

HENRY

Hydraulic Engineering Repository

Ein Service der Bundesanstalt für Wasserbau

Conference Paper, Published Version

Garrelts, Eberhardt; Groß, Adalbert; Köhler, Gerhard; Petersen, Henry; Wellmann, Rudolf; Wenzel, Günter

Probleme, die durch die sehr großen Seefrachter aufgeworfen werden bezüglich der Anordnung und der Tiefen der Zufahrtsrinnen zu den Häfen und der Manövrieregebiete

Deutsche Beiträge. Internationaler Schifffahrtskongress (PIANC)

Zur Verfügung gestellt in Kooperation mit/Provided in Cooperation with:
PIANC Deutschland

Verfügbar unter/Available at: <https://hdl.handle.net/20.500.11970/104770>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

Garrelts, Eberhardt; Groß, Adalbert; Köhler, Gerhard; Petersen, Henry; Wellmann, Rudolf; Wenzel, Günter (1969): Probleme, die durch die sehr großen Seefrachter aufgeworfen werden bezüglich der Anordnung und der Tiefen der Zufahrtsrinnen zu den Häfen und der Manövrieregebiete. In: PIANC Deutschland (Hg.): Deutsche Beiträge. 22. Internationaler Schifffahrtskongress; Paris, Frankreich, Juni 1969. Bonn: PIANC Deutschland. S. 214-241.

Standardnutzungsbedingungen/Terms of Use:

Die Dokumente in HENRY stehen unter der Creative Commons Lizenz CC BY 4.0, sofern keine abweichenden Nutzungsbedingungen getroffen wurden. Damit ist sowohl die kommerzielle Nutzung als auch das Teilen, die Weiterbearbeitung und Speicherung erlaubt. Das Verwenden und das Bearbeiten stehen unter der Bedingung der Namensnennung. Im Einzelfall kann eine restriktivere Lizenz gelten; dann gelten abweichend von den obigen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Documents in HENRY are made available under the Creative Commons License CC BY 4.0, if no other license is applicable. Under CC BY 4.0 commercial use and sharing, remixing, transforming, and building upon the material of the work is permitted. In some cases a different, more restrictive license may apply; if applicable the terms of the restrictive license will be binding.



Abteilung II — Seeschifffahrt

Thema II — 3a

Probleme, die durch die sehr großen Seefrachter aufgeworfen werden bezüglich der Anordnung und der Tiefen der Zufahrtrinnen zu den Häfen und der Manövrieregebiete.

Berichterstatter:

Dipl.-Ing. Eberhard Garrelts, Regierungsbaudirektor, Wasser- und Schifffahrtsdirektion Aurich; Dipl.-Ing. Adalbert Groß, Versuchsanstalt für Wasserbau und Schiffbau, Berlin; Dipl.-Ing. Gerhard Köhler, Regierungsbaudirektor, Wasser- und Schifffahrtsdirektion Bremen; Kapitän Henry Petersen, Bundeslotsenkammer, Hamburg; Dipl.-Ing. Rudolf Wellmann, Regierungsbaudirektor, Wasser- und Schifffahrtsdirektion Aurich; Dipl.-Ing. Günter Wetzel, Präsident, Wasser- und Schifffahrtsdirektion Hamburg

Zusammenfassung

Das Bemühen, die deutschen Nordseehäfen für Großschiffe zugänglich zu machen, erfordert nicht nur Maßnahmen in den eigentlichen Hafenzufahrten, sondern bereits in der Nordsee.

Die nach dem Ende des 2. Weltkrieges eingerichteten minenfreien Wege in der Nordsee konnten noch nicht aufgegeben werden, weil noch mit scharfen Minen gerechnet werden muß und weil weite Gebiete noch nicht auf unbekannte Wracks untersucht werden konnten. Die Beibehaltung von kontrollierten, zu einem Teil durch Bojen bezeichneten Schifffahrtswegen ist in der südlichen Nordsee aber auch wegen der teilweise für Großschiffe nicht genügenden Wassertiefen notwendig. Die Sorge für die Sicherheit des zumal in der West-Ost-Relation sehr dichten Verkehrs macht außerdem die Aufspaltung des Verkehrs nach Richtungen auf gegeneinander getrennten Fahrwegen notwendig. Solche Kollisionsschutzwege werden für Mindestwassertiefen von 15 m, Tiefwasserwege für mindestens 25 und mindestens 30 m eingerichtet.

Die für die Zugänglichkeit von Schiffen mit großen Tiefgangsansprüchen in den eigentlichen Zufahrten zu den Seehäfen getroffenen Maßnahmen können bestehen im Ausbau, d. h. Vertiefung, ggf. Verbreiterung der Fahrwasserrinnen, ggf. in der Schaffung von Möglichkeiten zum Leichtern eines Teils der Ladung, aber auch in Maßnahmen, die die Sicherheit für die Großschiffe beim Befahren der Seeschiffahrtsstraßen erhöhen gegenüber den früheren Verhältnissen. Zu diesen Maßnahmen gehört eine Intensivierung des Peilwesens, um Schiffsführung und Lotsen stets mit Tiefenplänen des neuesten Zustandes der Fahrtrinnen zu versehen, ebenso die Vorhaltung und der schnelle Einsatz von solchen Baggergeräten, die für die schnelle Beseitigung plötzlicher Ablagerungen über der Sollsohle gut geeignet sind.

