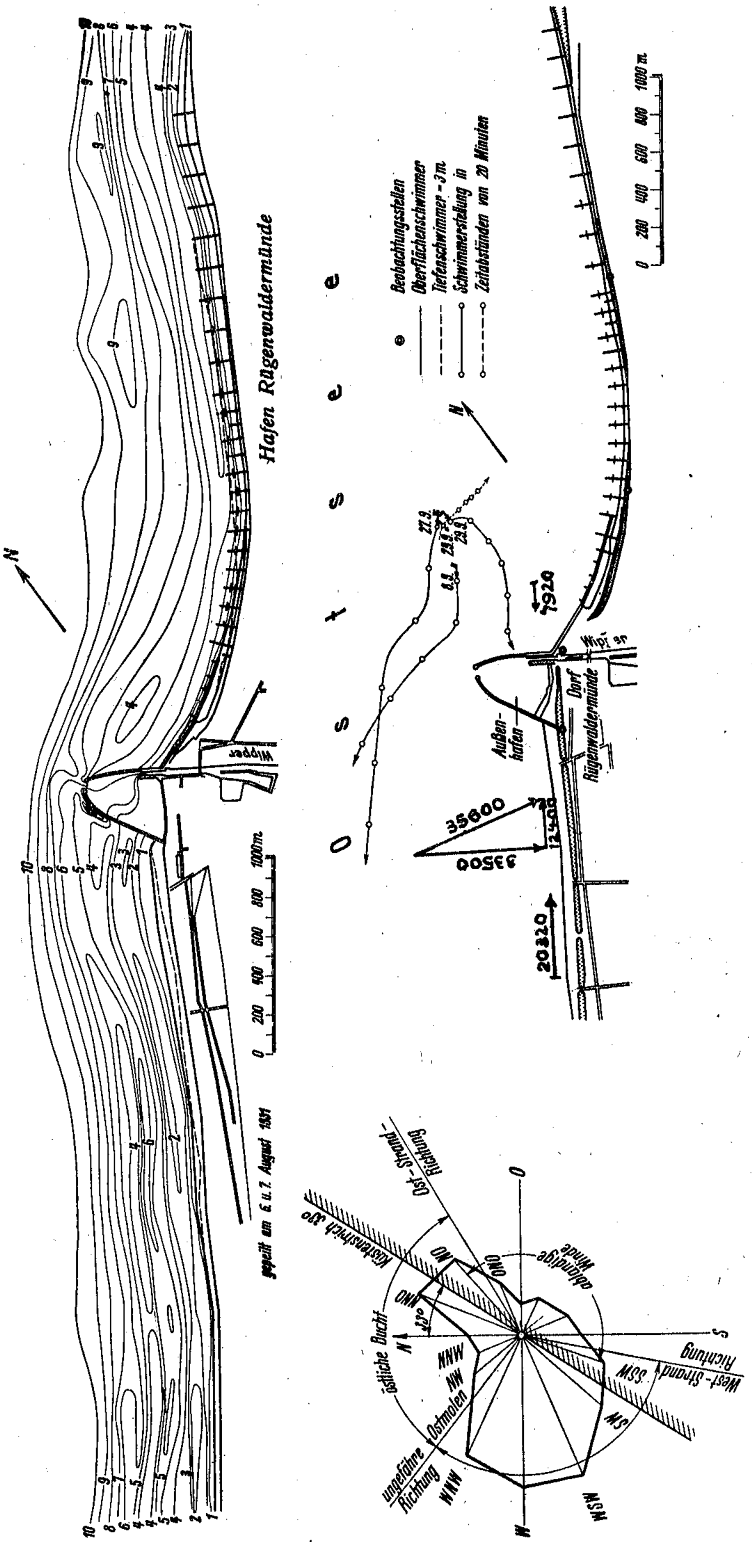
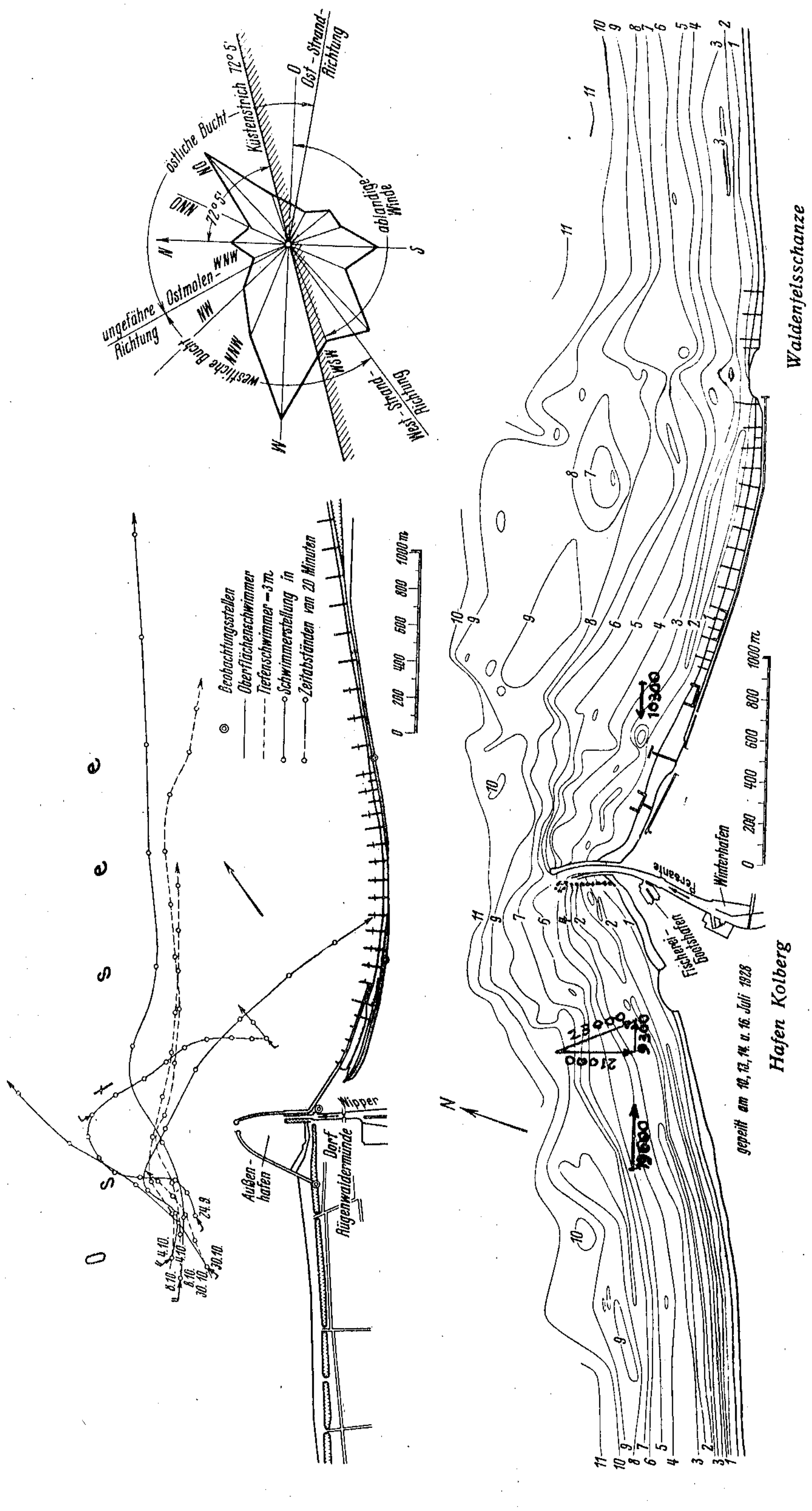

0 1 2 3 4 5 6 7 km
OST-SEE
N
Danziger Bucht
Zoppot
Glettkau
Brösen
Neufahrwasser
Weichselmünde
Oliva
Langfuhr
Heubude
Krakau
Westl. Neufähr
Ostl. Neufähr
Nickelswalde
Schiewenhorst
Einlage
Prinzlaff
Schönbaum
Birenkau
Schidlitz
Alte Lake
Hohe Vorflut
Tote Weichsel
Elise Lake
Schleusen
Kl. Kelpin
Müggau
Emaus
Nenkau
Petershagen
Wonneberg
Danzig
Hohe
Weichsel
Ohra
Schüddelkau
Hochkelpin
Schönfeld
Niederfeld
Hochzeit
Kl. Zünder

Abb. 7


Tiefenplan
von April u. Mai 1937
N
2 km
1 km
3040
5600
2560
0
1
2 km

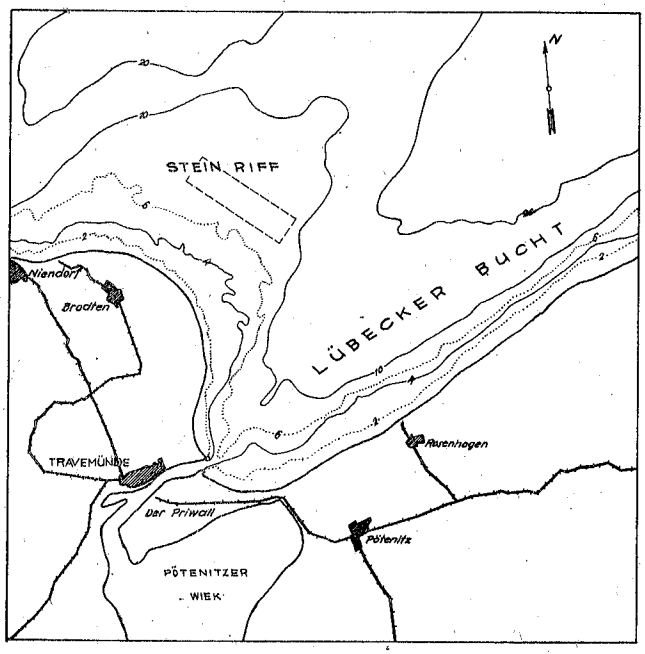

Hafen Rügenwaldermünde
gepeilt am 6. u. 7. August 1931
O s t s e e
Beobachtungsstellen
Oberflächenschwimmer
Tiefenschwimmer - 3 m
Schwimmerstellung in
Zeitabständen von 20 Minuten
Außenhafen
Dorf
Rügenwaldermünde
Wipper
35600
33500
20820
7920
12400
Ost-Strand-Richtung
West-Strand Richtung
Küstenstrich 37°
östliche Bucht
ungefähre Richtung
Ostmolen
ablandige Winde

Nr. 21
Abb. 9

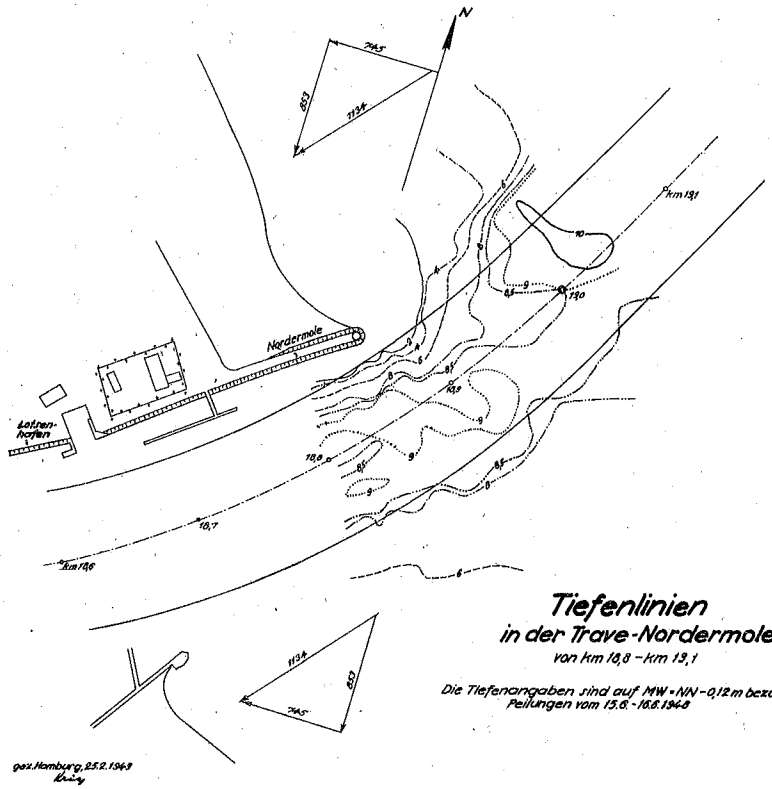


östliche Bucht
Küstenstrich 72° 5'
O
Ost-Strand-Richtung
NO
ONO
72° 5'
ablandige Winde
N
S
WNW
ungefähre Ostmolen-Richtung
NW
westliche Bucht
WNW
WSW
West-Strand-Richtung
W
Beobachtungsstellen
Oberflächenschwimmer
Tiefenschwimmer – 3 m
Schwimmerstellung in
Zeitabständen von 20 Minuten
0 200 400 600 800 1000 m
O s t s e e
Wipper
Außenhafen
Dorf
Rügenwaldermünde
N
Waldenfelsschanze
Persante
Winterhafen
Fischerei-Bootshafen
gepeilt am 10., 13., 14. u. 16. Juli 1928
Hafen Kolberg

Die Lübecker Bucht



Tiefenlinien



22

Maßnahmen zur Verminderung der Erosionswirkung an der offenen Küste.

Von Dr.-Ing. Egon Leppik, Regierungs- und Baurat i. R. in Hamburg.

Die Behandlung der Frage des Küstenschutzes ist mit der vorliegenden Formulierung beschränkt. In allgemeiner Fassung ist diese Frage auf dem XV. Internationalen Schiffahrtskongreß 1931 behandelt worden; „Verteidigung der Küsten gegen das Meer an Küsten mit und ohne vorwiegende Sinkstoffführung". Die vorliegende Fragestellung hebt die Erosionswirkung hervor und begrenzt die Behandlung der Frage auf die offenen Küsten. Ein Schutz gegen Abbruch, der nicht unmittelbar durch Erosion hervorgerufen ist, steht eigentlich außerhalb des Rahmens vorliegenden Berichtes. Andererseits kann aber eine Erosion auch mittelbar durch eine Verminderung der Breite der küstennahen Sandanhäufungszone die Küsten gefährden. Darum sind die Verhältnisse sowohl an Steil- als auch an Flachküsten in Betracht zu ziehen, jedoch unter besonderer Berücksichtigung der die Erosion verursachenden Tiefenströmung.

Unter offenen Küsten sind nicht nur Ozeanküsten, sondern auch solche der Rand- und Binnenmeere zu verstehen. Auszuschließen sind aber Küsten im Schutze vorgelagerter Inseln und in Buchten.

Bei der Behandlung der Frage ist von den Kräften kosmischen und meteorologischen Ursprungs (Gezeiten und Luftbewegung), durch welche die Wasserbewegung an den Küsten hervorgerufen wird, auszugehen, wozu noch die durch die physikalischen Eigenschaften hervorgerufenen Strömungen (Dichte-) kommen. Die aktiven Kräfte wirken sich auf die Gestaltung der Küste aus, wobei deren Widerstand von dem Verlauf der Küstenlinie und von dem Bestande der Küste bedingt ist. Alle diese Einflüsse werden überlagert von den geologischen Vorgängen, welche sich in einer Hebung oder Senkung der Küste äußern.

In Anbetracht der Verschiedenheit der Verhältnisse sind die Nordsee- und Ostseeküste gesondert behandelt worden.

I. Die Naturvorgänge an der Ostfriesischen Küste.

An der deutschen Nordseeküste sind die Verhältnisse der ostfriesischen Küste in den letzten Jahrzehnten eingehend untersucht worden. Im folgenden werden daher die Naturvorgänge in diesem Küstenabschnitt besonders beschrieben.

Die Küsten der Nordsee werden vorwiegend durch die Gezeitenströmungen beherrscht; dazu kommen die Windströmungen, insbesondere bei Sturmfluten. Da die ostfriesische Küste bis in größere Tiefen aus feinen Sanden aufgebaut ist, ist sie den Einwirkungen der Naturkräfte besonders stark ausgesetzt. Die Entwicklung der ostfriesischen Küste begann mit dem Rückgang des Eises der letzten Eiszeit und setzt sich bis in die Gegenwart fort. Die geologische und vorge-

schichtliche Entwicklung ist von Backhaus (1) eingehend beschrieben worden. Am Rande des der Marsch vorgelagerten Watts entstanden die ostfriesischen Inseln, die sich aus Sandbänken zu Düneninseln entwickelten, an Breite und Länge zunahmen und sich langsam nach Osten verschoben. Diese Inseln bilden den natürlichen Schutz der anschließenden Watt- und Marschflächen. In der offenen See vor der ostfriesischen Inselküste ist die Flutwelle in östlicher bis südöstlicher Richtung schräg gegen die Küste gerichtet. Die Ebbeströmung verläuft in entgegengesetzter Richtung, tiefere Rinnen bildend. Durch die zwischen den einzelnen Düneninseln gelegenen Seegaten wird der Flutraum des zwischen den Inseln und der Festlandküste gelegenen Wattengebietes bei Flut durch die einströmenden Wassermengen gefüllt, bei Ebbe wieder entleert. Da bei diesen Vorgängen durch die verhältnismäßig engen Seegaten beträchtliche Wassermengen ein- und ausströmen, entwickeln sich in ihnen Stromgeschwindigkeiten von erheblicher Stärke. Im Zusammenwirken von Wellenschlag und Strömungen treten daher in den Seegaten die Veränderungen der Stromrinnen, der Sandbänke und der Inselküsten in besonders deutlicher Weise in Erscheinung. Die Gliederung und Lage der Rinnensysteme und der Sandbänke ist hierbei abhängig von der Größe und Flächengestaltung des zu jedem Seegat gehörenden Wattengebietes (Vgl. Gay und Walter (3)). Vor der ostfriesischen Küste haben sich zwei Hauptformen der Seegaten ausgebildet:

1. Im Norderneyer Seegat und in der Wichter Ehe (zwischen Norderney und Baltrum) ist der Hauptebbestrom gegen die Westenden von Norderney und Baltrum gerichtet, weil der westliche Teil des zugehörigen Wattengebietes den östlichen Teil überwiegt (Abb. 1).

2. In der Akkumer Ehe (zwischen Baltrum und Langeoog) und der Otzumer Balje (zwischen Langeoog und Spiekeroog) ist infolge des Überwiegens des östlichen Teiles des Wattengebietes der Hauptebbestrom zunächst nach NNW gerichtet, so daß die Stromrinnen von den Westenden der Inseln (Langeoog und Spiekeroog) absetzen. Durch diese Erscheinungen wird im wesentlichen die Lage der tiefen Stromrinnen in den Seegaten bedingt, so daß die West- und Nordwestenden der Inseln Norderney und Baltrum der Erosionswirkung ausgesetzt sind, während die Westenden der Inseln Langeoog und Spiekeroog Sandzufuhren erhalten.

Bei Sturmfluten durchströmen größere Wassermassen die schmalen Rinnen zwischen den Inseln, das Wasser an den Marschküsten aufstauend. Fällt der größte Windstau in die Zeit der Flut, verstärken sich beide Strömungen, während die Ebbeströmung entgegengesetzt gerichtet ist.

Die Auswirkungen außergewöhnlicher Sturmfluten bilden Wendepunkte in der Entwicklung der ostfriesischen Küste. An der Emsmündung lag zu Beginn unserer Zeitwende die Großinsel Burchana (Bant), zu deren Bestand Borkum, Juist, Memert, Buise und zum Teil Norderney gehörten. Die Insel umfaßte auch die Oster-Ems. Die Insel wurde wahrscheinlich durch die Sturmfluten der Jahre 1170 und 1362 in Stücke zerrissen. Nach Aufteilung der Insel Bant bahnten sich die Fluten einen Weg zum Festland; sie erweiterten die Stromrinne der Osterems und brachen stellenweise in das Festland (Dollart im Jahre 1370). Große Verheerungen richtete an der ostfriesischen Küste die Petriflut von 1651 an. Die Insel Borkum nahm von Jahr zu Jahr ab, bis im 18. Jahrhundert verstärkte Schutzmaßnahmen einsetzten. Der Entwicklungsgang der übrigen ostfriesischen Inseln nahm einen ähnlichen Verlauf.

Besonders schwerwiegende Folgen hatte die in den letzten Jahrhunderten größte Sturmflut vom 3. bis 5. Februar 1825. So wurde bei dieser

Sturmflut die Insel Juist soweit zerstört, daß sie zeitweilig verlassen werden mußte, die Insel Baltrum durch viele Einbrüche verwüstet und durchteilt, größere Teile wurden auch von den übrigen ostfriesischen Inseln fortgespült. Der Windstau bei der Sturmflut 1825 betrug über MThw: an der ostfriesischen Küste 3,20 m, an der Elbmündung 3,50 m und an der Dithmarscher Küste 4,40 m. Um diesen Betrag erhöhten sich die normalen Flutwellen, die an der Südküste der Nordsee eine Höhe von 2 bis 3 m, und an der Ostküste von 1 bis 1,5 m erreichen. Daraus ergeben sich die gewaltigen Wassermassen, die von der Nordsee zur Küste getrieben wurden.

Im Brandungsgürtel, der bis zur 3-m-Tiefe reicht, wandert der Sand unter der Wirkung des Gezeiten- und Windstromes am stärksten. Das südlich der Inseln liegende Watt, das bis auf die Rinnen bei Niedrigwasser trocken ist, füllt sich bei Flut durch die Seegaten und wird durch sie bei Ebbe geleert. Jedes Seegat hat seine Wattgebiete, welche durch Wattscheiden getrennt sind. Die Wattscheiden bilden keine festliegenden Linien sondern verschieben sich je nach den Winden. Der im Brandungsgürtel vor den Inseln nach Osten wandernde Sand wird durch den Flutstrom auf die Westseite des Seegats geschoben und von dort durch den Ebbstrom nach Norden. Auf den Barren, die den Mündungen der Seegats vorgelagert sind und nach Norden steil abfallen, wandert der Sand nach Osten und dann von der Ostseite der Gats nach SO auf die nächste Insel zu. Je größer das Seegat, desto weiter ist die Barre vorgeschoben, desto mehr ist die östliche Insel gegen die westliche gestaffelt.