Die Zufahrten zu den deutschen Nordseehäfen sind Strommündungen unter Tideeinfluß. Die Schiffe mit großem Tiefgang nutzen für die Revierfahrt den Tidehub; sie sind dadurch auf die genaue Einhaltung eines durch die Tide bestimmten Fahrplanes entscheidend angewiesen. Hierbei ist der Umstand wesentlich, daß ein in die Strommündung einlaufendes Großschiff in der Revierfahrt nur eine Fahrtgeschwindigkeit erreicht, die geringer ist als die Fortschrittsgeschwindigkeit des Tidescheitels. Maß-

nahmen dafür, daß das Schiff seinen Fahrplan einhalten kann, sind eine sehr sorgfältige Bezeichnung des Fahrwassers, ggf. eine Aufspaltung des Richtungsverkehrs durch gegeneinander versetzte Gegenrichtlinien. Ferner muß vermieden werden, daß durch neue der Rücksicht bedürftige Anlagen in Fahrwassernähe die Fahrt des Großschiffes durch zusätzliche Langsamfahrstrecken behindert wird. Als von besonderer Bedeutung für die Fahrt großer Schiffe auf Revierstrecken haben sich Landradarketten, bisher auf der Elbe und auf der Außenweser, erwiesen. Für die anderen Reviere sind diese Einrichtungen in Vorbereitung. Diese ständig besetzten Anlagen sind für die Schifffahrt von Bedeutung bereits bei klarem Wetter durch die Übermittlung von für die Revierfahrt wesentlichen Nachrichten; sie sind von entscheidender Bedeutung bei unsichtigem Wetter durch die Beratung, durch die die Revierfahrt fahrplanmäßig aufrechterhalten werden kann.

Diese Maßnahmen ermöglichen es, daß auch für Großschiffe bei der Revierfahrt eine Keel-Clearance von nur 10 % des Seewassertiefgangs gefordert zu werden braucht. Eine Erhöhung dieses Wertes mit Rücksicht auf Seegangseinflüsse ist kaum notwendig; andererseits muß im oberen Teil fast aller Reviere der Brackwassereinfluß — Tiefgangszunahme um rd. 2 % — berücksichtigt werden.

Die Betrachtung der vier großen Zufahrten zu deutschen Häfen im Nordseeraum ergibt: Die Ems ist z. Z. befahrbar bis Emden für Schiffe mit 35' = 10,67 m Seewassertiefgang. Bis zu einem seewärts vorgeschobenen, aber geschützt liegenden Leichterplatz werden ab Ende 1968 Schiffe mit 42' = 12,80 m Tiefgang gelangen, die dort auf 35' abgeleichtert werden.

Die Jade ist gegenwärtig für Schiffe bis 48' = 14,60 m Seewassertiefgang zugänglich, ab Ende 1970 für Schiffe von 55' = 16,78 m. Ein weiterer Ausbau erscheint nicht ausgeschlossen.

Die Weser ist in ihrem äußeren Teil, der Außenweser, bis Bremerhaven gegenwärtig für Tiefgänge bis 41' = 12,50 m, demnächst voraussichtlich bis 44'4" = 13,50 m möglich. Auf der Unterweser bis Bremen sind gegenwärtig Tiefgänge bis 31'6" = 9,60 m möglich, nach einem beabsichtigten Ausbau bis 34'6" = 10,50 m.

Die Elbe kann im Jahre 1968 befahren werden bis Hamburg von Schiffen mit bis 39' = 11,89 m Seewassertiefgang, bis zum Elbehafen Brunshüttenkoog bis 42' = 12,80 m. Nach Beendigung eines gegenwärtig in der Durchführung befindlichen Ausbaus, Ende 1970, werden die Tiefgänge auf 41'6" = 12,65 m und 44' = 13,40 m zunehmen können. Weitere Verbesserungen werden als möglich angesehen. In der Außenelbe sind mit Erfolg Leichterungen von Tankern mit 46'6" Tiefgang durchgeführt worden, größere Tiefgänge sind möglich.

Neben einer genauen Kenntnis des in einer bestimmten Revierstrecke vorhandenen Sohlenverlaufs, der Tide und ihres Verlaufs und der Strömungsverhältnisse ist zum Erreichen optimaler Geschwindigkeiten und Festlegen zuverlässiger Höchttiefgänge eine hinreichend sichere Kenntnis des Verhaltens großer Schiffe im flachen Wasser Voraussetzung. Nach einem Überblick über die gegenüber der Fahrt auf tiefem Wasser im flachen Wasser und im Kanal geänderten Verhältnisse der Umströmung des Schiffskörpers und die daraus resultierenden Einflüsse auf Leistungszunahme, Vertrimmung und Tiefertauchung werden die am Beispiel von zwei heute normalen Schiffstypen von 62 000 t und 210 000 t Verdrängung erhaltenen Modellversuchsergebnisse auszugsweise mitgeteilt. Bei gleichen absoluten Geschwindigkeiten fahren größere Schiffe relativ langsamer und verhalten sich günstiger. Ein Einfluß der Schiffsförmigkeit bei Anordnung eines Bugwulstes wurde zwar für mäßig flaches Wasser festgestellt, bei einer den Schiffstiefgang nur wenig überschreitenden Wassertiefe verschwinden die Unterschiede aber fast ganz. Im seitlich beschränkten flachen Wasser steigen die Leistungen und Tiefer-

tauchungen weiter an. Exzentrische Kanalfahrten und Schiffsbegegnungen führen zu zusätzlichen, in ihrem Verlauf instationären Absenkungen der Schiffskörper. Mögliche Gefahren können jedoch durch rechtzeitige Geschwindigkeitsreduktion ausgeschaltet werden. In bezug auf Stopp- und Manövrierverhalten ergeben sich auf flachem Wasser und im Kanal kaum Schwierigkeiten. Die Stoppweglängen vermindern sich, und, solange der Propeller arbeitet, bleibt die Steuerfähigkeit erhalten.