Die mit der Brandung und dem Flutstrom von Westen herangebrachten Sandmassen bauen den Riffgürtel vor den Seegaten auf. Die Ebbeströmung verfrachtet die Sandmassen nach Norden weiter und lagert sie im nördlichen Teil des Riffgürtels ab, von wo sie wiederum durch Brandung und Flutstrom nach Osten auf die nächste Insel zu transportiert werden. Bei Norderney und Baltrum haben sich im Laufe der Jahrzehnte die Stromrinnen des Seegats eingeengt und vertieft, was einerseits durch den Druck der Riffe, anderseits durch die Befestigung des Weststrandes der Inseln bedingt ist. Aus dem Wege der Sandwanderung ist zu ersehen, daß die Sandzufuhr zum Westende von Norderney und Baltrum erschwert ist. Andererseits greifen die Strömungen und die Brandung die Westenden an und suchen Abbrüche herbeizuführen.

Alle diese Erscheinungen werden unterlagert durch Senkungen, welche als Auswirkung tektonischer oder noch andauernder bodenmechanischer Vorgänge (alluvialer Senkungen) sich vollziehen. In welchem Maße sich die Küstensenkung in der Gegenwart fortsetzt, ist noch nicht eindeutig festgestellt worden. Im ostfriesischen Gebiet können i. M. 20 cm im Jahrhundert angenommen werden. Dieser Umstand wirkt sich nachteilig für einen dauernden Küstenschutz aus.

II. Maßnahmen zur Verminderung der Erosionswirkung an der ostfriesischen Küste.

Als erste Maßnahme ist die Erkenntnis der Vorgänge in der Natur zu nennen. Dazu gehören systematische Untersuchungen, welche seinerzeit von der Forschungsstelle Norderney eingeleitet worden sind: erdgeschichtlicher Aufbau des Küstengebietes und Nordseebeckens, Windbeobachtungen, Wasserstandsbeobachtungen, Wellen- und Strömungsmessungen, Bestimmung der Sandwanderung und Sinkstoffbewegung, Temperatur- und Dichtemessungen, Eisbeobachtungen, Untersuchung der Bodenarten, Tier-

und Pflanzenwelt. Besonders zu beachten sind die Beziehungen zwischen Wetterlagen und Wasserbewegung (Sturmfluten).

Von den bisher ausgeführten künstlichen Maßnahmen sind zu nennen die im 18. Jahrhundert begonnene Dünenpflege und der seit Mitte des 19. Jahrhunderts durchgeführte Küstenschutz durch Buhnen und Längswerke. Die im Zeitraum 1858 bis 1938 getroffenen Maßnahmen haben eine Änderung der sturmflutfreien Flächen der Inseln im allgemeinen verhindert, doch hat an den gefährdeten Stellen der Strand abgenommen. Durch diese Maßnahmen ist zwar die Wirkung der Angriffe von Seiten der See bekämpft, aber die Ursachen sind dadurch nicht beseitigt worden. Deshalb sind auch die getroffenen Maßnahmen nicht ausreichend gewesen. Die Anlagen an den Westenden der Inseln mußten im Laufe der Jahrzehnte bedeutend verstärkt, erweitert und umgebaut werden. Als nächste Maßnahme käme eine Lenkung der Meeresströmungen in Betracht, um dadurch die Erosionsrinnen von den Westenden der gefährdeten Inseln mehr nach Westen zu verlagern.

So wird zur Verbesserung der Verhältnisse im Norderneyer Seegat und zum Schutze der stark gefährdeten Insel Norderney eine Verlängerung und Aufhöhung einer oder mehrerer westlichen Buhnen nebst Ausbau einer Buhne mit Leitwerk erwogen. Dadurch soll ein früher vorhanden gewesener, günstiger Zustand wieder hergestellt werden, bei welchem sich durch den westlichen Teil des Riffgürtels beständige Ebbrinnen offen gehalten haben sollen. Dabei müßten die Durchflußmengen und Durchflußquerschnitte im richtigen Verhältnis stehen, um Erosionen zu vermeiden. Die Durchflußmenge hängt von der Flächengröße und Höhenlage des zum Seegat zugehörigen Wattengebietes ab. Ferner lassen sich vielleicht die Lage und die Größe der Zuflußgebiete der Seegate durch Verlegung der Wattscheiden im gewünschten Sinne regeln. Gleichzeitig könnte eine Wiederaufhöhung der abgenommenen Wattflächen südlich der Insel Juist in Erwägung gezogen werden, um so die Durchflußmengen im Norderneyer Seegat zu verkleinern. Die genannten Maßnahmen sind aber äußerst kostspielig und es ist fraglich, ob sie verwirklicht werden können. Nach Erforschung der Strömungsverhältnisse in der Natur ließe sich ihre Lenkung durch künstliche Maßnahmen im Modell überprüfen. Hierbei sind jedoch die Sandwanderung und Sinkstoffbewegung als solche naturähnlich nicht darstellbar.

III. Die Naturvorgänge an der Süd- und Ostküste der Ostsee.

Zur Erfassung der Strömungen und der Erosionswirkung an der Süd- und Ostküste der Ostsee ist von der Entstehungsgeschichte dieses Beckens auszugehen. Dabei ist von wesentlicher Bedeutung die Wasserbewegung zwischen der Nord- und Ostsee und ihre Auswirkung auf die Strömungen in der Ostsee.

Durch die dänischen Meerengen strömt das schwerere Nordseewasser in den unteren Schichten in die Ostsee ein, während zum Ausgleich oder bei vorherrschenden Winden des östlichen Sektors das leichtere Ostseewasser als obere Schicht ausströmt. Bei anhaltenden stärkeren Westwinden setzt sich der Einstrom in die Ostsee im ganzen Querschnitt durch. Die sich dann in der südlichen Ostsee fortsetzende Westströmung staut das Wasser der Ostsee, die Wasserstände von West nach Ost hebend. Aus dem Hauptstrom ergießen sich zum Ausgleich der Wasserstände Nebenströme in die Buchten. Vor den das Stettiner Haff begrenzenden Inseln hat die Sandanlandungszone sich weiter seewärts vorgeschoben, die Strömung nordwärts abdrängend.

Von Bornholm ausgehend nähert sich die 40 m Tiefenlinie vor der hinterpommerschen Küste im Bogen der Küste (Scheitel zwischen Kolberg und Jamundersee) und entfernt sich wieder in Richtung zur Stolperbank (Abb. 2). Die Verfrachtung der Wassermassen vollzieht sich hier hauptsächlich durch die Stolprinne, die sich zwischen der Mittel- und Stolpebank von der Bornholmer zur Danziger Mulde hinzieht. Diese Rinne ist der einzige tiefere Durchlaß von West nach Ost, so daß hier bei Wasserverlagerungen in der Ostsee erhebliche Geschwindigkeiten auftreten. Die Auswirkung dieser Wasserbewegung auf die küstennahe Erosion wird weiterhin behandelt.

Nach Pratje (4) bestehen vier Sedimentationszonen, von denen die zwei an die Küste anschließenden unter der unmittelbaren Wirkung der Erosion stehen, nämlich die küstennahe Sandanhäufungszone und das Abtragungsgebiet.

Die küstennahe Sandzone häuft den Sand aus der Küstenzerstörung und teilweise aus der zweiten Zone (Abtragungsgebiet) an. Diese Zone ist im allgemeinen ziemlich schmal, sie wird an Flußmündungen und an Küstenvorsprüngen breiter, vor den Steilküsten dagegen schmaler. In ihr vollzieht sich die Brandung. Sie ist gekennzeichnet durch die Riffbildungen.

Bei einer Strandböschung 1 : 20 bis 1 : 30 m ist die mittlere Strandbreite an Flachküsten der Südküste der Ostsee 35 bis 40 m. Die landseitige Angriffszone der Wellen ist eindeutig begrenzt durch die Strandlinie und den Dünenfuß, während die seeseitige Begrenzungslinie nicht festliegt. Die Mächtigkeit des Sandes ist in der küstennahen Zone der Südküste meist nicht groß und übersteigt selten 2 bis 3 m (Pommern, Ostpreußen). An den Steilküsten liegt vorwiegend Schutt aus jüngerer Zeit, da diese Küsten dauernd im Rückgang sind, z. B. in Ostpreußen $^1/_2$ bis $^3/_4$ m im Jahr. Bei hohen Sturmfluten besteht am Boden der küstennahen Zone eine Gegenströmung (Sog), durch welche das Material seewärts verfrachtet wird und dieser Zone und dem Küstenschutz verloren geht.

An die küstennahe Sandanhäufungszone schließt sich die zweite Zone, das Abtragungsgebiet, an. Die Tätigkeit der Brandung in der ersten Zone wird hier durch Strömungen fortgesetzt, welche sich in der Vertiefung des Bodens (Erosion) auswirken. Wo der diluviale Untergrung vor den Küsten hochliegt, insbesondere vor Steilküsten, befinden sich in dieser Zone Flächen, die frei von Sedimenten oder mit gröberem Material (Geschiebemergel, Steine) bedeckt sind. Hier läuft ein starker Strom mehr oder minder parallel zur Küste, führt das lockere Material fort, läßt nur groben Kies und Steine liegen und wäscht den Untergrund oberflächlich aus. Da der Küstenrückgang den Strom immer wieder in flacheres Wasser landwärts verschiebt, so ist in den meistne Fällen der Gleichgewichtszustand noch nicht erreicht.

An der Südküste der Ostsee neigen besonders zum Rückgang außer den vorspringenden Steilküsten folgende Strecken:

a) die schon erwähnte Küste der Kösliner Bucht zwischen Funkenhagen und Rügenwaldermünde mit dem Scheitel am Jamunder See;
b) vom Seengebiet an der ehemaligen deutsch-polnischen Grenze bis Rixhöft, gekennzeichnet durch eine Vertiefung des Meeresbodens (Erosion) und durch eine Abrasion der Küste; die Abtragungen sind in diesem Gebiet auf 1 km Küstenlänge mit 70 000 m³ im Jahr berechnet worden.
c) die ostpreußische Samlandküste.

Außerdem sind starkem Abbruch die Küsten auf den Leeseiten natürlicher oder künstlicher (Hafenanlagen) Vorsprünge unterworfen, was durch die Unterbrechung der Brandungszone bedingt ist.

Die Verhältnisse an der Ostküste der Ostsee von Memel bis zur Pernauschen Bucht des Rigaschen Meerbusens sind von Knaps (6) untersucht worden. In Anbetracht der in der Einleitung erwähnten Einschränkung (offene Küsten) soll hier nur der Teil zwischen Memel und dem Rigaschen Meerbusen betrachtet werden. Knaps' Untersuchungen beschränken sich in der Hauptsache auf die küstennahe Zone, für welche die durch die Winde hervorgerufene Wasserbewegung (Wellenschlag, Brandung und von letzterer hervorgerufene Strömung) maßgebend ist. Der Vorstrand hat hier eine Neigung von 1 : 50 bis 1 : 200. Nach den ausgeführten Untersuchungen sollen die Anlandungen und der Abtrag weniger von der Küstenform und der Vorstrandneigung abhängig sein, als von der Geschwindigkeit der Sandwanderung. Im Falle einer verlangsamten Bewegung wird im Bereich dieser Bewegung weniger fort- als zugeführt, wodurch Anlandungen entstehen. Bei einer beschleunigten Bewegung überwiegt der Abgang den Zugang, wodurch die Tiefen zunehmen und die Neigung des Vorstrandes abnimmt. Größere Tiefen fördern die Materialwanderung; Hafenbauten und Küstenvorsprünge aus widerstandsfähigerem Material bremsen sie. Die von Memel aus kommende Materialwanderung setzt sich fort bis zum Libauschen Hafen, wo sie seewärts abgelenkt wird. Nördlich dieses Hafens nimmt nach einem Abtragungsgebiet die Materialwanderung wieder zu. Im weiteren Verlauf der Küste wechseln Abtrag- und Anlandungsstrecken. Die Materialwanderung wird dann wieder durch den Windauer Hafen gebremst, wonach eine größere Abtragsstrecke folgt. An der Spitze von Domesnäs setzt sich die Sandwanderung in Richtung der Küste als Nehrung fort, die eine Länge von 6 km erreicht hat. Die jährliche Zunahme der Nehrung beträgt 2 500 000 m³.

Bei der Untersuchung der beschriebenen Küstenstrecke ist von der Munch-Petersenschen Formel $E = h \cdot s^2 \cdot \sqrt{f}$ ausgegangen worden, wo h die Windhäufigkeit, s die Windgeschwindigkeit der auflandigen Winde und f die Streichlänge ist. E wird als Resultierende aus den einzelnen auflandigen Himmelsrichtungen bestimmt, wobei $h \cdot s^2$ ein meteorologischer Faktor ist, der eine entsprechende Brandung sowie Strömungen hervorruft, die sich auf die Materialbewegung der Küste auswirken. Nach Zerlegung von E (Wellenschlagsenergiefaktor) in eine zur Küste winkelrechte und in eine parallele Komponente erhält man die zerstörende (aufwühlende) und die transportierende Kraftkomponente. Eine solche Untersuchung ergibt zutreffende Werte für die Vorgänge in der küstennahen Zone. Nicht erfaßt aber werden die Strömungen in der seewärts anschließenden Abtragszone. Deshalb muß die Untersuchung der Erosionswirkung auf breiterer Grundlage aufgebaut werden, wozu die Erfassung der seeseitigen Strömungsverhältnisse gehört.

Im beschriebenen Küstenabschnitt überwiegen die Anlandungen, wobei Erosion nur als Folge von vorspringenden Bauten auftritt. Die 20-m-Tiefenlinie zieht sich i. M. in einer Entfernung von 10 km von der Küste hin, die 50-m-Tiefenlinie in einer Entfernung von 20 bis 30 km.

Die Verhältnisse an der baltischen Ostseeküste sind vom Verfasser in einem Bericht zum XV. Internationalen Schiffahrtskongreß (7) behandelt worden. Erosionswirkungen machen sich nur an der Steilküste des Finnischen Meerbusens zwischen Baltischport und Narwa bemerkbar. Diese

Steilküste (Glint) besteht aus Silurkalkstein und kambrischem Ton. Sie wird durch Buchten und Flachküsten unterbrochen, die sie im Bogen umgeht. Wo die Steilküste unmittelbar bis an das Meer reicht, hat sich aus den Zerstörungsprodukten ein Vorstrand von verschiedener Breite gebildet. Die 20-m- und 50-m-Tiefenlinien verlaufen parallel der Strandlinie und nähern sich streckenweise bis auf wenige Kilometer der Küste. An solchen Stellen ist der Vorstrand schmal und die Erosionswirkung merklich. Durch das von oben wirkende atmosphärische Wasser und durch den Frost wird das Gestein zerklüftet, um dann nach Unterspülung brockenweise herabzustürzen, den Vorstrand weiter ausbildend.

Die Finnländische Ostseeküste gehört zum Gebiet der Fennoskandischen Landeshebung. Die Hebung beträgt im nördlichen Teil Finnlands 10 mm/Jahr. Infolge dieses Umstandes und der die Küste bildenden widerstandsfähigeren Gesteinsart treten hier keine bedeutenderen Erosionswirkungen auf.

Da die Frage der Küstenhebung oder -senkung von wesentlicher Bedeutung für das Ausmaß von Erosionswirkungen ist, folgen einige Untersuchungsergebnisse dieses Vorganges an der Süd- und Ostküste. Ausgehend von langjährigen Wasserstandsbeobachtungen (1841—1930) an den Pegeln der Südküste von Travemünde bis Pillau sollen nach Hahn und Rietschel (8) keine größeren Änderungen in den gegenseitigen Beziehungen der Wasserstände genannter Pegel eingetreten sein. Im Falle einer Senkung der Südküste wäre nach ihrer Lage zwischen dem vermuteten Senkungsfeld der Deutschen Nordseeküste und dem Hebungsgebiet Fennoskandiena im westlichen Gebiet der Ostsee eine größere Senkung und damit ein stärkeres relatives Ansteigen der Wasserstände zu erwarten. Andererseits jedoch würde eine Zunahme westlicher Winde über der Ostsee ein verstärktes Ansteigen der Wasserstände an den östlichen Pegeln der Südküste gegenüber den westlich gelegenen hervorrufen. Da diese beiden Erscheinungen (Küstensenkung und verstärkte atmosphärische Zirkulation) sich entgegengesetzt auf die Wasserstände im östlichen und westlichen Teil der Südküste auswirken, können sie sich gegenseitig aufheben. Deshalb läßt sich auf dieser Grundlage nicht feststellen, ob eine Senkung stattgefunden hat. Nach Model (9) soll die gesamte westliche Ostsee absinken, wobei die Senkung mit maximal 2 mm/Jahr angegeben wird. Diese Feststellung folgte aus der Untersuchung der Wasserstände von 79 Pegelstationen im Zeitraum 1904/1938. Die untersuchte Zeitspanne erscheint aber zu kurzfristig zur Bestimmung säkulärer Senkungen.

Nach Pratje (4) fand die letzte große Senkung 4000 Jahre v. Chr. statt, wonach die Ostsee bis an die heutige Südküste vordrang. Dabei verschob sich auch die Kippachse bis an diese Küste. Deshalb ist augenblicklich keine starke Bewegung anzunehmen. Nur mit dem Abbruch von Steilküsten ist weiterhin zu rechnen.

Auf die Erosion und den Küstenabbruch üben Sturmfluten einen nachhaltigen Einfluß aus. Für die Südküste der Ostsee sind nach vorhergehenden, länger andauernden Weststürmen Stürme aus NO besonders bedrohlich. Durch westliche Winde wird ein starker Einstrom hervorgerufen. Nach der Winddrehung auf NO werden die in der Ostsee angestauten Wassermengen gegen das südliche Ufer geworfen. Die große Wassermasse kann nicht schnell genug abfließen, sondern läuft hoch auf den Strand. Da beim Durchzug der Zyklonen nur selten eine Drehung von W bis nach O stattfindet, ist die Zahl der Sturmfluten an der Südküste der Ostsee bedeutend geringer als an der Südküste der Nordsee. Im Zeitraum 1304/1908

sind 79, davon 36 bedeutendere Sturmfluten beobachtet worden, somit 6 größere Sturmfluten im Jahrhundert. Nach 1908 sind nur wenige größere Sturmfluten aufgetreten (Ende Dezember 1913, 10. Januar 1914). Die ostpommersche Küste ist noch von Sturmfluten in den Jahre 1921 und 1926 betroffen worden.

Bei den Sturmfluten wird nicht nur die küstennahe Zone durch den Wellenschlag und die sich dabei entwickelnden Strömungen angegriffen, sondern beim Rückströmen des aufgestauten Wassers wirkt sich der Sog auch auf größere Tiefen aus. Größere Sturmfluten bedeuten oft Wendepunkte in der Entwicklung der Küsten.

An der Ostküste der Ostsee, insbesondere in nördlicheren Breiten, werden die Küsten in strengen Wintern auch durch Eis gefährdet. Die angehäuften Eismassen erreichen mitunter außergewöhnliche Ausmaße. Darüber liegt ein Bericht von Kraus zur 3. Baltischen Hydrologischen Konferenz vor. Die Eisschubberge wirken zerstörend auf die Küsten und insbesondere auf die Schutzanlagen. Ihre erodierende Wirkung ist aber nicht festgestellt worden.

IV. Maßnahmen zur Verminderung der Erosionswirkung an der Süd- und Ostküste der Ostsee.

Auf Grund der beschriebenen Naturvorgänge sind bei den Maßnahmen zur Verminderung der Erosionswirkung die Zusammenhänge zwischen der Erosion und der Gestaltung der Küste in Betracht zu ziehen. Danach ist die Gesamtwirkung der bestehenden Schutzanlagen zu prüfen, woraus sich Hinweise für weitere Maßnahmen ergeben.

Die Frage des Küstenschutzes im weiteren Sinne ist auf dem XV. Internationalen Kongreß 1931 erschöpfend behandelt worden. Die zu diesem Kongreß vorgelegten Berichte waren zu einem Generalbericht zusammengefaßt, der Empfehlungen für alle baulichen Schutzmaßnahmen enthält. Diese Empfehlungen wurden in die Beschlüsse des Kongresses aufgenommen. In der vorliegenden Mitteilung sind, von der Betrachtung der Naturvorgänge und von der Wirkung der bestehenden Schutzanlagen ausgehend, einige Vorschläge zur Verminderung der Erosion und damit zur Sicherung des ganzen Küstenschutzes gemacht worden.

Die Frage des Küstenschutzes an der Südküste der Ostsee hat eingehend Heiser behandelt (10). Vorspringende befestigte Küsten und Hafenanlagen bilden eine Reihe von festen Punkte, zwischen denen sich dann ein flach gekrümmtes Ufer ausbildet, an dem sich die durch Wellen und Strömung in Bewegung gesetzten Sinkstoffe ablagern. Dabei darf nach Heiser die Entfernung zwischen den festen Punkten nicht zu groß sein, da sonst im Scheitel der Krümmung der Abbruch einsetzt. Lehrreich ist in dieser Hinsicht die Befestigung der Küste der Kösliner Bucht zwischen Funkenhagen und Rügenwaldermünde (Abb. 2). Von Funkenhagen aus ist die Küste nach und nach auf einer Strecke von 12 km durch Buhnen geschützt worden. Desgleichen ist östlich der Hafenanlage von Rügenwaldermünde die Buhnenreihe ständig verlängert worden. Da die Sehnenlänge der Bucht, bei einer Ausrundung im Scheitel von 5 km, 40 km beträgt, trat im Scheitel, der sich nach Verlängerung der Funkenhagener Anlage zum Buckower See verschoben hat, Abbruch auf, so daß die Küste auch an dieser Stelle befestigt werden mußte. Obwohl durch Buhnen sich die Breite des Vorstrandes auf der geschützten Uferstrecke erhalten läßt, wirken sich solche Anlagen nachteilig auf die leeseitig (östlich) anschließenden Strecken aus. Durch Verzögerung und Ablenkung der Küstenströmung und durch Aufhalten der

Wandersande wird die zur Unterhaltung der anschließenden Küste erforderliche Sandzufuhr vermindert, was zu Abbrüchen führt. So müssen bestehende Anlagen ständig nach Osten verlängert werden, was ihren Nutzen einschränkt. Durch Verbreiterung des Strandes werden auf den befestigten Strecken zwar die schädlichen Tiefen von der Küste ferngehalten, doch tritt in den anschließenden Strecken eine verstärkte Erosionswirkung auf. Besonders gefährdet sind Küsten, an welche die größeren Tiefen der See dicht heranreichen, wie in der Kösliner Bucht.

Als weiteres Beispiel einer gefährdeten Küste ist die Samländische (Ostpreußen) zu nennen. Der Strandstreifen vor der Steilküste von Warnicken bis Rauschen ist nur schmal. Zur Befestigung dieser Strecke waren 60 Buhnen vorgesehen, die zum Teil gebaut sind. Die Sandzufuhr soll zwar genügend sein, auch hat die Strandbreite stellenweise zugenommen, doch ist die Gefahr einer weiteren Erosion noch nicht gebannt. An dieser Küste sind auch einzelne Buhnen durch Eis zerstört worden.

Zu beachten ist der Schutz von vorspringenden Steilküsten, die durch Erosion besonders gefährdet sind. Dazu gehören u. a. die Befestigung des Streckelsberges westlich von Swinemünde mit anschließender leeseitiger Küste und des Ufervorsprungs bei Jershöft westlich von Rügenwaldermünde. Zum Schutz solcher Küsten dienen vor allem von Buhnen begrenzte Längswerke. Die Längswerke können in einiger Entfernung vom Hochufer angelegt werden oder sie werden unmittelbar an das Ufer angelehnt. Im ersten Falle sollen sich die abbrechenden Bodenmassen hinter dem Längswerk ablagern und eine neue, flachere Böschung bilden. Nach dieser Bauweise ist das Längswerk bei Jershöft ausgeführt und dank der Wirkung der Buhnen übersandet. Leichtere Längswerke in Form von Steinwällen sind an einigen anderen Küsten angelegt worden. Als Beispiel einer unmittelbar an das Ufer anschließenden Anlage ist die Sicherung des Streckelberges zu nennen. An die genannten Längswerke schließen sich leeseitig Buhnenfelder an.

Alle genannten Anlagen haben sich hinsichtlich der Erhaltung der Strandbreite bewährt, doch ist dabei die Frage der Verminderung der Erosionswirkung nicht geklärt worden. Die Erosion steht im unmittelbaren Zusammenhang mit der Küstenströmung in dem an die küstennahe Sandanhäufungszone seewärts sich anschließenden Abtragungsgebiet. Dabei sind die Geschwindigkeit der Küstenströmung, die Gestaltung und der Bestand des Meeresbodens im Bereich der Strömung und ihre Sinkstofffracht maßgebend. In Gebieten, wo Küstenabbruch vorherrscht, müßte die Strömungsgeschwindigkeit verringert werden, was durch Grundschwellen möglich wäre. Diese sind in der Rinne der Küstenströmung anzulegen. Als Material sind größere Steine anzuwenden, wozu die in der Rinne liegenden Sedimente Anhaltspunkte liefern können. Wie erwähnt, wirken sich Uferschutzwerke der gebräuchlichen Art (Längswerke und Buhnen) oft schädlich auf die Sandführung aus, weil dadurch der Strömung das zu verfrachtende Material entzogen wird. Bei Nichtvorhandensein solcher Schutzwerke bildet sich ein Gleichgewichtszustand aus, doch ist der damit verbundene Landverlust nicht immer zulässig, was dann zusätzliche Anlagen in größeren Tiefen erforderlich macht. Allein durch eine Ablenkung der Küstenströmung läßt sich das Ziel nicht erreichen, weil dadurch sich die zerstörende Kraft der Strömung zwar schwächen läßt, doch andererseits ihre aufbauende Wirkung an der an eine vorspringende Anlage sich anschließenden Küste entzogen wird. Maßnahmen zur Milderung der Übergänge von einer befestigten zu

einer unbefestigten Küstenstrecke durch allmähliche Verminderung der Buhnenlänge reichen in den meisten Fällen nicht aus, um leewärtigen Abbruch zu vermeiden.

V. Schlußfolgerungen.

1. Zur Verminderung der Erosionswirkung an Küsten sind durch Beobachtungen und Messungen auch die Vorgänge außerhalb der küstennahen Sandhäufungszonen zu erfassen, nämlich die Gestaltung und der Bestand der Erosionsrinne sowie Geschwindigkeiten und Sinkstofffracht der Strömungen in verschiedenen Tiefenlagen. Da bei bewegter See Strömungsmessungen in größeren Tiefen schwer ausführbar sind, ist zu beachten, daß sich im Zustand der Sohle (Entblößung älterer Formationen, Sedimente, Tier- und Pflanzenwelt) die Geschwindigkeit der Grundströmung widerspiegelt.

2. Besonders ist festzustellen:

a) ob die betreffende Küstenstrecke in einem säkularen Hebungs- oder Senkungsgebiet befindet
b) die Wirkung von Sturmfluten auf die Gestaltung der Erosionszone und der küstennahen Sandzone durch Peilungen vor und nach den Sturmfluten sowie der durch Sturmfluten verursachte Schaden
c) die Wirkung schwieriger Eisverhältnisse auf die Küstengestaltung und der durch sie verursachte Schaden.

3. Die in der Sandanhäufungszone üblichen Küstenschutzanlagen (Längswerke und Buhnen) bieten gegen Erosionswirkungen nur einen örtlich begrenzten Schutz, während in den leeseitigen Küstenstrecken meist verstärkte Erosion auftritt.

4. Zur unmittelbaren Bekämpfung der Erosion ist die Anlage von Grundschwellen in den Erosionsrinnen in Betracht zu ziehen, wodurch die Geschwindigkeit der Grundströmung vermindert und die aufbauende Tätigkeit der Küstenströmung erhöht werden kann.

5. Da über Einbauten der unter 4 vorgeschlagenen Art, im Zusammenhang mit den unter 1 angeführten Untersuchungen noch keine praktischen Erfahrungen vorliegen, können Modellversuche wertvolle Hinweise geben. Dabei ist zu untersuchen:

a) die Wirkung von Einbauten in der Erosionszone auf die Wasserbewegung bei unveränderlicher Sohle im Modell;
b) die Wirkung einer sinkstoffführenden Strömung auf eine bewegliche Sohle mit und ohne Einbauten.

Letztere Versuche lassen sich jedoch nicht naturgetreu darstellen und können nur ein verzerrtes Bild über die Wirkung genannter Bauten geben.

Über erwünschte Modellversuche zur Untersuchung der Verhältnisse in Tidegebieten sind im Teil II dieser Abhandlung einige Angaben gemacht.

6. In Verbindung mit den unter 5 angeführten Modellversuchen ist die Ausführung von Versuchen in der Natur durch den Bau einiger Schwellen in einer Erosionsrinne zu empfehlen, wonach sich deren Wirkung auf die Strömungsverhältnisse und Ablagerungen beobachten läßt.

7. Unter gewissen Verhältnissen ist es zweckmäßiger, von künstlichen Maßnahmen abzusehen und es der Natur zu überlassen, einen Gleichgewichtszustand herzustellen, was allerdings mitunter erst in einigen Jahrzehnten erfolgt.

Insbesondere bei Steilküsten aus festeren Bestandteilen, welche sich durch Brandung nicht verfrachten und durch Strömungen nicht fortschwemmen lassen, bildet sich im Laufe der Zeit ein ausreichender Vorstrand, wodurch die Erosionsrinne seewärts verschoben wird.

Auch bei Flachküsten tritt oft nach einer Periode des Abbruches ein andauernder Gleichgewichtszustand ein, der aber weiterhin durch außergewöhnliche Naturvorgänge (Sturmfluten, Eis) unterbrochen werden kann. Dabei lassen sich die unter 3 erwähnten nachteiligen Folgen vermeiden.

8. Die Wirkung aller Maßnahmen zur Verminderung der Erosion ist zeitlich beschränkt, da der Küstenrückgang ein natürlicher geologischer Vorgang ist, der sich nur aufhalten aber nicht abändern läßt. An den Küstensockeln sowohl der Steil- als auch der Flachküsten nagt unablässig der Zahn der Zeit.

Literaturverzeichnis.

(1) Backhaus, Die Entwicklung der ostfriesischen Inseln in geschichtlicher, geomorphologischer, hydrodynamischer und seebautechnischer Hinsicht.
(Jahrbuch der Hafenbautechnischen Gesellschaft, 1939/1940.)

(2) Krüger, Die Entwicklung der Harlebucht und ihr Einfluß auf die Außenjade.
(Jahrbuch der Hafenbautechnischen Gesellschaft, 1937.)

(3) Gaye und Walther, Die Wanderung der Sandriffe vor den ostfriesischen Inseln.
(Bautechnik, 1935.)

(4) Pratje, Die Sedimentation in der südlichen Ostsee.
(Annalen der Hydrographie, 1939.)

(5) Hartnack, Die Küsten Hinterpommerns mit besonderer Berücksichtigung der Morphologie.
(Jahrbuch der geographischen Gesellschaft, Greifswald, 1926.)

(6) Knaps, Prüfung der Formel von Munch-Petersen.
(Bericht zur VI. Baltischen Hydrologischen Konferenz, 1938.)

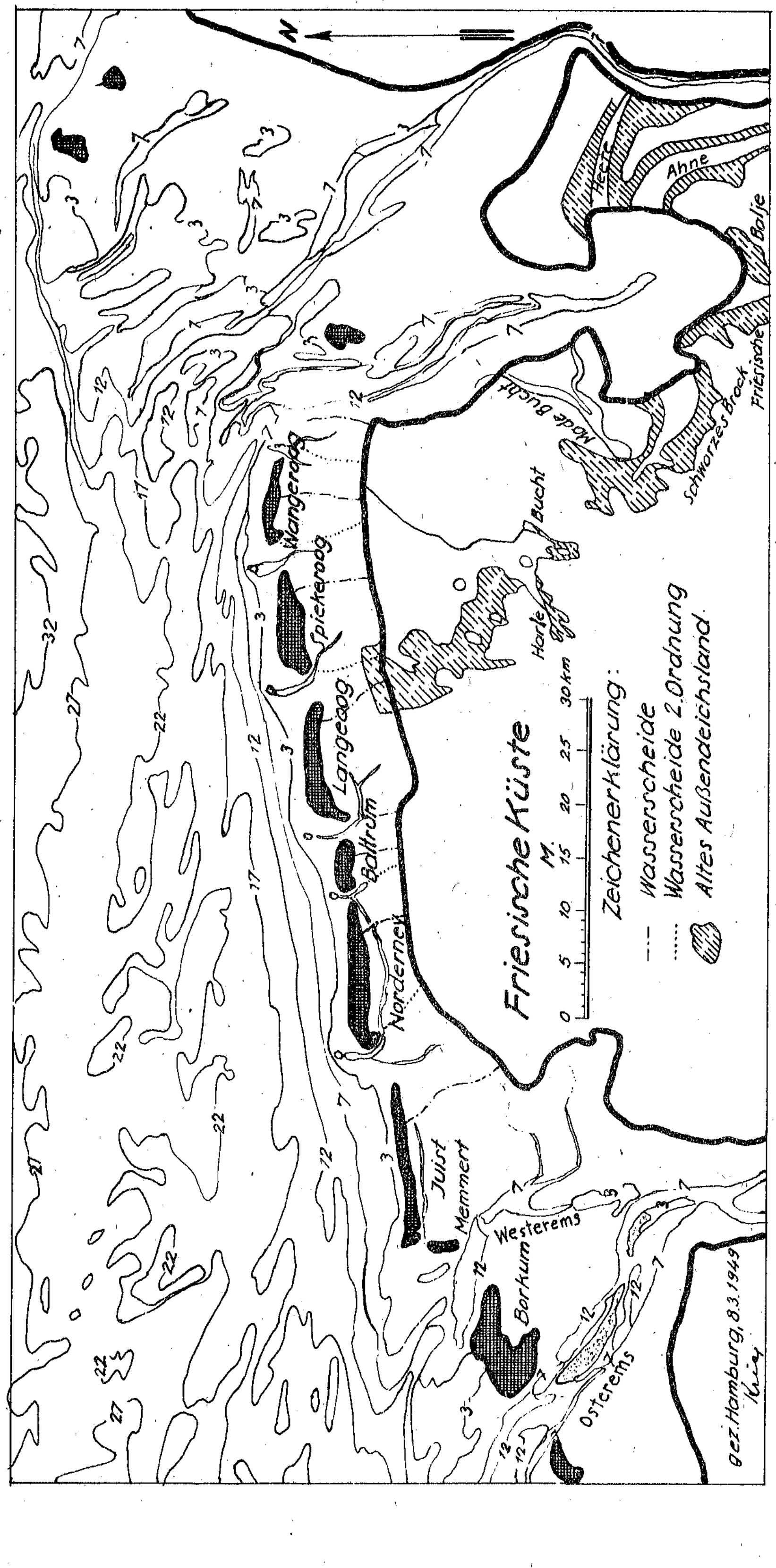
(7) Leppik, Verteidigung der Küsten gegen das Meer, an Küsten mit und ohne vorwiegende Sinkstoffführung.
(Bericht zum XV. Internationalen Schiffahrtskongreß, 1931.)

(8) Hahn und Rietschel, Langjährige Wasserstandsbeobachtungen an der Ostsee.
(Bericht zur VI. Baltischen Hydrologischen Konferenz, 1938.)

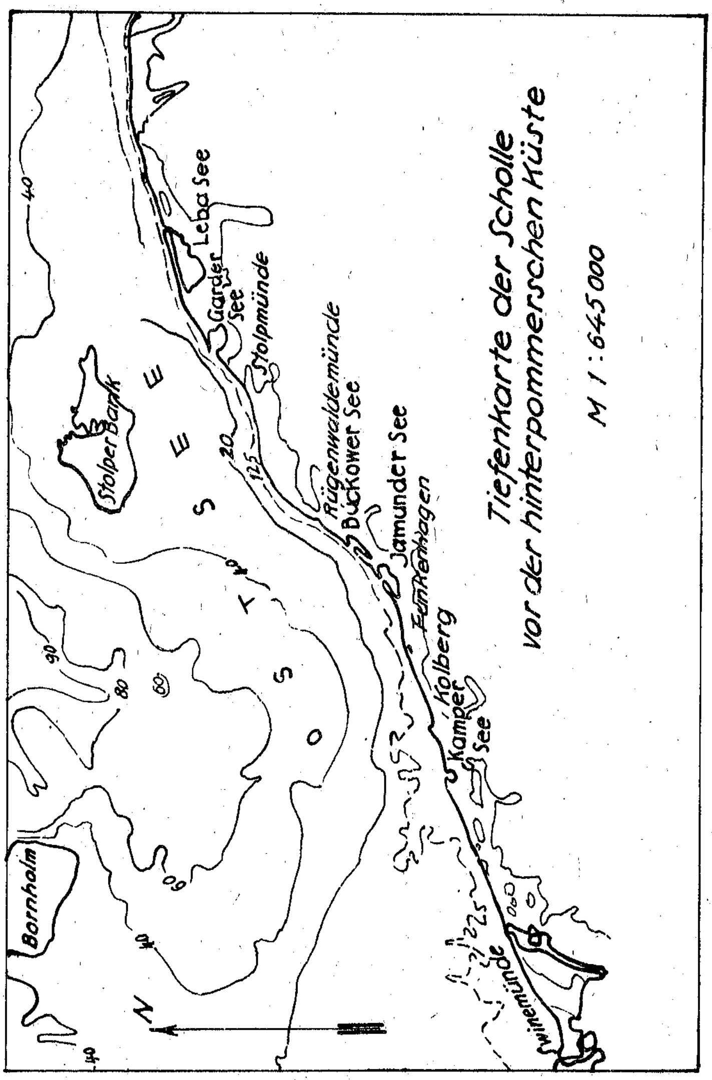
(9) Model, Die gegenwärtige Küstenhebung im Ostseeraum.
(Bericht zur Tagung der Geophysikalischen und Meteorologischen Gesellschaften, 4./6. September 1948, Hamburg.)

(10) Heiser, Uferschutzbau an der deutschen Ostseeküste.
(Bautechnik, 1927.)

Abb. 1


Friesische Küste
Zeichenerklärung:
Wasserscheide
Wasserscheide 2. Ordnung
Altes Außendeichsland
0 5 10 15 20 25 30 km
N
Borkum
Memmert
Juist
Norderney
Baltrum
Langeoog
Spiekeroog
Wangeroog
Westerems
Osterems
Harle
Bucht
Made Bucht
Schwarzes Brack
Friesische
Ahne
Heete
Balje
gez. Hamburg, 8.3.1949

Nr. 22
Abb. 2


Tiefenkarte der Scholle
vor der hinterpommerschen Küste
M 1 : 645 000
Bornholm
Stolper Bank
OSTSEE
Leba See
Garder See
Stolpmünde
Rügenwaldemünde
Buckower See
Jamunder See
Funkenhagen
Kolberg
Kamper See
Swinemünde
N
40
60
80
90
20
12,5

23

Der Einfluß von Verkehr und Betrieb auf die Entwicklung der Seehäfenstückgutkais.

Von Dr.-Ing. Günter Krauß, Baurat in Hamburg.

Unter besonderer Berücksichtigung der Hamburger Verhältnisse wird der Einfluß von Verkehr und Betrieb auf Anordnung und Abmessungen der Verkehrsanlagen am Kai dargestellt. Näher eingegangen wird hierbei auf die erforderlichen Wassertiefen, die sich aus der Größenentwicklung der Seeschiffe ergeben, auf die bisher wenig ergründeten Beziehungen zwischen Schiffsladung und Schuppenabmessungen, auf Notwendigkeit und Umfang der Kranausrüstung, auf den Einfluß der Portalkonstruktion und der Anzahl der Kräne auf die Ausnutzbarkeit der Ladegleise für den direkten Umschlag zwischen Seeschiff und Eisenbahn, auf den Bedarf an Ladegleisen und die Frage der Kraftwagenabfertigung.

I. Einleitung.

Das Dampfzeitalter brachte mit der neuzeitlichen Gestaltung und Entwicklung des Seeschiffbaues auf der einen und dem Entstehen der Eisenbahnen auf der anderen Seite einen Wendepunkt für den Hafenbau mit sich. An Stelle der Strom-Liegeplätze früherer Zeiten brauchte man nun Kaianlagen, um den direkten Güteraustausch zwischen Seeschiff und/oder Schuppen und den Transportmitteln des Zubringer- und Verteilerverkehrs zu ermöglichen. Die Zug um Zug folgenden technischen Fortschritte zwangen die Häfen auch weiterhin, sich den immer wieder veränderten Bedingungen anzupassen und sich, soweit möglich, vorausschauend auf das Kommende einzurichten. Durch die ständig wachsenden Schiffsgrößen, das Aufblühen des Straßenverkehrs nach Erfindung des Kraftwagens, die Entwicklung der Krantechnik, steigende Bedeutung des direkten Umschlages zwischen Seeschiff und Eisenbahn und weitere Einflüsse betrieblicher und verkehrlicher Natur wurden im Verlaufe von 8 Jahrzehnten grundlegende Änderungen für die Aufteilung und Abmessungen der Kaianlagen erforderlich, ohne daß bisher ein Endzustand zu erkennen ist. Wie sehr sich in Hamburg, wo ähnliche Verhältnisse vorliegen wie in den anderen nordwesteuropäischen Tidehäfen, das Gesicht der Kailiegeplätze seit ihrem Entstehen verändert hat, zeigt Abb. 1. Auf Pieranlagen und Dockhäfen, für deren Entstehen andere Gesichtspunkte maßgeblich waren, soll in diesem Zusammenhang nicht näher eingegangen werden.

Vorrang im Hafen hat das Seeschiff, dessen Liegezeiten aus wirtschaftlichen Gründen auf ein Mindestmaß verkürzt werden müssen, damit es möglichst viele Reisen im Jahr machen kann.[1]) Der Ruf eines Hafens hängt

[1]) Der Anteil der Hafenliegetage an der Gesamtfahrzeit ist nach Ermittlungen englischer Reeder ganz beträchtlich, wie folgende Durchschnittszahlen ausweisen:

	1938	%	1944	%
Seetage	205	56	163	45
Hafentage	160	44	203	55

von der Schnelligkeit der Schiffsabfertigung ab. Je rascher ein Seeschiff einen Hafen mit neuer Ladung wieder verlassen kann, um so größer ist für den Reeder der Anreiz, diesen Hafen wieder anzulaufen. Aber auch die kurzfristige Abfertigung des Zubringer- und Verteilerverkehrs spielt für die wirtschaftliche Anziehungskraft auf die Verkehrstreibenden aus naheliegenden Gründen eine bedeutende Rolle. Schnelle Be- und Entladung vergrößert die Umlaufgeschwindigkeit, bedeutet damit eine intensivere Ausnutzung der Transportmittel und wirkt sich bei der Bemessung der Frachtraten aus.

Aufgabe des Hafenbauers ist es, die Stückgutkais so zu gestalten, daß großzügige, den vielfältigen Bedürfnissen des Verkehrs entsprechende Abfertigungsanlagen zur Verfügung stehen, die in Verbindung mit geeigneten technischen Hilfsmitteln eine betrieblich einwandfreie Verkehrsabwicklung ermöglichen. Durch die räumliche Beschränkung am Kai entstehen dabei häufig enge Wechselbeziehungen zwischen Verkehr und Betrieb, deren eingehendes Studium erst die Auffindung der zweckmäßigsten Lösung ermöglicht, die der Individualität des betreffenden Hafens gerecht wird.

II. Der Einfluß des Überseeverkehrs (Seeschiff)

1. auf die Kaimauerabmessungen (Wassertiefe).

Die geläufigste Beziehung besteht zwischen der Größe der Seeschiffe und den entsprechenden Abmessungen der Verkehrsanlagen am Kai. Für Tidehäfen ist nur der Tiefgang, für Dockhäfen außerdem Länge und Breite der Seeschiffe maßgebend.

Das Wachsen der Schiffsgrößen im Zuge der Rationalisierungsbestrebungen der Seeschiffahrt hat im Verlaufe der letzten 8 Jahrzehnte die Hafenanlagen immer wieder vorzeitig altern lassen. Da der Schiffbau seine Abmessungen bisher ohne Rücksicht auf den Hafenbau entwickelte, mußten die Häfen meist schon nach kurzer Zeit erkennen, daß ihre vermeintlich auf lange Sicht gemachten Aufwendungen durch den schon wieder vergrößerten Tiefgang des Regelfrachtschiffes im Weltverkehr überholt wurden. Kostspielige Vertiefungen von Zufahrten und Kaimauern, längst vor Erreichung des natürlichen Abganges der baulichen Anlangen, waren die Folge. Durch den letzten Krieg ist diese Entwicklung wiederum beschleunigt worden. Lloyd's Register stellt u. a. in seinem neuesten Bericht fest, daß die Zahl der seegehenden Dampfer und Motorschiffe von 4000 t Ladefähigkeit und mehr ganz beträchtlich angewachsen ist. Im Jahre 1914 gab es 3608 Schiffe dieser Größenklassen, während am 30. Juni 1948 8246 gezählt wurden. Davon waren 957 größer als 10 000 t und 54 größer als 20 000 t.[2])

Aus dem Weltschiffbau der vergangenen Jahrzehnte und der Liste der gegenwärtigen Neubauten läßt sich ein ungefährer Anhalt darüber gewinnen, mit welchen Schiffsabmessungen für die nahe Zukunft zu rechnen ist. Die Entwicklung des Regelfrachtschiffes verläuft innerhalb der letzten

[2]) Einen erheblichen Anteil an der heutigen Welthandelstonnage haben die Libertyschiffe, von denen insgesamt 2800 in Dienst gestellt wurden. Bei ihrer Entwicklung standen die Einheitsschiffe der sogenannten C-Klasse Pate. Diese waren auf Grund des Merchant-Marine-Gesetzes für Aufbau und Erneuerung der Handelsflotte (1936) von der USA-Maritime Commission entworfen worden und stellten hochwertige Seeschiffe mit 7500—12000 ts Ladefähigkeit bei 14—16 Knoten Geschwindigkeit dar. Als sich mit Kriegseintritt der Vereinigten Staaten die Notwendigkeit eines beschleunigten Seeschiffbaues ergab, waren 148 dieser Schiffe bestellt. Mit Rücksicht auf ihre für Kriegszwecke zu langwierige und kostspielige Herstellung entwickelte man neben anderen einen vereinfachten Notschiffstyp EC 2 mit rd. 10000 ts Ladefähigkeit und 11,5 Knoten Geschwindigkeit — das Libertyschiff.