Der dicht über der Fahrwassersohle wegen des im flachen Wasser wesentlich erhöhten Mitstromes mit hohem Schubbelastungsgrad arbeitende Propeller greift das Sohlengeschiebe an und führt zu Auskolkungen, die nach Modellversuchen recht beträchtliche Ausmaße annehmen. In Gebieten mit überlagerter Grundströmung tritt hierdurch aber kaum eine Gefahr für die Fahrwasserhaltung ein, da besonders bei feinerem Geschiebe der aufgewirbelte Boden sich nur zu einem Teil wieder in der Fahrrinne abgelagert.

Abschließend werden anhand der Modellversuchsergebnisse und der auf den deutschen Seeschiffahrtstraßen anzutreffenden Verhältnisse Werte minimal erforderlicher Keel-Cléarance angegeben.

Inhalt

	Seite
I. Maßnahmen für die Fahrt von Großschiffen in der Nordsee	216
II. Maßnahmen zur Verbesserung des Zustandes der Hafenzufahrten für den Zugang von Großschiffen	217
III. Anordnung, Tiefen und mögliche Schiffstiefgänge in den deutschen Seeschiffahrtstraßen:	
1. Ems	222
2. Jade	224
3. Weser	226
4. Elbe	228
IV. Verhalten großer Schiffe in flachen Gewässern	230

I. Maßnahmen für die Fahrt von Großschiffen in der Nordsee

Das Wachsen der Schiffsgrößen und damit der Tiefgänge zwingt zu dem Bemühen, die Zufahrten zu den Seehäfen, die von Großschiffen angelaufen werden sollen, den wesentlich gestiegenen Ansprüchen anzupassen. Für die Häfen der Bundesrepublik im Nordseeraum sind hierbei nicht nur die eigentlichen Zufahrten zu berücksichtigen, sondern auch bereits die Fahrt durch die Nordsee, die in ihrem südlichen Teil ebenso wie der Englische Kanal teilweise Wassertiefen hat, die den gestiegenen Tiefgangsansprüchen ggf. nicht mehr genügen.

Nach der Beendigung des 2. Weltkrieges lagen in der Nordsee, in der es bis zum Ausbruch des Krieges keinerlei festgelegte Wegebezeichnung gab und die Schifffahrt beliebige Kurse fahren konnte, eine unbekannte Zahl von scharfen Minen und von Wracks. Für die Ansteuerung der deutschen Häfen wurden daher mehrere Wege durch das verseuchte Gebiet eingerichtet durch Räumung der Minen, Feststellung etwaiger Wracks und Bezeichnung der Wege mit Bojen. Nach mehr als 20 Jahren ist nun die Nordsee immer noch nicht mit Sicherheit minenfrei; es war auch noch nicht möglich,

alle die Seegebiete, in denen bei der vorhandenen Wassertiefe etwaige Wracks eine Gefahr für die Schifffahrt bilden könnten, abzusuchen. Andererseits sind als Folge der Zunahme der Schiffstiefgänge die Ansprüche an die notwendige und zuverlässig nachgewiesene Wassertiefe erheblich gestiegen. Schließlich hat es sich als notwendig erwiesen, in Gebieten, in denen der Schiffsverkehr besonders stark ist, den Verkehr nicht nur auf bezeichneten Wegen zu bündeln, sondern auch nach Richtungsverkehr aufzuspalten. Diese Maßnahme wird für die besonders verkehrsreiche Route durch den Englischen Kanal und küstenparallel bis zur Deutschen Bucht im Interesse der Sicherheit als notwendig angesehen. Zahlreiche Seeunfälle, auch solche von Großtankern, haben die durch den starken Verkehr gestiegenen Gefahren, die nicht nur für die Schiffe selber, sondern darüber hinaus auch für die Allgemeinheit gegeben sind, deutlich gemacht.

Da nun die bisherigen minenfreien Wege in der südlichen Nordsee teilweise nicht den heutigen Ansprüchen genügen, werden jetzt in Zusammenarbeit der Anliegerstaaten der Nordsee neue Wege geräumt, vermessen und bezeichnet, die dann die alten Wege ersetzen werden. Es wird dann für den Verkehr aus dem Englischen Kanal zwei mit Leuchttönen bezeichnete Wege geben, den küstennahen Kollisionsschutzweg mit Wassertiefen von mindestens 15 m und zwei Fahrwegen von je 3 sm Breite für den West-Ost-gehenden und den Ost-West-gehenden Verkehr, die durch eine 2 sm breite verkehrsfreie Sicherheitszone getrennt sind und einen nördlich gleichfalls vom Englischen Kanal her verlaufenden Weg für größere Tiefgangsansprüche mit 25 m Mindestwassertiefe und 4 sm Breite. Zwischen dem Kollisionsschutzweg und der Küste ist ein etwa 3 sm breites Gebiet für den Küstenverkehr vorgesehen, das ebenfalls mit Leuchttönen bezeichnet wird.