50 Jahre vom 5000-BRT- über das 6—7000-BRT- zum 8—10 000-BRT-Schiff mit 6 über 7—8 zu 8,5—9,5 m Tiefgang[3]). Berücksichtigt man weiterhin, daß für Häfen wie Hamburg, Bremen u. ä. zu dem Salzwassertiefgang noch ein Zuschlag von 0,15 m für Süßwasserfahrt hinzukommt, so erkennt man, daß 10 m Wassertiefe für Zufahrten und zumindest einen Teil der Kaianlagen erforderlich sind, um dem augenblicklichen Entwicklungsstand Rechnung zu tragen. Wie die teuer bezahlten Erfahrungen der Vergangenheit zeigen, muß sich der Hafenbauer jedoch bereits bei seinem heutigen Bauvorhaben auf die Abmessungen des Regelschiffes von morgen einstellen, also seine Häfen von vornherein für das 10-m-Schiff anlegen oder die Kaimauern so konstruieren, daß ihre Vertiefung mit verhältnismäßig einfachen Mitteln möglich ist. Nur dann besteht eine gewisse Gewähr dafür, daß die Lebensdauer der Kaimauern, Seeschleusen und Trockendocks einigermaßen ausgenutzt werden kann. Aus diesen Gründen werden auch die neuen Kaianlagen in Hamburg am Kaiser-Wilhelm- und Ellerholz-Hafen auf 10 bzw. vorsorglich 11 m Wassertiefe unter MNW gebracht.

2. auf die Schuppenabmessungen.

Während die Auswirkung der Seeschiffsabmessungen auf die Größenverhältnisse der Kaimauern klar erfaßbar ist, bestehen zwischen Schiffsladung und Schuppenfläche noch recht wenig ergründete Beziehungen. Im allgemeinen geht man davon aus, daß die gesamte Schiffsladung, die oft aus mehr als 100 Einzelpartien besteht, in einem Schuppen oder Schuppenteil, dessen Länge der des Seeschiffes entspricht, bei mäßiger Stapelung übersichtlich ausgebreitet werden können soll. Das erforderliche Längenmaß liegt damit fest, es beträgt ein Ein- oder Mehrfaches der Länge des für die betreffende Kaistrecke geltenden Regelschiffes. Die Kardinalfrage ist die der notwendigen Breite. Während für die Stückgutschuppen der Eisenbahnen eingehende Untersuchungen zu allgemein gültigen Resultaten geführt haben, kam man in den Häfen zu keinem eindeutigen Ergebnis, da es bisher nicht gelang, die Eigenarten des Hafenverkehrs gesetzmäßig zu erfassen. Von der Tatsache ausgehend, daß uneinheitliche Ladungen einen größeren, einheitliche einen kleineren Flächenbedarf haben, und daß die Dauer der Einlagerung eine wesentliche Rolle spielt, legte man die Schuppenbreite nach Erfahrungen an anderer Stelle fest und kam so häufig zu brauchbaren Ergebnissen. Eine unrichtige Entscheidung macht sich aber, meist unrevidierbar, betrieblich nachteilig bemerkbar. Zu kleine Bemessung führt zu Verkehrsstockungen, zu große zu unnötigen Investitionen, Flächenvergeudung und unnötiger Flurförderung. Eine bessere Klärung der Beziehungen wäre daher erwünscht.

Die meist übliche Ermittlung der Schuppenbreite aus den umgeschlagenen Tonnen je m² Schuppenfläche und Jahr vorhandener Anlagen wird durch erhebliche Unsicherheitsfaktoren belastet. Die entsprechenden Zahlen schwanken nicht nur in den verschiedenen Beobachtungsjahren stark, sondern auch noch zwischen den einzelnen Schuppen, wie die Hamburger Hafenstatistik ausweist (Abb. 2). Sie bewegen sich z. B. für 1927 zwischen 7 t/m² (Sch. 60) und 21 t/m² (Sch. 6/7), für 1948 zwischen 1,6 t/m² (Sch. 2/3 u. 30) und 13,2 t/m² (Sch. 36). Der Berechnung der erforderlichen Schuppenfläche muß daher bereits eine Durchschnittszahl zugrundegelegt werden. In Hamburg rechnet man mit 9—10 t/m² und Jahr. Über die Berechtigung

[3]) vgl. Agatz, A., Wasserstraßen und Seehäfen
Hansa, Jahrg. 1 (1948) Heft 31

derartiger Zahlen gehen aber häufig schon innerhalb der einzelnen Häfen die Meinungen beträchtlich auseinander. Außerdem kann man mit ihrer Hilfe nur einen ungefähren Anhalt für den Gesamtbedarf an Schuppenfläche gewinnen. Maßgebend für die Bemessung einer bestimmten Anlage ist allein der Flächenbedarf bei Abfertigung des Regelschiffes und niemals eine Jahresdurchschnittszahl. Da ein genaueres Verfahren fehlt, mußte das bisherige, unsichere beibehalten werden. Hier muß die Praxis die Theorie ergänzen. Die besten Ergebnisse wurden daher aus der Erfahrung der Kaibetriebe gefunden.

Vielleicht kommt man der endgültigen Lösung näher, wenn man den im folgenden entwickelten Gedanken aufgreift.

Sind l, b und t Länge, Breite und Seitenhöhe eines Frachtschiffes, so ist

$$\frac{b}{l} = c_1 \text{ und } \frac{t}{l} = c_2 \text{ oder } b = c_1 l \text{ und } t = c_2 l$$

Sollten diese Beziehungen allgemeine Gültigkeit haben, so müßte sich der Schiffsinhalt annähernd ergeben zu

$$J = c_n \cdot b \cdot t \cdot l = c_n \cdot c_1 \cdot c_2 \cdot l^3 = C \cdot l^3$$

Hierzu berücksichtigt c_n das Verhältnis Nettoraum : Bruttoraum. Trägt man nun in einem Koordinatensystem, dessen Ordinate den Schiffsinhalt in Netto-cbm und dessen Abszisse die Schiffslänge in m darstellt, die entsprechenden Werte für eine größere Anzahl von Frachtschiffen unterschiedlicher Größe auf, so ergibt sich eine Punkteschar, die tatsächlich dem Verlauf einer kubischen Parabel $y = C \cdot x^3$ folgt, wobei die Punkte etwa zwischen 2 Kurven mit den C-Werten 0,004 und 0,006 liegen. (Abb. 3.) Um den Schiffsinhalt in einem Schuppen(teil) von der Länge l ausbreiten zu können, ist daher eine Schuppenbreite

$$b = \frac{k}{h} \cdot C \cdot l^2 \text{ oder } b = C_b \cdot l^2$$

erforderlich, wobei k den Flächenbedarf für Karrwege und h die durchschnittliche Stapelhöhe erfaßt. Die Ermittlung dieser Faktoren dürfte nun in der Praxis einige Schwierigkeiten bereiten.

Es sei von vornherein klargestellt, daß diese Formel reichlich theoretisch ist. Immerhin ergibt sich, daß die Schuppenbreite proportional dem Quadrat der Schiffslänge wachsen muß. Eine Nachprüfung der Hamburger Verhältnisse zeigt, daß bis zum Bau des 1909/10 errichteten Schuppens 51 ein derartiges Gesetz, das die Richtigkeit der aus der Erfahrung gefunden Abmessungen bestätigt, zu erkennen ist. Später blieb man bei b = 50 m, einem Maß, mit dem man günstige Erfahrungen gemacht hat, stehen. Daß diese Breite ausreicht, ist neben anderen Gründen darauf zurückzuführen, daß im normalen Linienverkehr fast durchweg nur Teilmengen der Schiffsladung in den Schuppen gelangen. Der Rest wird außenbords umgeschlagen und auf dem Wasserwege abtransportiert. Die örtlichen Eigenarten des Hafenverkehrs spielen also auch für die Bemessung der Schuppen eine besondere Rolle.

III. Kräne als Hilfmittel des Hafenbetriebes zur Verkehrsabfertigung.

1. Die Notwendigkeit der Kranausrüstung.

Der beherrschende Einfluß der Größenverhältnisse des Seeschiffes beschränkt sich nicht nur auf die Abmessungen von Kaimauer und Schuppen, sondern wirkt sich auch auf die übrigen Anlagen aus, deren Gestaltung außerdem durch die Abhängigkeiten zwischen Hafen- und Hafenbahnbetrieb geformt wird. Hierzu gehören die Wechselbeziehungen zwischen

den betrieblichen Umschlagseinrichtungen, den Kränen und den Bedürfnissen von Eisenbahnverkehr und -betrieb am Kai.

Bekanntlich vertreten die meisten europäischen Häfen die Notwendigkeit einer reichlichen Kranausrüstung. Mit der Begründung, daß in den nordamerikanischen Häfen keine Stückgutkräne vorhanden seien und die Lösch- und Ladezeiten dennoch den in Deutschland erreichten keineswegs nachstünden, ist das hier geübte Verfahren häufig angegriffen worden. Selbstverständlich ist man dieser Frage auf den Grund gegangen, da jede Möglichkeit zur Vermeidung von Kapitalinvestitionen schon aus wirtschaftlichen Gründen nach jeder Richtung geprüft werden muß.

Notwendig, ja unentbehrlich für europäische Verhältnisse sind die Kräne zur Abfertigung der Binnenschiffahrt, die über keine eigene Ladegeschirre verfügt und deren Bedienung über Sputen und Laufplanken in Anbetracht des Tideunterschiedes — in Hamburg 2,30 m — nicht möglich ist. Außerdem reicht die Ausrüstung der Seeschiffe mit Hebezeugen trotz erheblicher Verbesserungen, die im Laufe der Zeit durchgeführt wurden, meist nicht aus, um gleichzeitig in 2 Richtungen — zwischen Seeschiff und Kai und außenbords — zu löschen oder zu laden. Für Hamburg kommt ferner hinzu, daß Umschlag und Lagerung sich in verschiedenen Bauwerken abspielen. Während der hier schon mehrfach erwähnte Kaischuppen gewissermaßen als Sortiertisch dient und das Gut nur so lange beherbergt, bis es vom nächsten Verkehrsmittel übernommen ist, findet die langfristige Aufbewahrung in Lagerhäuser statt, die, um die teure Seeschiffskaimauer zu sparen, an nur flußschifftiefen Kanälen angeordnet sind. Der Verkehr zwischen Kaischuppen und Lagerhaus wird zu einem großen Teil durch offene Hafenfahrzeuge (sog. Schuten) bewerkstelligt; zu ihrer Be- und Entladung bedarf es ebenso wie bei Binnenschiffen einer Kranausrüstung am Kai.

Während in Hamburg die Binnenschiffahrt bis zum Kriegsende eine bedeutende Rolle spielte und nur gegenwärtig durch das Fehlen der Verkehrsanteile der sowjetischen Zone darniederliegt, ist sie für die nordamerikanischen Häfen fast durchweg ohne Bedeutung[4]). Seit dem Ende des Bürgerkrieges (1860/61), der Ausgangspunkt einer stürmischen Entwicklung des Eisenbahnwesens war, ging sie ständig zurück und kam vor dem 1. Weltkrieg fast völlig zum Erliegen. Ein allmähliches Wiederaufleben ist erst in den letzten 30 Jahren zu beobachten, betrifft aber, soweit es für den Seehafenumschlag von Bedeutung ist, fast ausschließlich den Massengutverkehr auf dem erweiterten Stromsystem des Mississipi. Welche Ursachen auch dieser Entwicklung zugrunde liegen mögen, ihre unmittelbare Folge für die Ausrüstung der nordamerikanischen Seehäfen ist das Fehlen der Stückgutkräne. Die Seeschiffe bewältigen dort den Güterumschlag mit dem Kai aus eigener Kraft (burtoning-Verfahren). Weitere Gründe für den Verzicht auf Kranhilfe dürften in sozialpolitischen Zusammenhängen zu suchen sein, die sich nur dem intimen Kenner der nordamerikanischen Verhältnisse offenbaren.

Die Bedeutung, die der Kranausrüstung in Hamburg für die Schiffsabfertigung zukommt, erläutert Abb. 4. Die Kranarbeitsstunden an 4 verschiedenen Schuppen sind für jeweils 7 Tage getrennt nach Arbeit am See- und am Binnenschiff graphisch dargestellt. Die Summenlinie ergibt die Gesamtarbeitsstunden pro Tag. Wie man sieht, wechseln die Spitzen für den

[4]) vgl. Zeis, Paul M., The Inland Waterways of the United States, The Dock and Harbour Authority Nr. 334, Vol XXIX, August 1948

Einsatz am See- und Einsatz am Binnenschiff mehr oder weniger ausgewogen. Während der Abfertigung des Seeschiffes läuft die der Binnenschiffe an und erreicht nach Beendigung des Löschgeschäftes ihre stärkste Intensität. Die im Durchschnitt größere Anzahl an Arbeitsstunden am Binnenschiff erklärt sich aus den geringeren Umschlagsleistungen.

2. Der erforderliche Umfang der Kranausrüstung.

Der Umfang der Kranhilfe oder mit anderen Worten die Anzahl der Kräne, die für das Löschgeschäft eingesetzt werden können, richtet sich nach der Arbeitsmöglichkeit am Seeschiff. Während die Aufstellänge für die Kräne proportional der Schiffslänge wächst, wächst der Schiffsinhalt proportional deren 3. Potenz. Um die Lösch- und Ladezeiten nicht im gleichen Maße zu verlängern, wie die Schiffe größer werden, mußte und muß auch weiterhin versucht werden, die Kranarbeit zu intensivieren. Ansatzpunkte hierfür wurden in der Leistungssteigerung für den einzelnen Kran und in der Vermehrung der Kranhaken am Seeschiff gesucht.

Kriterien der Leistungsfähigkeit der Kräne sind Arbeitsgeschwindigkeit, Wendigkeit und Größe des Arbeitsbereiches für den Kranhaken. Eine Leistungssteigerung durch die Erhöhung der Arbeitsgeschwindigkeit ist nur in geringem Umfang möglich, da es in der Eigenart des Kaibetriebes liegt, daß die Hauptbestandteile eines Kranspieles Anschlag- und Wartezeiten sind. Der Rationalisierung des Kai- und Stauereibetrieben sind aber bei Verringerung dieser Zeiten sehr enge Grenzen durch die räumlichen Arbeitsbedingungen im Seeschiff gezogen. Außerdem wäre es unwirtschaftlich, die Lademannschaft auf den Kran warten zu lassen, da die Bereitschaftsstunde eines normalen Stückgutkranes nur einen Bruchteil dessen kostet, was für die wartende Mannschaft in der gleichen Zeitspanne aufgewendet werden muß. Was an Wendigkeit und Größe des Arbeitsbereiches zu erreichen ist, dürfte nach heutigen Begriffen der moderne Wippkran hergeben, durch dessen Entwicklung außerdem eine erhebliche Verdichtung des Kraneinsatzes am Seeschiff ermöglicht wurde.

Der Umfang der Kranhilfe richtet sich danach, wieviel Haken man an die einzelne und darüber hinaus an alle Luken eines Seeschiffes heranbringen kann.

In deutschen Häfen arbeiten beim Löschen großer Seeschiffe bis zu 4 Haken an einer Luke und zwar 3 Kran- und 1 Schiffshaken. Selbst wenn eine Erhöhung dieser Zahl technisch möglich wäre, würde sie praktisch nicht vorgenommen werden, da sich die zur Bedienung der Haken erforderlichen Schauerleute im Schiffsinnern zu stark gegenseitig behindern und eine nicht mehr vertretbare Erhöhung der Unfallgefahr die Folge wäre. Nun ist die Lukengröße an einem Frachter nicht einheitlich. Bei großen Seeschiffen sind, bedingt durch die Formgebung des Bugs, den Platzbedarf der Maschinenanlage und der Schiffswelle, Bug-, Mittel- und Heckluke i. a. erheblich kleiner als die übrigen. Bei Libertyschiffen mit 5—6 Luken schwankt z. B. ihr Fassungsvermögen zwischen 12,5 — 25 v. H. des Deadweights. Da die Entladung aus Stabilitätsgründen möglichst gleichmäßig erfolgen soll, wird man an kleine Luken weniger Haken heranbringen als an große.

Zwischen den beiden äußersten Kränen, die an der Bug- bzw. Heckluke arbeiten, müssen die übrigen so verteilt werden, daß der Umfang der Kranhilfe an den einzelnen Luken etwa deren Größe entspricht, gegenseitige Behinderungen vermieden werden und jedem Haken Rampenfläche zum Absetzen ausreichend zur Verfügung steht. So lassen sich z. B. 13 Kräne der neuen Hamburger Bauart an einem Libertyschiff unterbringen. Der-

artige Einsätze kommen vor. Dabei zeigt sich, daß die zweckmäßige Anzahl an der einzelnen Luke und die mögliche an allen verhältnismäßig genau miteinander korrespondieren.

Es liegt nun in der Hand der Kaibetriebe, die Schiffsliegeplätze einer Kaistrecke so zu besetzen, daß nicht an allen gleichzeitig ein kranintensiver Umschlag stattfindet. Daher ist es auch nicht notwendig, am einzelnen Liegeplatz die zum Löschen des Regelschiffes benötigte Höchstzahl von Kränen vorzuhalten. Man kann vielleicht mit einem gewissen Ausgleich innerhalb der gesamten Kaistrecke rechnen. Aus diesem Grunde werden für die Abfertigung der Seeschiffe an den Liegeplätzen der neuen Hamburger Kaianlagen je 10 Kräne vorgesehen.

Da während des Löschens an den Schuppenenden auch Schuten abgefertigt werden sollen, um u. a. Transitgüter an die Anschlußdampfer bringen und mit der Freimachung des Schuppens frühzeitig beginnen zu können, sind noch weitere Kräne erwünscht, so daß sich für einen voll arbeitenden modernen Schuppen von 400 m Länge mit 2 Liegeplätzen für große Seeschiffe folgende Höchstzahlen für die Kranausstattung ergeben:

für	Seeschiffe	$2 \times 10 = 20$
„	Absetzen	$= 3$
	Reserve	$= 1$
		24

Wesentlich ist nun, ob die Leistungsfähigkeit dieser Kräne imstande ist, die Kapazität des Schuppens voll zu nutzen oder ob durch ihre Vermehrung, soweit technisch durchführbar, eine derartige Erhöhung der Umschlagsmenge bewirkt werden kann, daß die Belastung jeder umgeschlagenen Tonne mit Kapital-, Unterhaltungs- und Erneuerungskosten niedriger wird. Ist das letztere der Fall, so ist die Kapazität der vorhandenen Verkehrsanlagen infolge unzureichender betrieblicher Hilfsmittel nicht voll ausgenutzt. Nun liegt es aber auf der Hand, daß innerhalb der wirtschaftlichen Grenzen jede Aufwendung zur besseren Ausnutzung der gewaltigen, für die Herstellung einer Kaistrecke erforderlichen Kapitalien vertretbar ist. Wirtschaftlichkeitsberechnungen, die im Hamburger Hafen angestellt wurden, haben hierbei ergeben, daß 1 zusätzlicher Kran die gesamten Kapital-, Unterhaltungs- und Erneuerungskosten für den Kai nur um 2 v. H. erhöht. Leistet er also dasselbe wie die vorhandenen, im erwähnten Fall 24 Kräne, so vermehrt er die Umschlagsleistung um rund 4 v. H. (genau genommen etwas weniger, da der Eisenbahn- und Fuhrwerksverkehr durch die Kranleistungen meist nicht beeinflußt wird). Seine Beschaffung rentiert sich also, solange seine Leistungen mindestens 50 v. H. derjenigen der übrigen Kräne beträgt[5]).

Es ist einleuchtend, daß die Frage, ob die Kapazität eines Schuppens erreicht ist oder nicht, wegen der Verschiedenheit der örtlichen Bedingungen, die, wie bereits eingangs betont, schon innerhalb der meisten Häfen stark voneinander abweichen, und wegen der Unterschiede in Art und Geschlossenheit der umgeschlagenen Güter sich nicht allgemein beantworten läßt. Immerhin ist es in Hamburg an Hand genauer betrieblicher Aufschreibungen gelungen, durch Vergleich von Schuppen mit unterschiedlicher Kranausrüstung, sonst aber ähnlichen Daten, den Nachweis zu führen, daß eine Vermehrung der Kranzahl tatsächlich die Umschlagsleistung (t/m² Schuppenfläche und Jahr) ganz erheblich steigern kann.

[5]) Loewer, Rolf, HHLA, Die Kranausrüstung des Hamburger Hafens Denkschrift, unveröffentlicht.

Zusammenfassend läßt sich feststellen, daß für den Umfang der Kranausrüstung einer Kaistrecke zunächst die Einsatzmöglichkeit beim Löschen des Regelschiffes und der gleichzeitige Bedarf für Abfertigung von Binnenschiffen maßgeblich sind. Die Austauschbarkeit der Kräne zwischen den verschiedenen Liegeplätzen sollte optimistisch eingeschätzt werden. Zeigt später der Betrieb, daß der Gleichzeitigkeitsfaktor für den Kraneinsatz an den Liegeplätzen einer Kaistrecke vermutlich zu günstig, d. h. im Sinne einer zu geringen Kranbestückung veranschlagt wurde oder daß weitere Kräne für den Umschlag zwischen Schuppen und Binnenschiff erwünscht erscheinen, so sollte eine eingehende wirtschaftliche Überlegung jeder weiteren Beschaffung vorangehen. Nach Hamburger Erfahrungen ist sie erst dann vertretbar, wenn eine Umschlagsleistung von 10 t/Arbeitsstunde im Jahresdurchschnitt zu erwarten ist.

IV. Einfluß der Portalkonstruktion und der Anzahl der Kräne auf die Verkehrsabwicklung zwischen Seeschiff- und Eisenbahn; Rückwirkungen auf die Kranausrüstung.

Die Verkehrsabwicklung am Kai, vor allem bei Direktverkehr zwischen Seeschiff und Eisenbahn, wird nicht nur durch die Anzahl der Kräne beeinflußt. Es spielt wegen der auftretenden Überschattungen auch eine große Rolle, ob Halb- oder Vollportalkräne verwendet werden. Unter Überschattungen versteht man die Flächen innerhalb des Arbeitsbereiches eines Kranes, die seinem Haken nicht oder nicht ungehindert zugänglich sind (Abb. 5).

Der Bereich des toten Winkels entspricht der Kreisfläche, die beim Drehen des Kranes mit ganz eingezogenem Ausleger vom Kranhaken umschrieben wird und betrifft Halb- wie Vollportalkräne, während weitere Behinderungen nur bei Halbportalkränen vorhanden sind. Wie Abb. 5 zeigt, sind diese Überschattungen ganz erheblich. Die reinen Sichtbehinderungen durch die Oberkante der Portalwange dürfen allerdings nicht überschätzt werden, da ihre Auswirkungen durch die aufgelösten Querverbände, durch die der Kranführer hindurchsehen kann, wenigstens bei Tagesarbeit gemildert werden.

Der nachteilige Einfluß der Überschattungen bei Halbportalkränen in heute üblicher Ausführung auf die Ausnutzbarkeit der Ladegleise bei Direktverkehr besteht darin, daß die den einzelnen Kränen zugeordneten Wagengruppen soweit aufgelockert aufgestellt werden müssen, daß sie unabhängig voneinander verschoben werden können, da sonst sämtliche Bewegungen in gegenseitige Abhängigkeit geraten und ein Kran mit den ihm zugeordneten Gängen auf den anderen warten müßte. Bei dichter Kranstellung können daher erheblich weniger Waggons aufgestellt werden, als Ladegleislänge vorhanden ist. Folge hiervon sind mehr Bedienungen durch die Hafenbahn und damit Unterbrechungen des Umschlagsgeschäftes. Die Wechselbeziehung zwischen Kranzahl und Gleisbesetzung für ein Libertyschiff an Kais mit 2, 3 und 4 Ladegleisen ist in Abb. 6 dargestellt. Die Gleisbesetzung ist für 5 Kräne, bei denen sich die erwähnten Auswirkungen noch nicht ergeben, mit 100 v. H. veranschlagt. Wie die Kurven zeigen, sinkt sie bis auf etwa 63 v. H. bei 13 Kränen für jedes der 3 untersuchten Ladegleissysteme. Eine Gesetzmäßigkeit ist also zu erkennen. Ähnliche Beziehungen können für andere Gleisanordnungen, Kraneinsätze und Schiffstypen ermittelt werden.

Am klarsten lassen sich die Auswirkungen der Überschattungen von Halbportalkränen beim Vergleich mit unter sonst gleichen Umständen ein-

gesetzten Vollportalkränen erkennen. Zur Darstellung wurde ein häufiger Umschlagsvorgang gewählt, nämlich die Beladung eines Libertyschiffes mit Gütern, die 8 Kräne direkt den Waggons entnehmen. (Abb. 7 a—c.)

Bei Verwendung der bisher üblichen Halbportalkräne bestehen folgende Möglichkeiten für die Verteilung der Waggons:

a) Jeder Kran arbeitet an einem Gleis. Bei 3 Ladegleisen lassen sich dann je 5 Eisenbahnwagen nacheinander in den Bereich jedes Kranhakens bringen. Dieser Fall ist denkbar für die Verladung eines einheitlichen Massenkaigutes.

b) Bei unterschiedlichem Stückgut müssen die einzelnen Güter in der Reihenfolge an Bord gebracht werden, die der Stauplan vorschreibt. Bei jedem Kran müssen daher gleichzeitig mehrere Waggons zur Verfügung stehen, damit die jeweils vom Schiff gewünschten Güter angeschlagen werden können, ohne daß langwierige Waggonverschiebungen erforderlich werden. In diesem Fall lassen sich bei 3 Ladegleisen 4 bzw. 5 Eisenbahnwagen pro Kran aufstellen. Um bei der Bedienung durch die Hafenbahn das zeitraubende Ausrangieren nicht fertig entladener Waggons bzw. für die weniger besetzten Kräne und die ihnen zugeordneten Arbeitsgänge Zwangspausen zu vermeiden, wird man i. a. einheitlich 4 Wagen pro Kran aufstellen.

c) Das gleiche Ergebnis erreicht man bei Verwendung von Vollportalkränen und Anordnung von nur 2 Ladegleisen.

Aus diesem Beispiel zeigt sich klar der nachteilige Einfluß der Überschattungen, der sich übrigens auch noch beim Umschlag über die Rampe auswirkt. Die Absetzmöglichkeiten der Kräne werden dort derartig eingeschränkt, daß die Flüssigkeit der Betriebsabwicklung darunter leiden kann, wenn zahlreiche Kräne für das Löschgeschäft eingesetzt sind.

Folge dieser Erkenntnisse sind Bestrebungen, die Größe der Überschattungen zu verringern oder einige von ihnen ganz zu beseitigen. Die geringsten Möglichkeiten bestehen hierbei für den toten Winkel, der aber auch nur dann stört, wenn er ein Ladegleis und nicht ein Betriebsgleis überdeckt. Anders ist es mit den für Halbportale genannten weiteren Überschattungen, die sich durch konstruktive Änderungen erheblich einschränken und bei Verwendung von Vollportalkränen ganz vermeiden lassen. In Bremen versucht man durch engste Zusammenfassung der Portalträger die Überschattung durch Konstruktion und Sichtbehinderung zu verringern. Da die letztere fast genau linear mit der ersteren wächst, ist das auch gut möglich. Allerdings wird erst die Erfahrung zeigen, ob die Steifigkeit derartiger Konstruktionen ausreichend ist. In Hamburg hat man dagegen den Halbportalkran, der seit den Neunziger Jahren charakteristisch für die dortigen Kaistrecken war, verlassen und stellt sich auf den Vollportalkran mit 6 m Spur um, der gegenüber dem Halbportalkran, dessen Spurweite sich mit dem Kaiquerschnitt an fast jeder Kaizunge änderte, den großen Vorteil der Austauschbarkeit hat. In Zukunft wird es also möglich sein, bei entsprechendem betrieblichen Bedürfnis Kräne von einer zur gleichen Zeit weniger beanspruchten Kaistrecke ohne weiteres an eine andere umzusetzen. Allerdings entsteht dabei ein neues Problem, nämlich das der Kreuzung von Kranschienen mit den Weichenstraßen. Werden diese Weichenstraßen bei Bedienungsfahrten benutzt, so müssen die betroffenen Kräne über z. T. erhebliche Strecken — im ungünstigsten Fall 60 m — profilfrei verfahren werden. Außerdem müssen besondere Sicherungsmaßnahmen getroffen werden. Auf Grund der Dauer des Rangiergeschäftes und der geringen Fahrgeschwindigkeit der Kräne, die bei 10 m/min liegt,

ergeben sich bei intensivem Eisenbahnumschlag, der häufigere Bedienungen erfordert, erhebliche Unterbrechungen des Umschlagsgeschäftes. In dieser Beziehung sind daher bei dem neuen Hamburger Kaiquerschnitt gewisse Vorteile für einen gelegentlichen Nachteil eingetauscht worden. Der erwähnte Nachteil kann bei einer Kaiaufteilung gem. Abb. 8 vermieden werden, wobei man jedoch zusätzliche Flächen benötigt. Diese können in mäßigen Grenzen gehalten werden, wenn man die freie Fläche unter den Kränen zur kurzfristigen Zwischenlagerung von Gütern benutzt, wozu jetzt die für diesen Zweck sehr breit gehaltene Rampe herangezogen wird; die Rampenbreite kann dann vermindert werden. Ob man sich zu der skizzierten Lösung entschließt, bedarf noch eingehender Überlegungen.

V. Verkehrliche und betriebliche Gesichtspunkte für die Gleisausrüstung.

1. Allgemeines.

Maßgebend für die Gestaltung der Gleisanlagen eines Stückgutkais sind die Forderungen von Verkehr und Betrieb, d. h. die der Verlader und die des Hafenbahnbetriebes.

Für die Eisenbahn können am Kai gleichzeitig oder nacheinander folgende Verkehrsvorgänge anfallen:

Eingang

a) Umschlag Schuppen — Eisenbahn
Der Schuppen wirkt als großes Ausgleichsbecken, aus dem die eingelagerten Güter z. T. noch während des Löschprozesses gleichmäßig abfließen.

b) Umschlag Seeschiff — Eisenbahn
spielt eine verhältnismäßig untergeordnete Rolle, da es in der Natur des Stückgutes liegt, daß es zunächst zur Sortierung, kaufmännischen Manipulation usw. in den Schuppen kommt. In Bremen das seinerzeit als ausgesprochener Eisenbahnhafen galt, wurden vor dem Kriege nur 7 v. H. der von See einkommenden Güter, die mit der Eisenbahn abtransportiert wurden, direkt in Waggons verladen.

Ausgang

a) Umschlag Eisenbahn — Schuppen
Die Güter treffen in wechselnden Mengen ein. Bei Schuppen, die der Linienschiffahrt dienen, wird sich die Waggonzahl zum Abfahrtstermin des betreffenden Dampfers steigern.

b) Umschlag Eisenbahn — Seeschiff
spielt aus tariflichen Gründen eine hervorragende Rolle. Da die Güter ohne Zwischenlagerung direkt an das Seeschiff übergeben werden, liegen die Umschlagskosten z. B. für Hamburg durchschnittlich 30 v. H. unter den normalen Gebühren. In Bremen, wo man diese Umschlagsart von jeher besonders pflegte, gingen vor dem Kriege rund 70 v. H. der mit der Bahn eintreffenden Ausfuhrgüter direkt zum Seeschiff über.

Zwischen Eisenbahn und Schuppen läßt sich der Umschlag sowohl über land- wie über wasserseitige Gleise abwickeln, während er zwischen Eisenbahn und Seeschiff selbstverständlich nur auf der Wasserseite erfolgen kann. Mit der zunehmenden Bedeutung des Direktverkehrs hat sich daher der Schwerpunkt der Gleisanlagen von der Land- auf die Wasserseite der Schuppen verlagert. Der Vorteil, den die Abwicklung des Ladegeschäftes über die wasserseitigen Gleise bietet, ist auch bei geringerem Umfang des Direktverkehrs beträchtlich. Häufig werden nämlich erhebliche Teile der

Seeschiffsladung unmittelbar in Binnenschiffe gelöscht. Der für die Einlagerung verbleibende Ladungsanteil reicht dann nicht mehr zur Belegung des gesamten Schuppens aus. Wenn nun die Güter in der dem Wasser zu liegenden Schuppenhälfte gelagert und von dort aus wieder in Waggons auf der Wasserseite verladen werden, lassen sich erhebliche Karrwege und damit Kosten sparen. Das gleiche gilt für die umgekehrte Verkehrsbeziehung. Die wenigen landseitigen Gleise moderner Anlagen dienen daher häufig nur zur klaren Gliederung der verschiedenen Ladevorgänge bei Spitzenverkehr der Eisenbahn, um die einwandfreie Durchführung der Kontrollen am Schuppen zu gewährleisten. Zur Beschränkung der Gleisanlagen auf eine Schuppenseite — einer Lösung, die eine reinliche Scheidung zwischen Eisenbahn und Kraftwagen ermöglichen würde — hat man sich in Deutschland noch nicht entschließen können.

Aus den genannten Gründen ist für den Stand der Gleisausrüstung moderner Anlagen nicht die Zahl der land-, sondern die der wasserseitigen Gleise charakteristisch.

2. Die Bedienungen durch die Hafenbahn.

Bei der Ermittlung der erforderlichen Anzahl von Ladegleisen spielt neben der Lage des Bezirksbahnhofs und der Anzahl hintereinanderliegender Liegeplätze die Bedienungsfrage (Hafenbahn) eine ausschlaggebende Rolle. Je schneller und zuverlässiger der Austausch der Ladegruppen am Kai erfolgen kann, um so geringer ist der Bedarf an Ladegleisen.

Der heutige Hafenbetrieb stellt vor allem beim Umschlag zwischen Eisenbahn und Seeschiff scharf umgrenzte Anforderungen an den Zeitpunkt der Bedienungen. Erfolgen diese nicht rechtzeitig, so muß u. U. das Umschlagsgeschäft bis zur Zustellung der nächsten Ladegruppe ruhen. Das verzögert die Schiffsabfertigung und kostet Geld, da die Lademannschaften warten müssen.

Für den Umschlag zwischen Eisenbahn und Schuppen spielt die Zeitfrage bezüglich der Bedienung nicht eine so entscheidende Rolle. Bei mehreren Ladegleisen läßt sich die Be- und Entladung so einrichten, daß zunächst die Wagengruppe in einem, dann die im anderen Gleis abgefertigt wird. Der Austausch kann daher jederzeit erfolgen, ohne daß die Arbeit unbedingt unterbrochen werden muß. Die Lademeister müssen nur richtig disponieren. Außerdem läßt sich der Einsatz der Kaiarbeiter im Schuppen beweglicher gestalten. Sie können notfalls vorübergehend zur Lastwagenabfertigung oder für andere Aufgaben herangezogen werden, während die Schauerleute im Schiff aus verschiedenen Gründen, deren Erörterung hier zu weit führen würde, nicht anderweitig beschäftigt werden können. Das gilt wenigstens für Hamburg.

Das Bedienungsverfahren für den gesamten Stückgutkai mit mehreren Liegeplätzen läßt sich ganz allgemein folgendermaßen ausdrücken: Eine größere Anzahl von Ladestellen ist entweder in gleichen Zeiträumen (starre Bedienungsfolge) oder nach Bedarf (Bedarfszustellung) mit im Mittel m Wagen zu versorgen; die Größe von m schwankt zwischen O und dem durch die Ladegleislänge gegebenen Größtwert m_{max}. Der Rythmus der Bedienungen wird durch die Umschlagsleistung bestimmt[6]).

[6]) vgl. auch Förster, Kurt, Beiträge zur betriebswirtschaftlichen Beurteilung der Rangierarbeit auf Hafenbahngleisen
Verl. Konrad Triltsch, Würzburg-Aumühle, 1936

Wegen der entstehenden Abhängigkeiten kann an einer Kaistrecke, häufig sogar auf der ganzen Kaizunge, i. a. nur eine Rangierlokomotive arbeiten. Wird an mehreren Liegeplätzen ein eisenbahnintensiver Umschlag durchgeführt, so müssen die Bedienungen auf das genaueste mit dem Hafenbetrieb abgestimmt werden. Der Zeitbedarf für die einzelne Bedienung spielt dabei eine hervorragende Rolle. Er beträgt z. B. für die beiden wasserseitigen Ladegleise eines Liegeplatzes der neuen Hamburger Kaizunge am Kaiser-Wilhelm-Hafen 35—45 Minuten. Dort sind besonders günstige Voraussetzungen für die Abwicklung des Eisenbahnbetriebes vorhanden, da unmittelbar vor der Kaiwurzel eine Kaigruppe (Unter-Bezirksbahnhof) angeordnet werden konnte. In dieser Kaigruppe, die fast unmittelbar an den Haupthafenbahnhof anschließt, werden die neuen Ladegruppen bereit- und die aus den Ladegleisen an den Liegeplätzen abgezogenen abgestellt. Hier findet auch das sogenannte Feinsortieren und das Ausrangieren angeladener oder nicht fertig entladener Wagen statt. Wegen der Verlängerung der Bedienungsdauer und der damit verbundenen Unterbrechung des Umschlagsgeschäftes gehört die Erledigung derartiger Rangieraufgaben nämlich nicht in die Kaigleise. Es muß vielmehr, wie in jedem richtig angeordneten Güterbahnhof, eine klare Trennung zwischen Lade- und Rangierdienst möglich sein.

Je eleganter derartige Kaibahnhöfe zwischen Kaigleisen und Bezirks- bzw. Hauptbahnhof eingefügt werden können, umso größer ist der betriebliche Nutzeffekt. Schließen die örtlichen Verhältnisse ihre Anlage aus, so muß zumindest ein Teil der erwähnten Rangieraufgaben trotz der Behinderung des Umschlagsgeschäftes am Kai stattfinden. Hieraus erklärt sich auch die unterschiedliche Ausstattung der Kaigleise mit Weichenstraßen. Während man z. B. in Bremen an den Schuppen 13 und 15, für die eine leistungsfähige Kaigruppe nicht angelegt werden konnte, die Weichenstraßen so zahlreich angeordnet hat, daß — theoretisch — Vorder- und Hinterschiff rangiertechnisch unabhängig voneinander bedient werden können, kommt man in Hamburg nach reiflicher Überlegung mit einer Weichenstraße für den Liegeplatz aus. Ein Vorteil zahlreicher Weichenverbindungen längs einer Kaistrecke liegt in der klareren Aufteilung für die Eisenbahn bei Belegung mit Seeschiffen unterschiedlicher Größe, die im Direktverkehr abgefertigt werden sollen. Er kommt aber größeren Häfen i. a. nicht zum Tragen, da die Schiffe meist, je nach Tiefgang, in bestimmten Hafenbezirken abgefertigt werden. Die Gleisanlage kann daher auf das Regelschiff abgestellt werden.

Die Frage nach Anzahl und Zeitdauer der Bedienung läßt sich nur an Hand des Betriebsablaufes der Hafenbahn zumindest im zugehörigen Unterbezirk beantworten. Genaue Ermittlungen auf Grund fahrdynamischer Berechnungen und Aufstellung von Betriebsplänen erfordern dabei einen erheblichen Arbeitsaufwand. Ist man mit dem Eisenbahnbetrieb soweit vertraut, daß man den Verlauf einer Bedienung im Unterbezirk richtig veranschlagen kann, so läßt sich auch ihre Dauer überschläglich aus der Gesamtweglänge und einer mittleren Fahrgeschwindigkeit, in der die Zeiten für Umlaufen, An- und Abkuppeln, Anfahren und Bremsen usw. bereits berücksichtigt sind, ermitteln. Für Hamburg beträgt z. B. die Höchstgeschwindigkeit für Rangierfahrten 25 km/h. Die zahlreichen schienengleichen Überwege dürfen aber nur mit 5 km/h befahren werden. Außerdem muß am Kai während der Arbeitszeit besonders vorsichtig rangiert werden. Wie an Hand einiger exakt durchgeführter Berechnungen nachgewiesen werden

konnte, liegt daher die mittlere Rangiergeschwindigkeit etwa bei 5 km/h. Mit dieser Zahl kommt man zu zunächst ausreichenden Ergebnissen.

3. Die Anzahl der Ladegleise.

a) An der Landseite können höchstens 2 Ladegleise angeordnet werden, da ein ständiges Durchladen über 2 Gleise nicht zweckmäßig und daher in Deutschland ungebräuchlich ist. Alle weiteren werden aus betrieblichen Gründen als Durchlauf-, Wechsel- und Aufstellgleise verwendet. Ihre Anzahl richtet sich nach der Länge des Kais und den Möglichkeiten für den Eisenbahnanschluß. Aus der von vornherein gegebenen Anzahl der Ladegleise läßt sich ohne Schwierigkeiten an Hand der üblichen oder möglichen Anzahl der Bedienungen und der Schuppenlänge die Anzahl der Waggons errechnen, die im Verlauf einer Schicht gestellt werden können.

b) Die Festlegung der Gleiszahl an der Wasserseite erfolgte meist aus der Erfahrung heraus. Ergab sich bei der letztgebauten Anlage, daß sie in dieser Beziehung zu knapp ausgerüstet wurde, so stattete man die nächste reichlicher aus. Soweit bekannt, schwankt die Anzahl der wasserseitigen Gleise zwischen 0 und 4. Eins von diesen muß bei Kaistrecken mit mehr als 2 Liegeplätzen ständig als Durchlaufgleis freigehalten werden. Bei 4 Gleisen scheint eine wirtschaftliche Grenze für Flächenbedarf, Krankonstruktion und Gleisausnutzung zu liegen, die wohl noch eingehender erforscht werden muß.

Bei der rechnerischen Ermittlung der erforderlichen Gleiszahl ist man i. a. von Jahresdurchschnittszahlen ausgegangen, mit denen man den Eisenbahnanteil am voraussichtlichen Gesamtverkehr der betreffenden Kaistrecke und den mutmaßlichen Jahresanteil des direkten Umschlages zwischen Seeschiff und Eisenbahn zu erfassen suchte. Es bedarf wohl keiner Erläuterung, daß ein derartiger Rechnungsgang von zahlreichen Unsicherheitsfaktoren belastet ist. Dabei läßt sich ein recht genaues Bild von der erforderlichen Leistungsfähigkeit der Gleisanlagen auf Grund folgender Überlegungen gewinnen:

Von den unter „Allgemeines" genannten Verkehrsvorgängen können an der Wasserseite eines Liegeplatzes Umschlag zwischen Seeschiff und Eisenbahn in einer Richtung und zwischen Schuppen und Eisenbahn in beiden Richtungen gleichzeitig anfallen. Vorrang hat dabei auf jeden Fall das Seeschiff. Es soll daher zunächst auf den Bedarf an Ladegleisen für den Direktverkehr eingegangen werden.

Nutzbar hierfür sind nur die Gleisabschnitte, die im Bereich der am Seeschiff eingesetzten Kräne liegen. Ihre Länge ergibt sich aus der Stellung der äußersten Kräne an der Bug- bzw. Heckluke. Sie wird von den Kreisen begrenzt, die die Haken beim Drehen der Kräne mit weitester Ausladung beschreiben. An Hand der Lukenanordnung beim Regelschiff und der jeweiligen Krandaten läßt sich die Nutzlänge der Ladegleise für den Direktverkehr ohne weiteres ermitteln. Diese beträgt z. B. für Libertyschiffe und die Kräne an den neuen Hamburger Kaistrecken rund 170 m (vgl. auch Abb. 7). Auf einem Gleise lassen sich daher $2 \cdot \frac{170}{4{,}70} = 18$ Waggons aufstellen. Verteilt man diese Eisenbahnwagen gleichmäßig auf 5—13 Kräne, so ergeben sich für 1—3 Ladegleise Zahlen, die in der graphischen Darstellung (Abb. 9) abgelesen werden können. Diese Waggonzahlen gelten für Vollportale. Beim Einsatz von Halbportalkränen müssen sie noch mit dem Überschattungsfaktor (vgl. Abb. 6) multipliziert werden.