Es wird angenommen, daß voll abgeladene Großtanker bis zu rd. 225 000 tdw mit Tiefgängen von 18 bis 20 m bei Benutzung dieses Weges durch den Englischen Kanal die Nordsee ansteuern können. Schiffe mit etwa noch größerem Tiefgang müssen jedoch für die Fahrt zur Nordsee — Anlande- und Umschlagsmöglichkeit dort vorausgesetzt — die Nordroute wählen. Tiefwasserwege, auf 5 sm Breite nach Hindernissen abgesücht und mit Wassertiefen von mindestens 30 m, sind vorhanden für die Fahrt von den Orkney-Inseln, von Norwegen und von Skagen her in die südliche Nordsee, wo Wassertiefen von 30 m bis über Helgoland hinaus vorhanden sind und wo die Nord-Süd verlaufenden Wege auf die vorgenannten West-Ost verlaufenden küstenparallelen Wege stoßen. Internationale Zusammenarbeit nicht nur in der Einrichtung, sondern auch in der laufenden Kontrolle dieser Wege in der Nordsee, Übereinkommen über die notwendige Fahrweise, besonders bei den nicht vermeidbaren Wegekreuzungen, klare Abgrenzung der Zuständigkeiten und Vorkehrungen, um im gegebenen Fall Maßnahmen u. a. gegen Ölverschmutzung treffen zu können, ferner wohl auch die Schaffung von Nachrichtendiensten und Navigationshilfen für die Wegekreuzungen werden dem Verkehr auch mit Großschiffen in der Nordsee die notwendige Sicherheit geben.

II. Maßnahmen zur Verbesserung des Zustandes der Hafenzufahrten für den Zugang von Großschiffen

Die Zufahrten aus der Nordsee zu den Häfen der Bundesrepublik werden den durch die Großschiffe gestellten höheren Forderungen angepaßt einerseits dadurch, daß die Schifffahrtswege weiter vertieft werden, andererseits aber auch dadurch, daß die Verhältnisse, unter denen die Schifffahrt die gegenüber der freien See oder den Tiefwasserwegen der Nordsee enge und oft schwierige Revierstrecke befährt, verbessert und sicherer gestaltet werden. Die Häfen im Nordseeraum der Bundesrepublik Deutschland, die von

Schiffen größerer Abmessungen angelaufen werden, sind zugänglich über die Seeschiffahrtstraßen Ems, Jade, Weser und Elbe. Es sind für alle vier Schiffahrtstraßen gegenwärtig entweder Maßnahmen zur Verbesserung eingeleitet oder es stehen solche in naher Zukunft bevor, durch die der Verkehr von Schiffen mit größeren Tiefgängen auf ganzer Strecke oder zumindest in den Außengebieten möglich wird. Diese Maßnahmen bestehen in einer Vertiefung, ggf. auch einer Verbreiterung der Fahrwasserriren oder in der Schaffung von Möglichkeiten zum Leichtern eines Teils der Ladung und dadurch der Verminderung des Tiefgangs. Im Abschnitt III. werden nähere Angaben für jede der genannten Wasserstraßen mitgeteilt werden.

Es besteht aber kein Zweifel, daß die Möglichkeiten für den Ausbau der genannten Wasserstraßen begrenzt sind und den Anforderungen für die größten heute bereits im Bau befindlichen Schiffe nicht genügen werden. Die Aufwendungen für eine ggf. noch erreichbare Vertiefung der Strommündungsstrecken, ebenso für die laufende Erhaltung der einmal hergestellten Wassertiefen sind so erheblich, daß es notwendig ist, die Ausbauziele realistisch zu stecken.

Welche Schiffe — nach Größe und Tiefgang — die einzelnen Wasserstraßen jetzt und in Zukunft befahren können, hängt außer von den durch Ausbau erreichten Wassertiefen aber auch davon ab, welche Sicherheit jedes Schiff für die Befahrung der Wasserstraßen vorfindet. In dieser Hinsicht können gegenüber den früher allgemein auf Seeschiffahrtstraßen bestehenden Verhältnissen teilweise noch Verbesserungen erreicht werden, im wesentlichen unter Ausnutzung von Möglichkeiten, die die moderne Technik jetzt bietet.

Die in Frage stehenden Seeschiffahrtstraßen sind die Rinnen größter Wassertiefen in den Mündungsgebieten von Tideströmen, die durch Baggerungen vertieft und teilweise durch Strombaumaßnahmen verbessert wurden. Infolge Einwanderung und Ablagerung von Sand- oder Schlickmassen werden die Rinnen jedoch häufig wieder verflacht. Dies können größere flächenhafte Ablagerungen sein oder in Abständen sich bildende Strombänke oder Riffeln, die sich zunächst als punktförmige Hindernisse über der Sollsohle zeigen. Die Ursachen für diese Ablagerungen sind in den einzelnen Wasserstraßen und in den oberen und unteren, morphologisch und hydrologisch unterschiedlichen Bereichen verschiedener Art und durch künstliche Maßnahmen nur in begrenztem Maße zu beeinflussen. Wenn auch aus langjähriger Beobachtung bekannt ist, in welchen Strecken diese Ablagerungen auftreten, so ist es doch notwendig in möglichst kurzfristigen Abständen diese Strecken durch Peilungen, d. h. Aufnahme von örtlichen Tiefenkarten auf ihren Zustand zu kontrollieren. Die Einführung des Echolots bedeutet hierbei gegenüber dem früheren Handlot einen sehr wesentlichen Fortschritt. Da die Tiefenpeilung jedoch nur in Verbindung mit zuverlässiger Ortsbestimmung Wert hat, war eine Intensivierung des Peilwesens lange Zeit noch durch die Schwierigkeit der Ortsbestimmung mittels Sextanten bei schlechten Sichtverhältnissen, wie sie gerade im Nordseeküstenraum häufig sind, sehr beschränkt. Die modernen Methoden der Ortsbestimmung mit Hilfe von funktchnischen Ortungsverfahren machen die Durchführung der Peilungen nun von den optischen Sichtverhältnissen unabhängig. Die neuen schnellen und wendigen Peilschiffe, mit den modernen Meßeinrichtungen ausgerüstet, können die kritischen Fahrwasserstrecken jetzt häufiger und zuverlässiger aufnehmen. Weitere Verbesserungen, über das bisher Erreichte hinaus, sind besonders bezüglich der Auswertung noch zu erstreben. Es wurde aber bisher bereits sichergestellt, daß die Lotsen, die Schiffe besonders großen Tiefgangs besetzen sollen, stets neueste Angaben über die Fahrwassertiefen in der Hand haben. Andererseits erhält die für die Erhaltung der Wassertiefen zuständige Verwaltung aus der Auswertung häufig aufeinander folgender Peilungen von kritischen Strecken einen Hinweis, wann und in welchem Umfange Baggerungen zur Vorsorge oder zur schnellen Wiederherstellung der Sollwassertiefe notwendig sind.

Auch bezüglich der Baggerungen in den Seeschiffahrtstraßen ist zu unterscheiden zwischen den größeren Flächenablagerungen, deren Bildung vorzusehen war und deren Beseitigung in den jährlichen Arbeitsplänen bereits rechtzeitig eingeplant wird, und den plötzlich, häufig unerwartet sich bildenden begrenzten Ablagerungen, die schnell das Niveau der Sollsohle überschreiten können und dann, trotz ggf. nur kleiner Ausdehnung, die Tiefgangsmöglichkeit der Wasserstraße einschränken. Die Beseitigung dieser Ablagerungen muß daher kurzfristig eingeleitet und schnell durchgeführt werden können. Hierfür sind Geräte notwendig, die für den Einsatz keine umfangreichen und dadurch lange dauernden Vorbereitungen erfordern und die eine ggf. größere Zahl von in einem Gebiet auftretenden Strombänken möglichst gleichzeitig angreifen, zunächst abflachen und dann ganz beseitigen. Hierfür haben sich nach den Erfahrungen der letzten Jahre die Geräte als besonders geeignet erwiesen, die nicht vor Anker arbeiten, sondern in freier Fahrt baggern. Dies sind Schleppkopfsaugbagger, mit oder ggf. auch ohne eigenen Hopperraum, im letzten Fall also im Verband mit längsseit oder achteraus liegenden Schuten. Ein solches Gerät muß, wie eine Feuerwehr, zum jederzeitigen Einsatz bereit sein oder schnell von einer zur anderen Einsatzstelle verlegt werden können.

Wie auf allen Seeschiffahrtstraßen der Welt, auf die die Tide einwirkt, so ist auch auf den Wasserstraßen im deutschen Nordseeküstenraum die Schifffahrt bemüht, die Tide auszunutzen, und zwar sowohl die Strömung als auch — dies gilt für die Schiffe größerer Tiefgänge — den Tidehub. Dies bedeutet, daß die Wasserstraßen von Schiffen befahren werden, deren Tiefgang größer ist als die Wassertiefe im Fahrwasser bei Tideniedrigwasser (Tnw). Die hierin liegende Gefahr für ein Festkommen bei Tnw muß dadurch ausgeglichen werden, daß den tiefgehenden Schiffen alle Voraussetzungen dafür geschaffen werden, daß sie ihre Fahrt planmäßig der Tide anpassen und sicher durchführen können. Die Fortschrittsgeschwindigkeit des Tidescheitels beträgt in den deutschen Tidenströmen zwischen 12 und 20 Seemeilen (sm) in der Stunde. Sie ist damit größer als die Fahrtgeschwindigkeit über Grund, die große Seeschiffe bei nur geringem Abstand des Schiffsbodens von der Sohle in relativ engen Gewässern erreichen können und die im Mittel nur 11 sm in der Stunde, unter besonderen Verhältnissen auch noch wesentlich weniger, beträgt. Da die Schiffe einkommend den Hafen, also das Ende ihrer Revierfahrt, bei Tidehochwasser (Thw) oder häufig bereits etwa eine halbe bis eine Stunde vor Thw erreichen sollen, müssen sie, entsprechend dem Unterschied der Geschwindigkeiten von Tidescheitel und Schiff, von See her die Revierfahrt, d. h. die Fahrstrecke mit beschränkten Wassertiefen, bereits längere Zeit, bevor hier der Wasserstand die Tidehochwasserhöhe erreicht hat, beginnen. Der Tidescheitel läuft also mit sich verringerndem Abstand hinter dem Schiff her. Der volle Tidehub, der bekanntlich örtlich verschiedene Größe hat, ist demnach erst im Hafen nutzbar. Für Schiffe mit größerem Tiefgang, die auslaufend die Revierstrecke in entgegengesetzter Richtung befahren, sind die Verhältnisse noch ungünstiger. Diese Schiffe laufen gegen die einlaufende Tidewelle, verlassen den Hafen bereits etwa bei halber Tide, begegnen dem Tidescheitel auf der Revierstrecke und müssen sorgfältig darauf achten, daß sie bei fallendem Wasserstand die nach See zu äußerste Flachwasserstrecke so rechtzeitig passieren, daß sie hier noch ausreichende Wassertiefen haben.