Die Geschwindigkeit der Waggonbe- oder -entladung hängt von der Umschlagsleistung und diese wiederum von der Beschaffenheit des Umschlagsgutes ab. Zwischen Kai und Seeschiff werden in Hamburg je Kran und Schicht beim Laden etwa 90—140 t gleichartiges oder 40—60 t ungleichartiges Stückgut umgeschlagen. Die Löschleistungen liegen bei 100—180 t bzw. 60—70 t. Die Leistungen beim Umschlag zwischen Eisenbahn und Seeschiff dürften etwas niedriger sein. Um rechnen zu können, muß man die mittlere Umschlagsleistung für ein bestimmtes Gut, das den örtlichen Eigenarten des Hafenverkehrs am besten entspricht, festlegen. Fällt z. B. im Direktverkehr am häufigsten Sackgut an, so werden je Kran und Schicht in Hamburg 100—140 t (120 t) beim Laden und 120—150 t (135 t) beim Löschen umgeschlagen. Die eingeklammerten Zahlen geben die mittleren Umschlagsleistungen an.

Bei Beladung mit Sackgut werden die Eisenbahnwagen fast immer gewichtsmäßig ausgelastet. Das Ladungsgewicht kann daher für G-Wagen mit 15 t angesetzt werden.

Bei einer reinen Arbeitszeit/Schicht von 7,5 Std. = 450 Min. wird 1 Waggon in $\frac{450 \cdot 15}{120} = 56$ Minuten entladen.

Die Beladezeit beträgt $\frac{450 \cdot 15}{135} = 50$ Minuten. Aus der Abfertigungsdauer für die Wagengruppe an einem Kran ergibt sich dann der erforderliche Bedienungsrythmus. Näheres ist der graphischen Darstellung (Abb. 9) zu entnehmen. Da die mehr oder weniger exakte Ermittlung der Dauer einer Bedienung den jetzt angestellten Erwägungen bereits vorangegangen ist, bietet die Festlegung der zweckmäßigen Anzahl der Ladegleise keine Schwierigkeiten mehr. Der Zeitbedarf für die Abfertigung der Waggons und gegebenenfalls für die Bedienungen während der Schicht muß möglichst der Arbeitszeit entsprechen, damit — wie auch üblich — die nächste Bedienung zwischen den Schichten erfolgen kann. Unter diesem Gesichtswinkel betrachtet, ergibt sich aus Abb. 9 folgendes:

1. Ein Ladegleis ist für die Abwicklung des Direktverkehrs unzureichend. Die Belastung des Eisenbahnbetriebes durch die erforderlichen, zahlreichen Bedienungen und die entsprechenden Verzögerungen des Umschlages sind erheblich.
2. 2 Ladegleise sind für den Umschlag Eisenbahn — Seeschiff völlig ausreichend. Während der Schicht braucht nur eine Bedienung zu erfolgen, die u. U. gerade in der Mittagspause stattfinden kann.

   Da normalerweise der Umschlag Seeschiff — Eisenbahn die Ausnahme bildet, dürften hierfür besondere Maßnahmen des Hafenbahnbetriebes infolge der erforderlichen höheren Zahl der Bedienungen vertretbar sein.
3. Der Vorteil von 3 Ladegleisen wirkt sich erst beim Löschen in Waggons aus. Das ist aber, wie wiederholt erwähnt, kein Regelfall. Wickelt man einen derartigen gelegentlichen Umschlagsvorgang am letzten (höftseitigen) Liegeplatz einer Kaistrecke mit 2 Ladegleisen ab, so kann u. U. auch das Durchlaufgleis zur Aufstellung der Ladegruppen mitbenutzt werden. Man hat dann auch 3 Ladegleise zur Verfügung.

Ergebnis: 2 Ladegleise reichen zur Abwicklung des Direktverkehrs unter den vorliegenden Verhältnissen aus.

Während des direkten Umschlages zwischen Seeschiff und Eisenbahn muß auch die Möglichkeit bestehen, Waggons an den Schuppen zu bringen. Hierfür stehen an sich das landseitige Gleis und die für den unmittelbaren

Umschlag nicht nutzbaren Gleisstrecken an der Wasserseite, soweit sie nicht durch Weichenstraßen in Anspruch genommen sind, zur Verfügung. Nun könnte sich in der Praxis der Fall ergeben, daß z. B. Direktverkehr an einem Schuppen abgewickelt wird, der unmittelbar vorher die Ladung eines Seeschiffes übernommen hat, die nun zum größten Teil mit der Eisenbahn abtransportiert werden soll, während Güter für den nächsten Dampfer bereits per Waggon eintreffen. Dann würden die für den Umschlag zwischen Schuppen und Eisenbahn zur Verfügung stehenden Ladegleise womöglich nicht auslangen. Man hätte also die Wahl, entweder ein weiteres Ladegleis an der Wasserseite für derartige Verkehrsspitzen vorzuhalten oder aber durch geeignete Dispositionen des Hafenbetriebes Betriebsklemmen zu vermeiden. Bei größeren Häfen wird das letztere wohl immer möglich sein.

Dann stellt sich bei der Verwendung von Vollportalkränen die Gleisausrüstung eines Liegeplatzes folgendermaßen dar:

Landseite:		Wasserseite:
1 Ladegleis		2 Ladegleise + 1 Durchlaufgleis
	oder	3 Ladegleise + 1 Durchlaufgleis.

Bei Beschränkung der Gleisanlagen auf die Wasserseite erscheint es zweckmäßig, die Gleisabstände, wenn möglich, auf 5,00 m bzw. 5,50 m zu erweitern, damit die Hieven auf Pritschen, die zwischen den Gleisen stehen, gelandet oder von ihnen aufgenommen werden können.

VI. Die Anlagen zur Aufnahme und Abfertigung des Straßenverkehrs.

Bis zum 1. Weltkrieg wurde auf den Kai- und sonstigen Hafenstraßen (wenn auch oft in großem Umfang) fast ausschließlich Fuhrwerksverkehr von nur lokaler Bedeutung abgewickelt. Haupttransportmittel des Zubringer- und Verteilerverkehrs waren seinerzeit Binnenschiff und Eisenbahn. Verhältnismäßig schmale Kaistraßen mit wenigen Spuren reichten daher zur Abwicklung des Straßenverkehrs mit seinen geringen Geschwindigkeiten (Pferdefuhrwerke) aus. Die Hauptverkehrsstraßen im Hafengebiet wurden dagegen oft großzügig angelegt, so daß sie — wie z. B. in Hamburg — auch heute noch in vielen Fällen ausreichen.

Mit der Verdrängung des Pferdefuhrwerkes und der technischen Vervollkommnung des Kraftwagens im Verlaufe der letzten 30 Jahre änderte sich jedoch die Situation ganz erheblich.

Der Wettbewerb des Kraftwagens setzte aus den bekannten Gründen mit Erfolg und erstaunlicherweise auf allen Entfernungen ein. Beträchtliche Verkehrsmengen wanderten hierdurch von der Schiene zum neuen Verkehrsmittel ab. Die stärksten Einbrüche erzielte der Kraftwagen beim Stückgutverkehr und bei den oberen Wagenladungsklassen.

Auch in den Häfen hat sich daher der Kraftwagenverkehr derartig vermehrt, daß seine Abfertigung, besonders in den älteren Hafenteilen durch die Engpässe der schmalen Kaistraßen, ernste Schwierigkeiten bereitet. Wenn sich auch die augenblickliche Situation in den deutschen Häfen, die durch den fast völligen Übergang bestimmter Güterarten auf den Kraftwagen gekennzeichnet ist, jederzeit wieder durch gesetzgeberische oder durch tarifarische Maßnahmen der Eisenbahn zu deren Gunsten verändern kann, so wird der Kraftwagenverkehr mit seinen neuzeitlichen, umfangreichen Transportgefäßen auch weiterhin als gleichberechtigtes Verkehrsmittel ähnlich vollkommene Abfertigungsanlagen fordern, wie sie für die Eisenbahn seit langem selbstverständlich sind.

Beide Landverkehrsmittel, Kraftwagen und Eisenbahn, benötigen Platz am Schuppen. Um gegenseitige Behinderungen zu vermeiden, ist eine völlige Trennung zweckmäßig, etwa derart, daß die wasserseitige Rampe dem Eisenbahnverkehr, die landseitige dem Straßenverkehr vorbehalten bleibt. Mit Rücksicht darauf, das des öfteren, wie oben dargelegt, auch an der Landseite der Schuppen Gleisanlagen erforderlich oder jedenfalls erwünscht sind, ist man auf dem Wege zu einer grundsätzlichen Lösung über Gleiseinpflasterungen, Schuppeninnenhöfe und Zungenrampen, die aber alle nicht dem geringen Manövriervermögen der großen Lastzüge entsprechen, zu der wiederholt erwähnten neuen Hamburger Lösung gelangt. Dort wurde der Schwerpunkt der Gleisanlagen auf die Wasserseite gelegt und auf der Landseite ein eingepflastertes Gleis vorgesehen, das nur ausnahmsweise benutzt werden soll. (Vgl. Abb. 1 b.)

Zwei Einbahnstraßen von je 9,90 m Breite werden durch einen Mittelstreifen getrennt, auf dem Betriebs- und Aufstellgleise, außerdem Radfahr- und Fußwege untergebracht sind. Bei Aufstellung von Waggons am Schuppen bleiben dann noch zwischen Bordstein und Lichtraumprofil 6 m, d. h. also 2 Spuren, für den Lastwagenverkehr frei.

Derartig großzügige Abfertigungsanlagen für den Straßenverkehr waren an den Schuppen im Hamburger Hafen bisher nicht vorhanden, und man erwartet, daß sie ausreichen. Aber selbst für den Fall, daß sie sich bei weiterem Anwachsen des Kraftwagenverkehrs doch noch als ungenügend erweisen sollten, bestehen außergewöhnliche Erweiterungsmöglichkeiten. Der Mittelstreifen zwischen den Schuppen 75 und 76, der u. a. 2 Abstellgleise enthält, läßt sich u. U. ganz beseitigen, so daß die gesamte Fläche zwischen den Rampen beider Schuppen vollkommen eingepflastert werden kann. Die damit gewonnene Straßenbreite von 34 m würde es gestatten, daß die Lastwagen rückwärts an die Rampe setzen. Abgesehen davon, daß dies schon deswegen vorteilhaft ist, weil der Laderaum meist nur über Heck zugänglich ist, würden sich gleichzeitig etwa 3—4mal mehr Kraftwagen abfertigen lassen, als wenn die Rampen im Längsverkehr benutzt werden. Rechnet man mit einem mittleren Fahrzeugtyp von 10—12 m Länge, so verbleiben 10—14 m Fahrbahn, d. h. 3—5 Spuren, für den fließenden Verkehr. Die Gleisanlagen zwischen den Schuppen 74 und 77 lassen sich allerdings wahrscheinlich nicht beseitigen, da der Eisenbahnbetrieb aller Voraussicht nach nicht auf sie verzichten kann. Die an der Kaiwurzel angelegten Parkplätze müssen dann als Puffer wirken, wobei allerdings eine energische Verkehrsregelung, die übrigens schon weit vor der Kaiwurzel einsetzen muß, unerläßlich ist.

Derartige Lösungen lassen sich fast durchweg nur bei Neuanlagen anwenden. Neben den übrigen Behelfen, wie sie oben bereits genannt wurden, und weiteren wie z. B. sägenförmige Anordnung der Rampen, liegt noch eine Möglichkeit, gleichzeitig mehr Fahrzeuge abzufertigen, im Übergang des Kraftwagens auf die Schuppenfläche. In zahlreichen Ländern wird bereits seit langem entsprechend verfahren, ohne daß die als Gegenargument aufgeführten Gefährdungen von Menschen, Gütern usw. besonders zum Tragen kommen. In Deutschland ist man aber der Ansicht, daß die infolge der zusätzlichen Fahrwege größere Schuppenfläche (Mehrbedarf nach amerikanischen Schätzungen 30 v. H.) unwirtschaftlich ist. Für die Aufstellung der Lastwagen braucht man keine überdachte Fläche. Der Verbreiterung der Schuppen wird daher die der Straßen vorgezogen.

Die Schwierigkeiten an vorhandenen Anlagen, bei deren Ausbau die heute geltenden Gesichtspunkte für den Straßenverkehr noch nicht berücksichtigt werden konnten, lassen sich im allgemeinen jedoch nur mit den

bekannten Behelfsmaßnahmen mildern. Dabei dürfte es zweckmäßig sein, diese so großzügig wie irgend möglich durchzuführen. Da die Fahrer auf schnellste Be- und Entladung ihrer Fahrzeuge bedacht sind, versuchen sie häufig alles, um zur Abfertigung zu gelangen und weder Einfriedigungen noch Gleiskörper sind vor ihnen sicher, wie die Unterhaltungsbilanz an zahlreichen Kaischuppen mit starkem Straßenverkehr eindringlich zeigt. Man spart daher letzten Endes doch, wenn man sich bei der Bemessung der eingepflasterten Flächen usw. nicht von theoretischen Erwägungen, sondern von den oft rauhen Sitten des Betriebes leiten läßt.

Die Einpflasterung der landseitigen Gleise ist häufig das gangbarste Mittel, wenn auch die Nachteile eines gemischten Betriebes nicht zu unterschätzen sind. In Hamburg versucht man daher, wenn irgend anwendbar, die Verkehrsteilung, d. h. also die Trennung der Eisenbahnabfertigung von der des Kraftwagens durchzuführen. Im Verlaufe der entsprechenden Maßnahmen wurden z. B. an den 80er Schuppen, an denen die Breite der Kaistraße dies zuließ, zweite Gleise verlegt, während eins der drei landseitigen abgebaut und die verbleibenden zwei, von denen eins Betriebsgleis ist, zur Einpflasterung vorgesehen wurden. Das Ladegleis auf der Landseite soll nur bei Spitzenverkehr der Eisenbahn benutzt werden. Es ist durchaus zu erwarten, daß der Normalverkehr dort nach erfolgtem Umbau erheblich zügiger abgefertigt werden kann als bisher.

Sind wegen mangelnder Kaibreite und mit Rücksicht auf den Eisenbahnbetrieb derartige Lösungen nicht anwendbar, so lassen sich häufig Zungenrampen (z. B. gem. Abb. 10) anlegen.

Die einwandfreieste Lösung liegt aber, wie nochmals betont werden muß, in einer klaren Trennung zwischen Straße und Schiene mit breiten Zuwegungen und großen Rampenlängen für den Kraftwagenverkehr. Nur so kann dessen steigenden Ansprüchen auf die Dauer genügt werden. Wie weit dabei die Beschränkung der Gleisanlagen auf die Wasserseite der Schuppen für die Eisenbahn tragbar ist, kann nur von Fall zu Fall nach Überwindung althergebrachter Ansichten und nach den tatsächlichen Bedürfnissen beurteilt werden.

VII. Schlußbetrachtung.

Den beherrschenden Einfluß auf die Entwicklung der Stückgutkais übt das Seeschiff aus. Wie aufgezeigt wurde, wächst die Gütermenge, die sich über 1 m Schiffslänge entleert, proportional dem Quadrat der letzteren. Die Fortschritte im Seeschiffsbau brachten also eine progressive Steigerung der Verkehrsgröße je Längeneinheit mit sich. Der Seeschiffsbau selbst tendiert zu einer weiteren Vergrößerung der Schiffsgefäße. Das technisch Mögliche oder wirtschaftlich Vertretbare dürfte der damit notwendigen Vertiefung der Zufahrten oder Hafenbecken mancher Häfen allmählich Einhalt gebieten. Damit gewinnt das an sich nicht neue Problem der Klassifizierung der Seehäfen in solche I. und II. Ordnung immer mehr an Bedeutung.

Um nicht die Lösch- und Ladezeiten im gleichen Maße zu verlängern, wie die Schiffe größer werden, mußten und müssen nach Obigem auch weiterhin die Umschlagsleistungen mit allen Mitteln gesteigert werden. Die Ansatzpunkte hierfür dürften für die Zukunft vielleicht in der Entwicklung neuartiger Umschlagsgeräte, in der betrieblichen Organisation und im Seeschiffbau selbst zu suchen sein. Wenn eine technisch einwandfreie Lösung des Problems der Seitenluken für Seeschiffe gefunden und geeignete kontinuierliche Fördergeräte entwickelt werden könnten, so würde dies

nicht nur eine Erhöhung der Umschlagsleistungen ermöglichen, sondern auch eine grundlegende Änderung des Umschlagverfahrens und damit der Betriebsweise am Kai mit sich bringen.

Von besonderem Einfluß auf die Gestaltung der Stückgutkais ist der Zubringer- und Verteilerverkehr zu Land, der sich im gleichen Maße verdichtet, wie die Verkehrsgröße je Längeneinheit wächst. Die den heutigen Erkenntnissen entsprechenden Maßnahmen zur Lösung der entsprechenden Verkehrsprobleme sind diskutiert worden. Für einen neu zu errichtenden Kai werden sie sich durchführen lassen, wenn nicht die damit im Zusammenhang stehende meist erforderliche Verbreiterung der Kaizunge deswegen unterbleiben muß, weil die anliegenden Hafenbecken zu schmal werden würden. Aber noch ein anderer, und zwar ein für zahlreiche Häfen sehr gewichtiger Grund kann zum Verzicht auf modernste und großzügigste Ausgestaltung der Verkehrsanlagen am Kai führen. Die meisten Häfen sind zu einer Zeit entstanden, in der man sich von der Entwicklung des Verkehrs und seiner Transportmittel zum heutigen Stand keine Vorstellung machen konnte. Außerdem engten politische und durch die Natur gegebene Verhältnisse, die damals nicht verbessert werden konnten, die Hafenbauer bei ihren Planungen stark ein. So entstand häufig eine Gesamtanordnung, die man heute als unzulänglich empfindet und die sich wegen der zahlreichen Zwangspunkte, die von vornherein vorhanden waren oder im Laufe der Zeit entstanden sind, aus wirtschaftlichen Gründen nicht mehr grundlegend umgestalten läßt. Die großzügigsten Verkehrsanlagen am Kai nützen aber wenig, wenn die Vorflut für den Landverkehr nicht funktionieren kann. Auch hier muß daher das Erwünschte mit dem betrieblich Möglichen abgestimmt werden.

Nr. 23

Abb. 1a - 1b

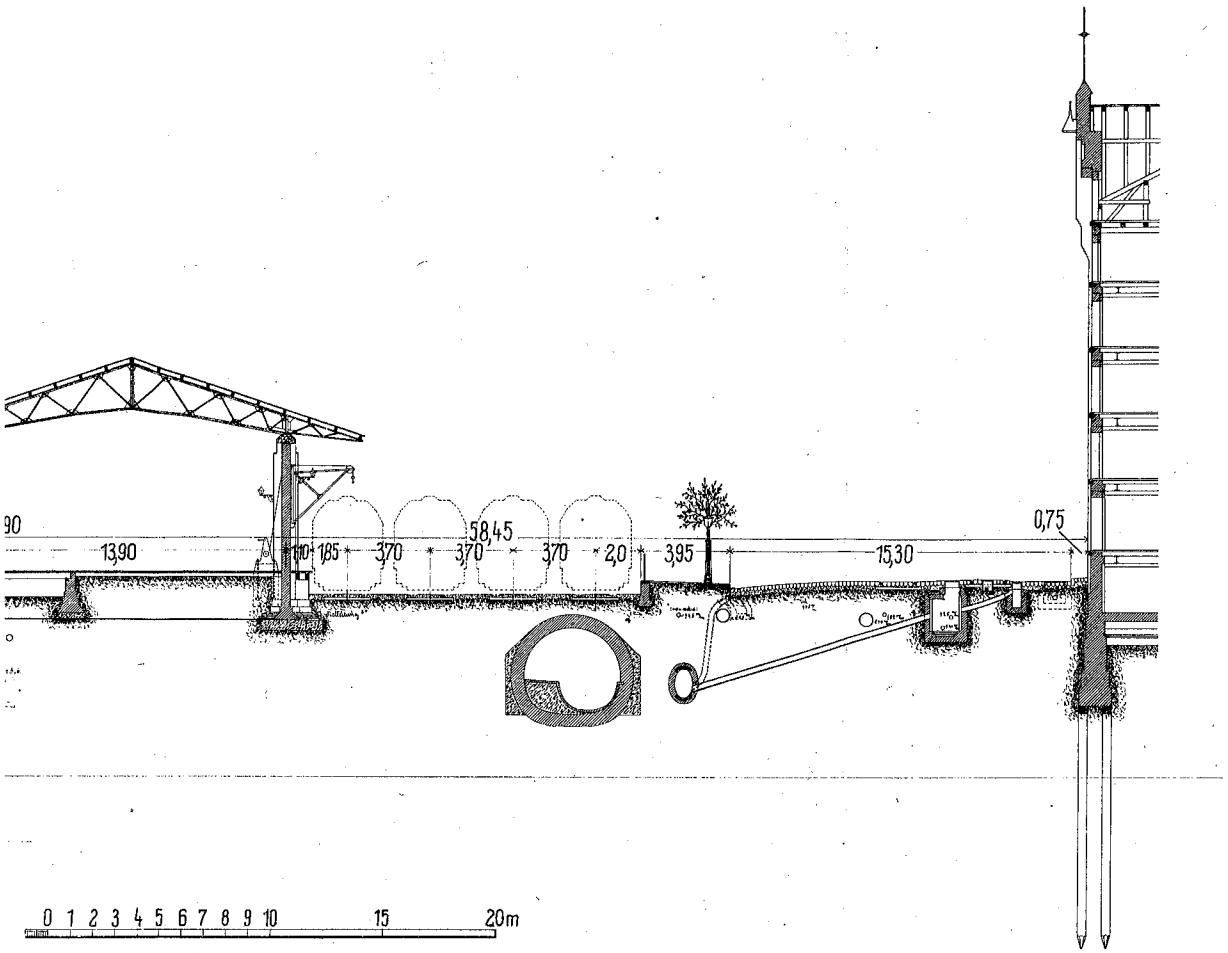
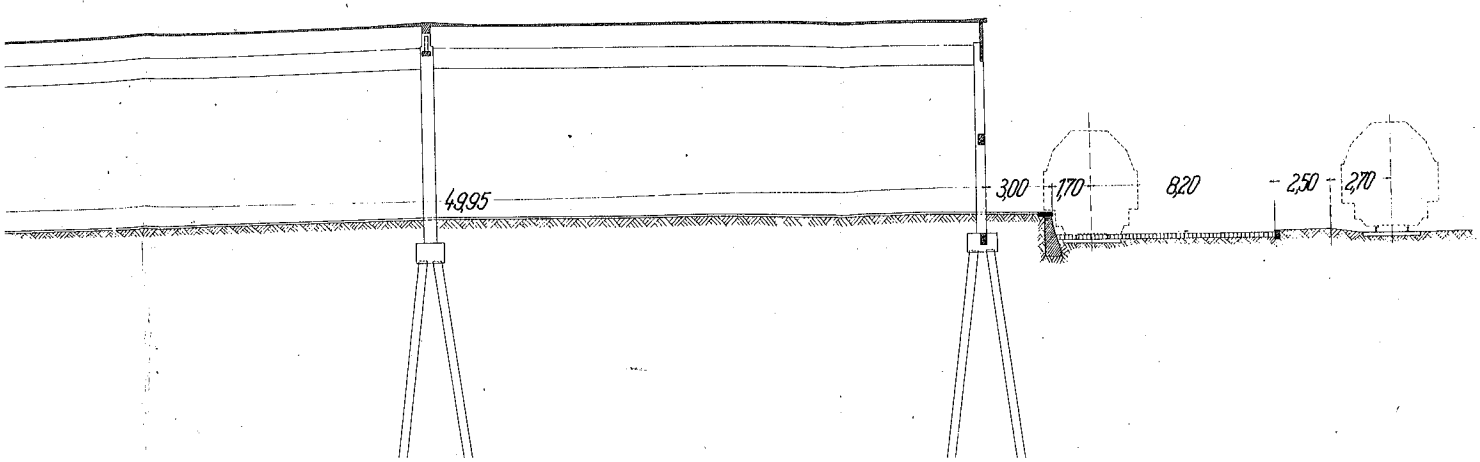