Diese Überlegungen lassen erkennen, daß es von entscheidender Wichtigkeit ist, daß ein Schiff mit großem Tiefgang, einlaufend wie auslaufend, die Revierfahrt, wenn es diese einmal angetreten hat, unter allen Umständen, bei allen Sicht- und Verkehrsverhältnissen, auch planmäßig durchführt. Diese Voraussetzung wird durch folgende Verbesserungen bestehender und Schaffung neuer Einrichtungen erreicht.

Die Bezeichnung des Fahrwassers durch schwimmende Seezeichen, unbefeuerte oder befeuerte Tonnen, ist ggf. durch Auslegen zusätzlicher Tonnen zu verdichten. Hierdurch

soll einerseits dem Großschiff an jeder Stelle ein zuverlässiger Anhalt über die Lage der tiefen Rinne gegeben werden, da am Fahrwasserrand im allgemeinen bereits etwas geringere, für das Großschiff gefährliche Wassertiefen vorhanden sind. Andererseits soll die Verdichtung der Tonnen auch für kleinere Fahrzeuge, insbesondere diejenigen, die ohne Lotsen fahren und die häufig aus Vorsicht und Unsicherheit bemüht sind, in Fahrwassermitte zu fahren und damit einen Entgegenkommer oder Überholer behindern, den Fahrwasserrand so deutlich kenntlich machen, daß sie sich von der Fahrwassermitte fernhalten können. Aus diesem Grund auch hat es sich zur Erleichterung der Nachtfahrt häufig als zweckmäßig erwiesen, unbefeuerte Tonnen durch Leuchttonnen zu ersetzen. Ebenso kann es zur Vermeidung von Behinderungen durch entgegenkommenden Verkehr beitragen, wenn anstelle einer Richtfeuerlinie oder eines Leuchtfuers, die bisher vorhanden waren, zur Bezeichnung einer Fahrwasserstrecke zwei Gegenfeuerlinien errichtet werden, parallel gegeneinander versetzt, wobei jede Fahrtrichtung ihre Richtfeuer voraus hat. Hierdurch wird der Gegenverkehr ungefährlicher. Diese Anordnung setzt allerdings eine reichliche Fahrwasserbreite voraus, was nicht stets gegeben ist. Auf der Elbe zwischen Cuxhaven und Brunsbüttelkoog, wo der Verkehr durch Zusammenkommen der Hamburg-Fahrt und der Fahrt zum Nord-Ostsee-Kanal besonders stark ist, werden mehrere derartige Gegenfeuerlinien für Richtungsverkehr in den nächsten Jahren geschaffen werden.

Die gewünschte und bisher mögliche Durchschnittsgeschwindigkeit der Großschiffe in der Revierstrecke muß ggf. dann verringert werden, wenn auf neue Anlagen in Fahrwassernähe Rücksicht genommen werden muß, z. B. auf exponierte Anlegestellen, Fähren, Schiffs Liegeplätze am Fahrwasser. Die dann notwendigen Langsamfahrstrecken bedeuten eine Verlängerung der Dauer der Revierfahrt. Das Großschiff muß somit die Revierfahrt noch früher antreten, wenn der Tidewasserstand noch niedriger ist, der Tiefgang des Schiffes also nur kleiner sein darf, als es vor der Einrichtung der Anlagen, die die Fahrtgeschwindigkeit hemmen, notwendig war. Für die Elbe bedeutet z. B. eine Verlängerung der Gesamtfahrtzeit um eine halbe Stunde bereits eine Einschränkung des zulässigen Tiefgangs um fast einen Fuß. Solche zusätzlichen Anlagen in Fahrwassernähe sind daher aus der Sicht des Einsatzes von Schiffen mit großen Tiefgängen nicht erwünscht.

Von sehr großer Bedeutung für die Sicherheit der Revierfahrt für alle Schiffe, in besonderem Maße aber für die auf die Einhaltung ihres Fahrplans zwingend angewiesenen Großschiffe sind die Landradarketten. Eine Reihe von an geeigneten Punkten in Fahrwassernähe errichteten Radaranlagen übermitteln die Bilder der von ihnen eingesehenen Fahrwasserabschnitte zu einer oder zu mehreren Zentralen, die ständig mit erfahrener Personal besetzt sind. Der dort geschaffene Überblick über das ganze Revier und den jeweils vorhandenen Verkehr sowie die hier sonst gesammelten Nachrichten, die für die Schiffsführungen bzw. deren Lotsen von Bedeutung sind, ermöglichen die für die Schifffahrt wichtigen Informationen, die über UKW-Funk an die Schiffsführungen oder an die Lotsen laufend gegeben werden. Diese Verbindung ist bereits bei klarem Wetter von erheblicher Bedeutung, da die Lotsen von Großschiffen über die Radarzentrale Informationen über etwaige Unregelmäßigkeiten der Tide, insbesondere eine voraussehbare Verminderung des Tidehubs, erhalten können, ebenso auch über etwaige Verkehrsbehinderungen in der Revierstrecke. Ebenso kann die Radarzentrale die in der Revierfahrt befindlichen Schiffe ggf. rechtzeitig auf ein der besonderen Rücksicht bedürftiges Großschiff aufmerksam machen. Von entscheidender Wichtigkeit aber sind die Informationen von der Radarzentrale für das Großschiff bei schlechter Sicht oder bei unerwartet einfallendem Nebel. Die von der Radarzentrale aus dann durch am Bildschirm tätige Lotsen an die Lotsen auf den Schiffen erfolgende eingehende Beratung ermöglicht, wie eine große Zahl von praktischen Fällen erwiesen hat, die sichere Fortführung der

Fahrt mit einer dem vorgesehenen Fahrplan genügenden Geschwindigkeit. Auf den deutschen Seeschiffahrtstraßen sind Landradarketten bisher vorhanden auf der Elbe für die Fahrt von See bis an den Liegeplatz im Hamburger Hafen und auf der Außenweser von See bis Bremerhaven. Für die Fahrt von See bis Emden wird gegenwärtig eine Landradaranlage an der Ems eingerichtet. Das gleiche ist in Vorbereitung für die Jade und ist vorgeschlagen auch für die Unterweser zwischen Bremerhaven und Bremen. Für die Unterrichtung der Schifffahrt bei unsichtigem Wetter ist hier vorerst ein Sicherungsrevierfunk eingerichtet, der von einer Meldestelle in Brake betrieben wird.

Die vorstehend behandelten Maßnahmen auf den deutschen Seeschiffahrtstraßen haben nun bewirkt, daß es als nicht bedenklich beurteilt wird, Schiffe mit einem solchen Tiefgang zuzulassen, daß der Abstand zwischen dem Schiffsboden des gestoppt gedachten Schiffes und der zum Zeitpunkt des Antritts der Revierfahrt erwarteten Sohlenlage, die „Keel-Clearance“, nur 10 % des Tiefgangs des Schiffes beträgt. Dieses Maß war bereits in den letzten Jahrzehnten für die damaligen Großschiffe, die gegenüber heute geringeren Tiefgang und geringere Tragfähigkeit hatten, als ausreichend angesehen worden trotz der damals geringeren Sicherheit für die Revierfahrt. Das infolge der erheblichen Zunahme der Schiffsabmessungen jetzt zwar gewachsene Risiko wird durch die genannten Verbesserungen für die Sicherheit der Revierfahrt ausgeglichen.

Die Keel-Clearance von 10 % des Seewassertiefgangs soll das Tiefertauchen und die Vertrimmung des fahrenden Schiffes durch die Sogwirkung — den squat — erfassen, aber auch eine etwaige geringe Fahrwasseruntiefe gegenüber dem Zustand des letzten Peilplanes, ebenso eine geringe Unterschreitung der Tide gegenüber der UKW-Durchsage vor Antritt der Revierfahrt. Die letzten beiden Umstände dürften mit zusammen etwa 0,30 m angesetzt werden; für Tiefertauchen und Vertrimmung infolge der Fahrt wird für ein Schiff mit 11 m Tiefgang, also mit 1,10 m Keel-Clearance, ein Maß von ca. 0,60 m angesetzt, so daß nur ein sehr geringes Maß als Mindestwasserpolster verbleibt. Dies wird bei dem Schlick- und Sandgrund der deutschen Strommündungen noch als ausreichend angesehen. Wo, wie z. B. auf der Ems, die bezüglich der Wassertiefen kritischen Strecken stark schlickhaltigen Grund haben, wird von den Lotsen sogar eine Keel-Clearance von weniger als 10 % als tragbar angesehen.

Eine Vergrößerung der Keel-Clearance von 10 % in den Außenstrecken der Stromreviere, wo einerseits die Wassertiefen schon beschränkt sind und wo ganz allgemein mit Roll- und Stampfbewegungen der Schiffe bei Seegang gerechnet werden muß, ist nur dort angezeigt, wo nach der örtlichen Lage der Seegang nach Höhe und Länge der Wellen oder der Dünung für sehr große und lange Schiffe eine Roll- und Stampfbewegung noch verursachen könnte. Hierbei ist dann aber bezüglich der deutschen Strommündungen zu berücksichtigen, daß ein solcher Seegang eine Wetterlage zur Voraussetzung hat, bei der der Wasserstand infolge Windstau um mindestens 1 m erhöht ist. Die Voraussetzung für eine besondere Berücksichtigung von Roll- und Stampfbewegungen ist von den deutschen Strommündungen nur für die Jade gegeben. In den anderen Mündungen können infolge geschützterer Lage Roll- und Stampfbewegungen von sehr großen Schiffen an den kritischen Stellen nicht mehr eintreten.