Abb. 1a

ınlage im Hamburger Hafen – Sandthorhafen (1866)



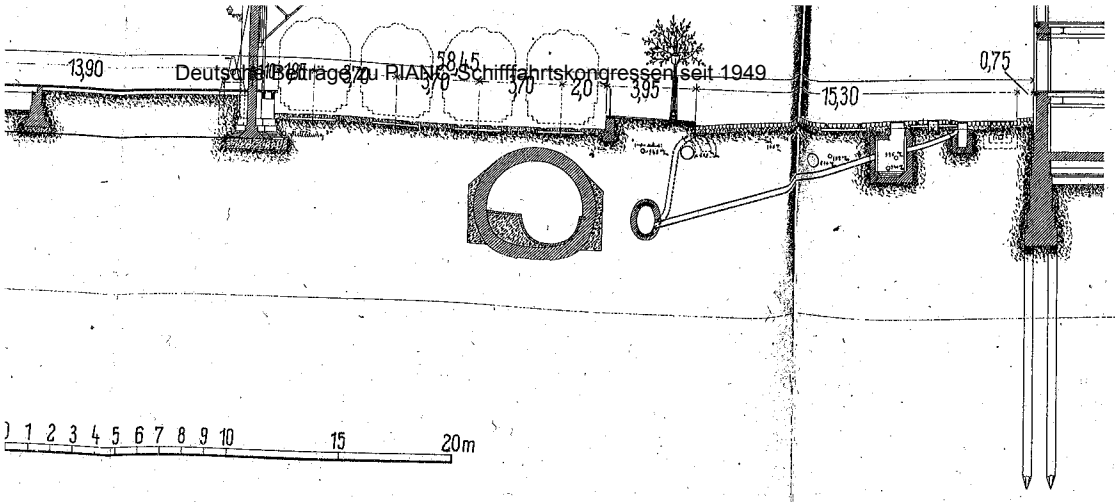


Abb. 1a
ge im Hamburger Hafen — Sandthorhafen (1866)

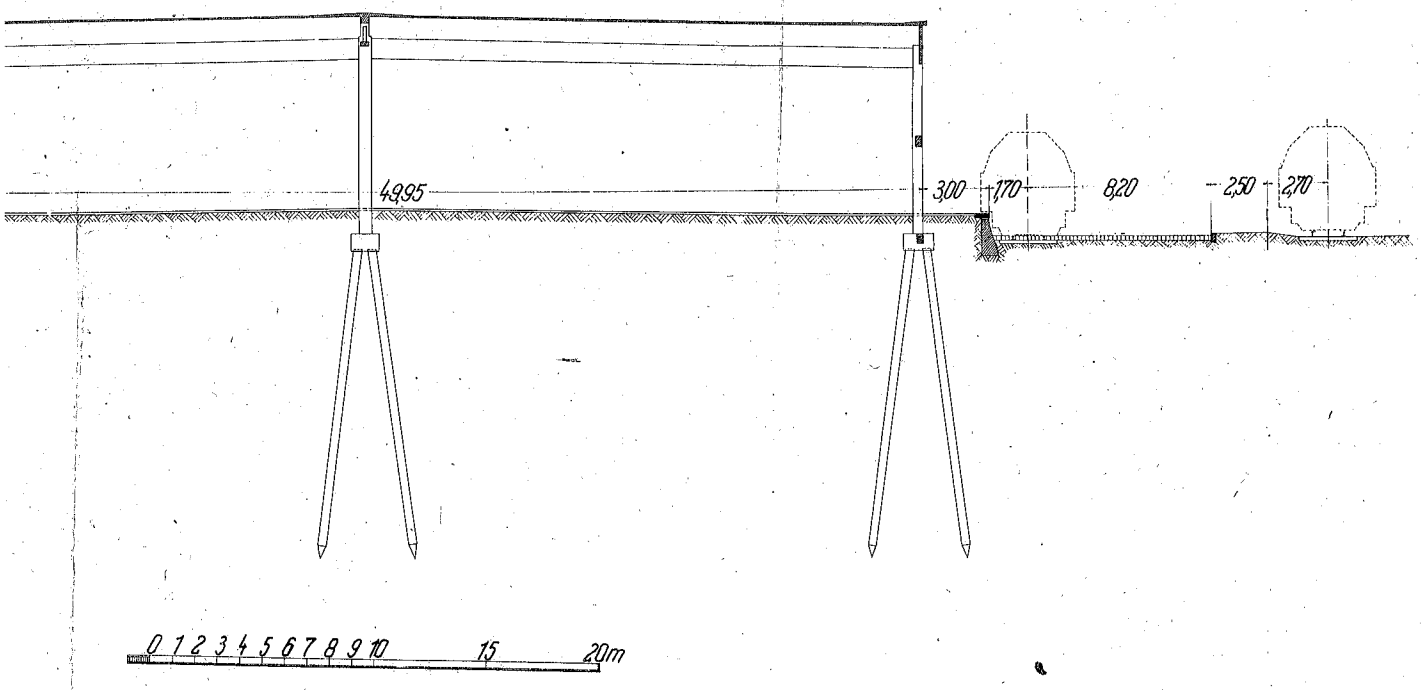
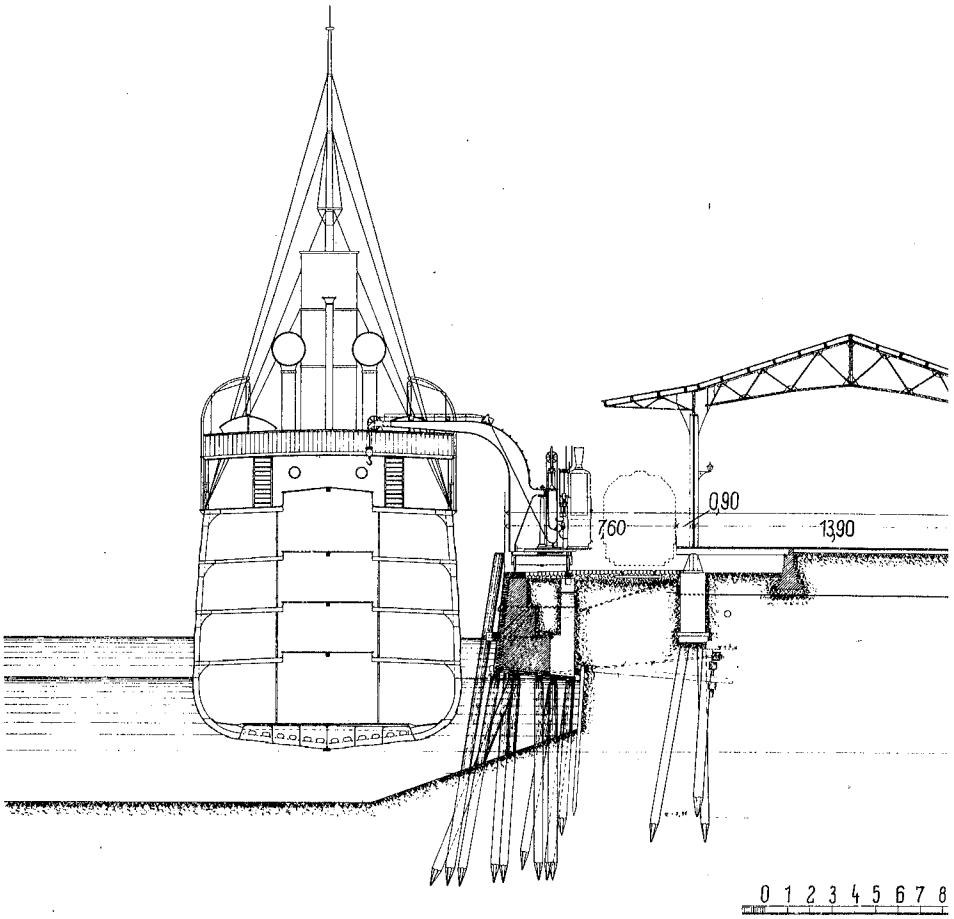
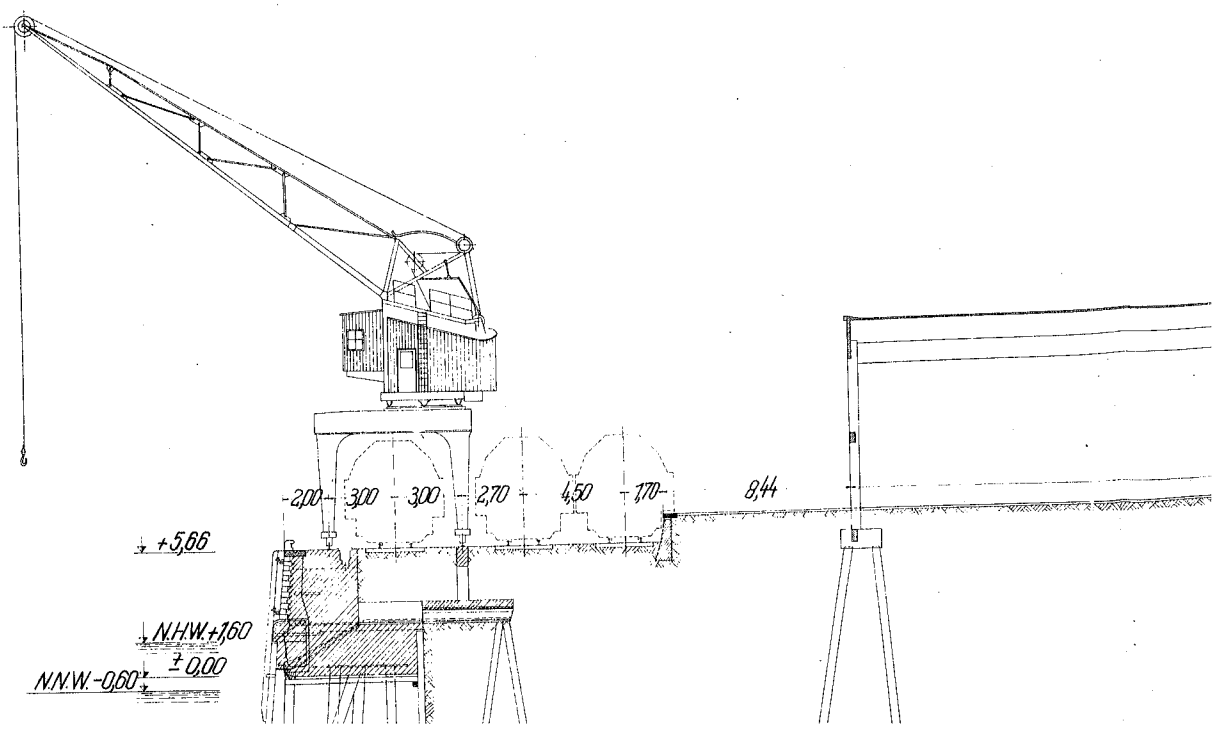
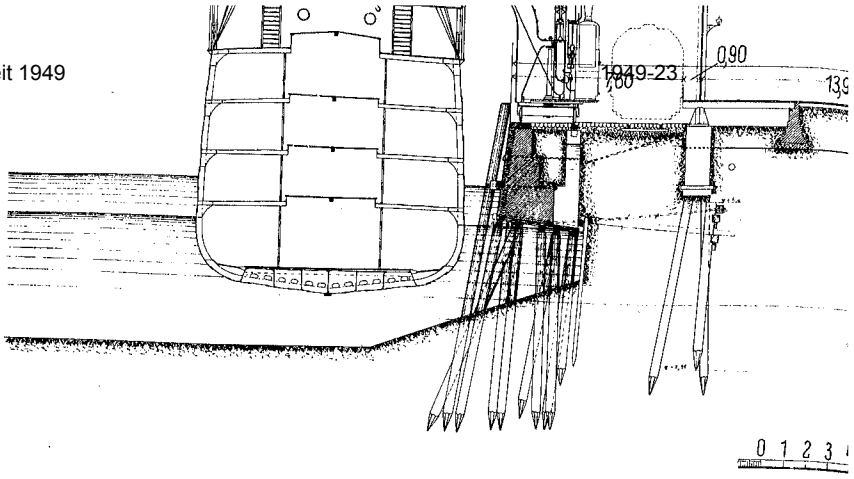


Abb. 1b
efindlichen Kaianlagen am Kaiser-Wilhelm-Hafen in Hamburg (1949)

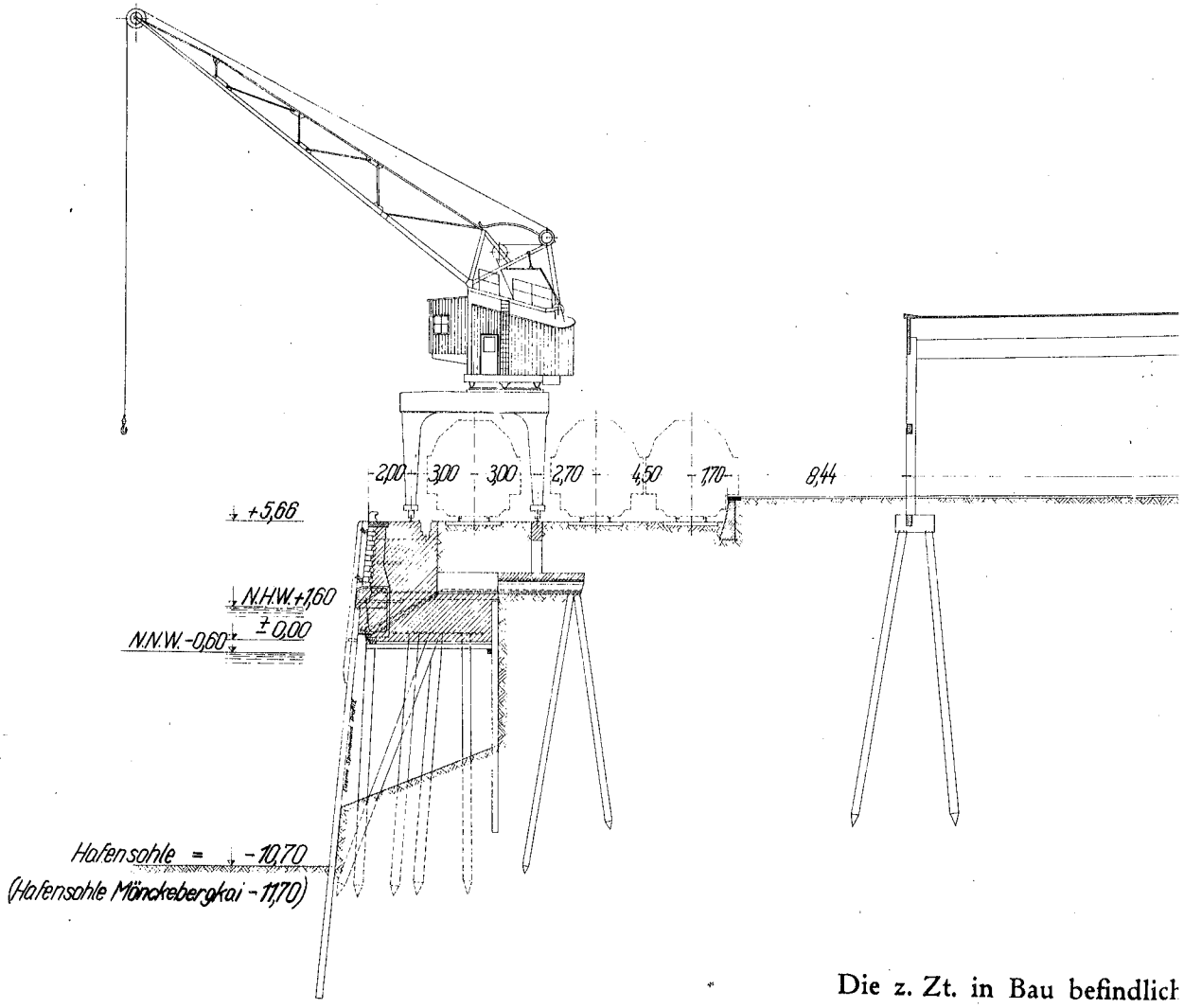


A
Die erste Kaianlage im Hambu





Die erste Kaianlage im



Die z. Zt. in Bau befindlich

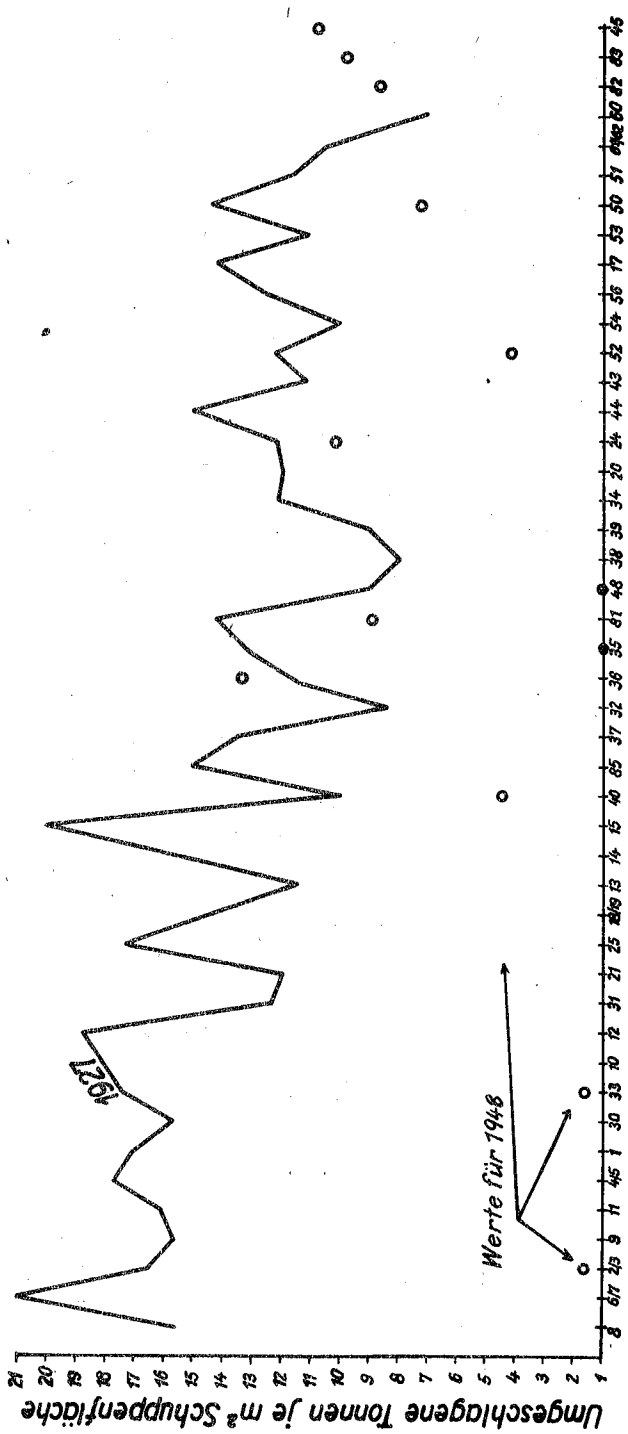
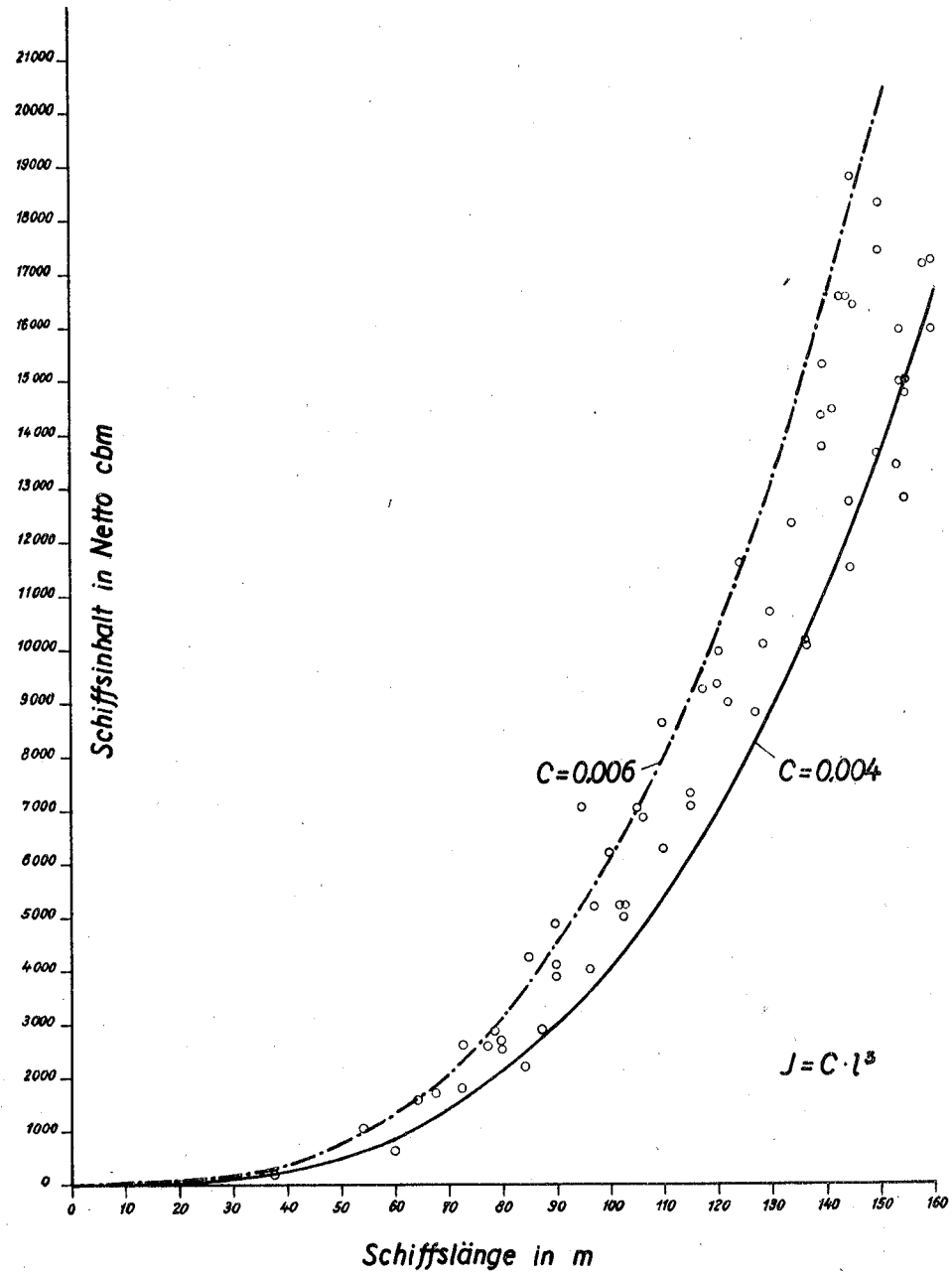


Abb. 2 ○ Werte für 1948

t Umschlagsgut je m² Schuppenfläche für die Hamburger Kaischuppen in den Jahren 1927 u. 1948.

Abb. 3

Die Beziehungen zwischen Länge u. Inhalt d. Seeschiffe x)



x) Nach einer Zusammenstellung von Dipl. Ing. R. Loewer, Hamburger Hafen - und Lagerhaus A-G. (H.H.L.A.)

Abb. 3

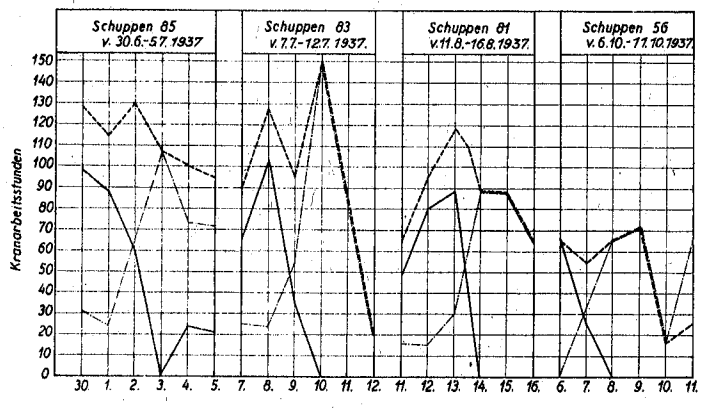


Abb. 4.

Der Kraneinsatz an Binnenschiff und Seeschiff

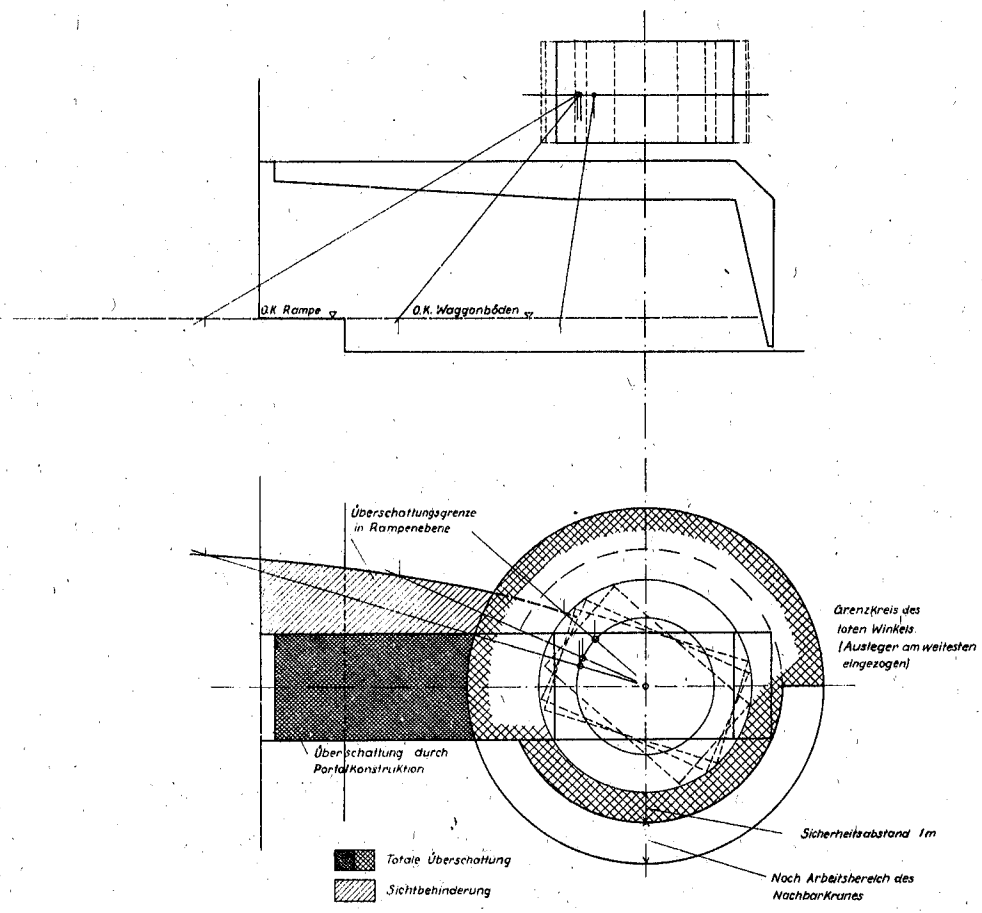
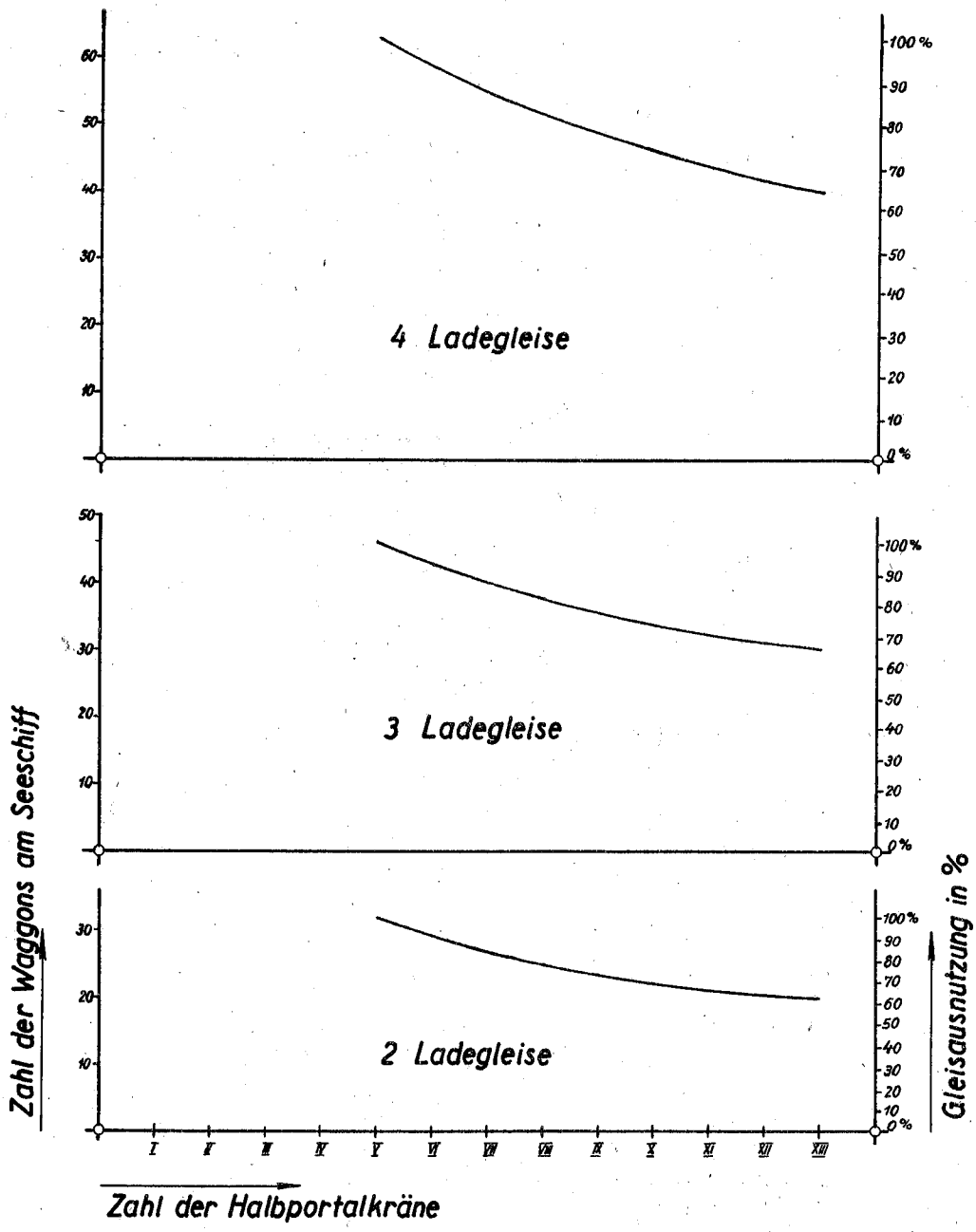


Abb. 5 **Die Überschattungen bei Halbportalkränen**

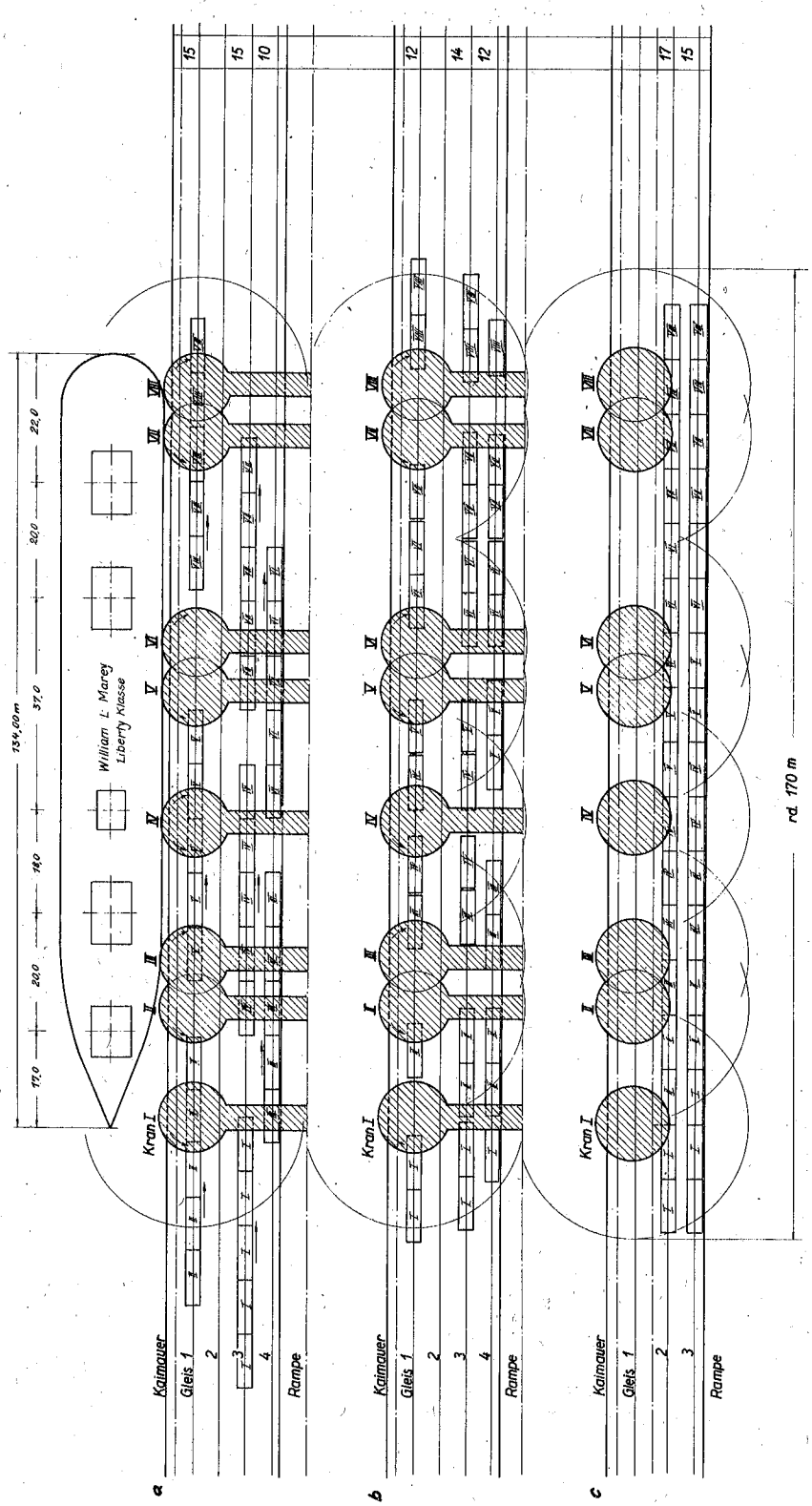
Abb. 6



Die Abhängigkeit zwischen Halbportalkran- und Waggonzahl bei direktem Umschlag zwischen Seeschiff und Eisenbahn

Abb. 6

Nr. 23
Abb. 7



Waggonaufstellung beim direkten Umschlag zwischen Seeschiff und Eisenbahn
(Erläuterung siehe Text)

Nr. 23
Abb. 8+10

Die betrieblich günstigste Anordnung von Vollportalkränen und Gleisen am Kai

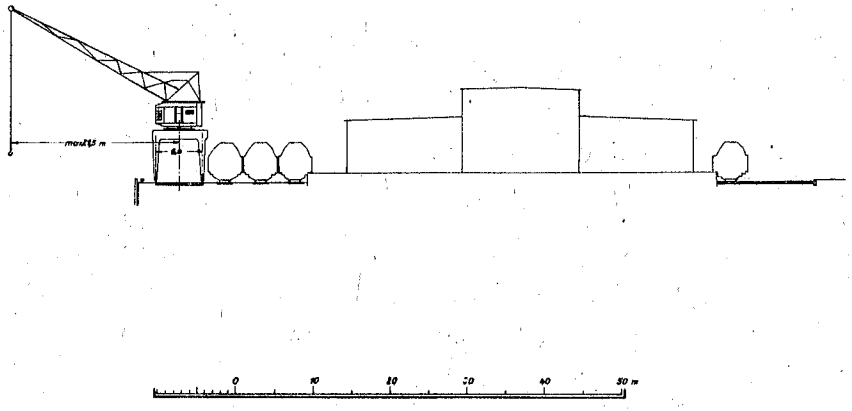
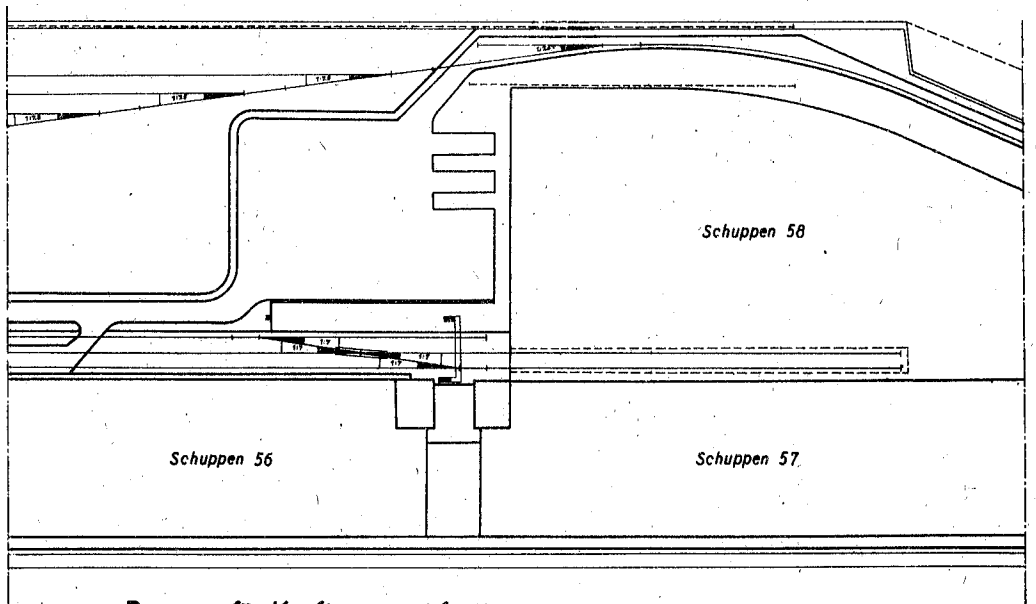


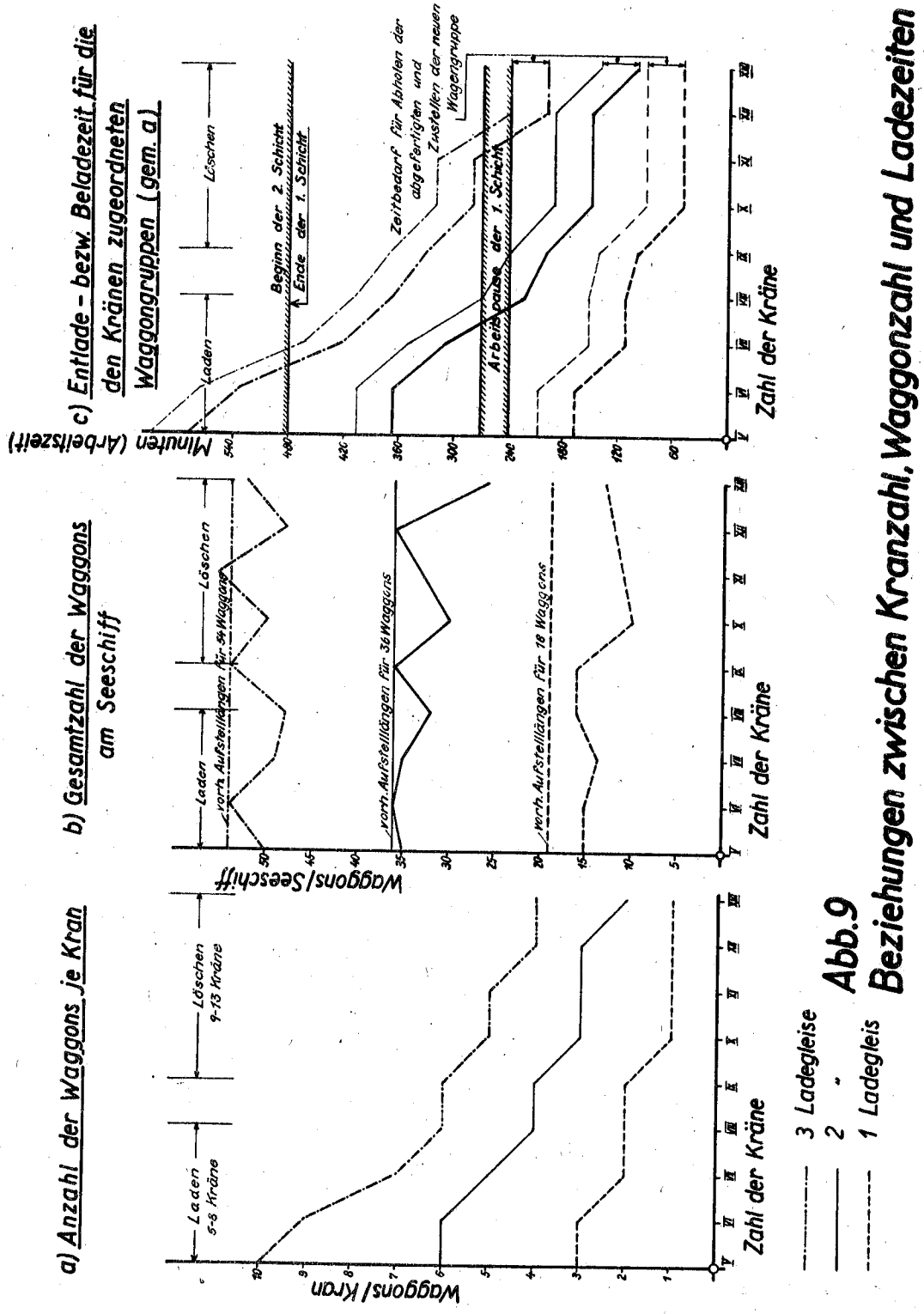
Abb.8



Rampen für Kraftwagenabfertigung an Kaischuppen

Abb. 10

Nr. 23
Abb. 9


a) Anzahl der Waggons je Kran
Laden 5-8 Kräne
Löschen 9-13 Kräne
Waggons/Kran
Zahl der Kräne
b) Gesamtzahl der Waggons am Seeschiff
Laden
Löschen
vorh. Aufstellgleisen für 54 Waggons
vorh. Aufstellgleisen für 36 Waggons
vorh. Aufstellgleisen für 18 Waggons
Waggons/Seeschiff
Zahl der Kräne
c) Entlade- bezw. Beladezeit für die den Kränen zugeordneten Waggongruppen (gem. a)
Minuten (Arbeitszeit)
Laden
Löschen
Beginn der 2. Schicht
Ende der 1. Schicht
Zeitbedarf für Abholen der abgefertigten und Zustellen der neuen Waggongruppe
Arbeitspause der 1. Schicht
Zahl der Kräne
3 Ladegleise
2 "
1 Ladegleis
Abb.9
Beziehungen zwischen Kranzahl, Waggonzahl und Ladezeiten