Auf folgende Umstände muß bezüglich der Keel-Clearance noch hingewiesen werden. Das Maß von 10 % bezieht sich auf den Tiefgang des Schiffes in Seewasser. Wenn der Zielhafen sich bereits im Süßwasserbereich befindet, wo infolge des Dichteunterschiedes eine Zunahme des Tiefgangs um rd. 2 % gegenüber dem Seewasserbereich bewirkt wird, muß in diesem Bereich eine Keel-Clearance von 12 % gegenüber dem Seewassertiefgang angesetzt werden.

Es wurde darauf hingewiesen, daß das Maß von 10 % für die Keel-Clearance voraussetzt, daß vor Beginn der Revierfahrt Informationen über den Zustand des Fahrwassers

durch neueste Peilpläne vorliegen sowie eine Vorhersage über die Tide des gleichen Tages gegeben ist. Wenn dagegen über einen längeren Zeitraum die Tiefgangsmöglichkeiten für ein Fahrwasser disponiert werden sollen, müssen wegen der damit bedingten geringeren Sicherheit für Fahrwasserzustand und Tide noch etwa 1' (engl. Fuß) = ungefähr 0,30 m zu dem Maß von 10 % zugeschlagen werden. Wenn in diesen Fällen die erhöhte Keel-Clearance noch eine Unterschreitung der Normaltide um 0,35 m deckt, so sind rd. 90 % der Jahrestiden erfaßt; nur bei 10 % der Tiden ist dann eine besondere Berücksichtigung, also eine Wartezeit erforderlich.

Ein wesentlicher Anteil der Keel-Clearance von 10 % wird, wie oben gesagt, auf den squat, auf die Vertrimmung und das Einsinken infolge der Fahrt des Schiffes bei sehr geringer Bodenfreiheit gerechnet. Die Vertrimmung ist nach zahlreichen Beobachtungen für die Fahrt der verschiedenen Schiffstypen im Flachwasserbereich und bei verschiedenen Fahrtstufen sehr unterschiedlich. Die Auswirkung dieser Erscheinung und die Möglichkeiten, diese Vertrimmung zu beeinflussen, werden im Abschnitt IV. eingehender behandelt.

III. Anordnung, Tiefen und mögliche Schiffstiefgänge in den deutschen Seeschiffahrtstraßen: 1. Ems, 2. Jade, 3. Weser, 4. Elbe

Nach den vorstehenden Ausführungen, die für alle deutschen Seeschiffahrtstraßen im Nordseeraum gelten, werden nunmehr für jede einzelne, von Westen nach Osten fortschreitend, Angaben über Wassertiefen, über mögliche Schiffstiefgänge und ggf.* über Leichterungsmöglichkeiten erörtert. Es sei vorausgeschickt, daß für alle diese Seeschiffahrtstraßen, ausgenommen lediglich die Unterweser, d. h. das Fahrwasser oberhalb Bremerhaven, die größten Schiffstiefgänge einlaufend, also bei der Fahrt mit der Fluttide, auftreten. Auslaufend, bei der ungünstigeren Fahrt gegen den Flutscheitel, sind die Tiefgänge stets geringer, in der Unterweser jedoch, wenn auch selten, ebenso groß wie einlaufend.

1. Die Ems (Abb. 1)

Die Seeschiffahrtstraße Ems bildet die Zufahrt zu dem deutschen Hafen Emden, ferner zu dem niederländischen Hafen Delfzijl und den deutschen Häfen Leer und Papenburg, die jedoch nur für Schiffe geringeren Tiefgangs als Emden zugänglich sind.

Die Ems hat in ihrem Außenbereich zwei Fahrwasser, die Westerems und das Hubertgat. Die anzusteuern den Tonnen liegen bereits oberhalb der durchgehenden 20-m-Tiefenlinie auf etwa 16 und 18 m unter Seekartennull (SKN). Etwa 2 sm weiter oberhalb der Tonnen sind bereits Wassertiefen von nur etwa 12 bis 13 m unter SKN. Die Westerems hat die etwas geringeren Wassertiefen, die jedoch ausreichen für die bis Emden durchlaufenden Schiffe. Das Hubertgat wird von den Schiffen benutzt, die, wie weiter unten ausgeführt wird, die Revierfahrt unterbrechen und geleichtert werden.

Die Länge der Revierstrecke von dem Ort, wo die Schiffe mit Lotsen besetzt werden — in der Nähe der Ansteuerungstonnen — bis zum Hafen Emden beträgt durch die Westerems 39,5 sm und durch das Hubertgat 42 sm. Der mittlere Tidehub beträgt in Emden 3,02 m, an den Ansteuerungstonnen nur rd. 2,0 m. Da die Solltiefen im Fahrwasser auf Seekartennull gleich Mittelspringtideniedrigwasser bezogen werden, ist bei der Ermittlung der Gesamtfahrwassertiefe die Differenz zwischen dem Mittelspringtideniedrigwasser und dem Mitteltideniedrigwasser von rd. 0,15 m dem Tidehub zuzuschlagen. Der Tidescheitel durchläuft die Revierstrecke mit einer mittleren Geschwindigkeit von rd. 15 sm/Stunde, während das Seeschiff mit großem Tiefgang auf dieser Strecke

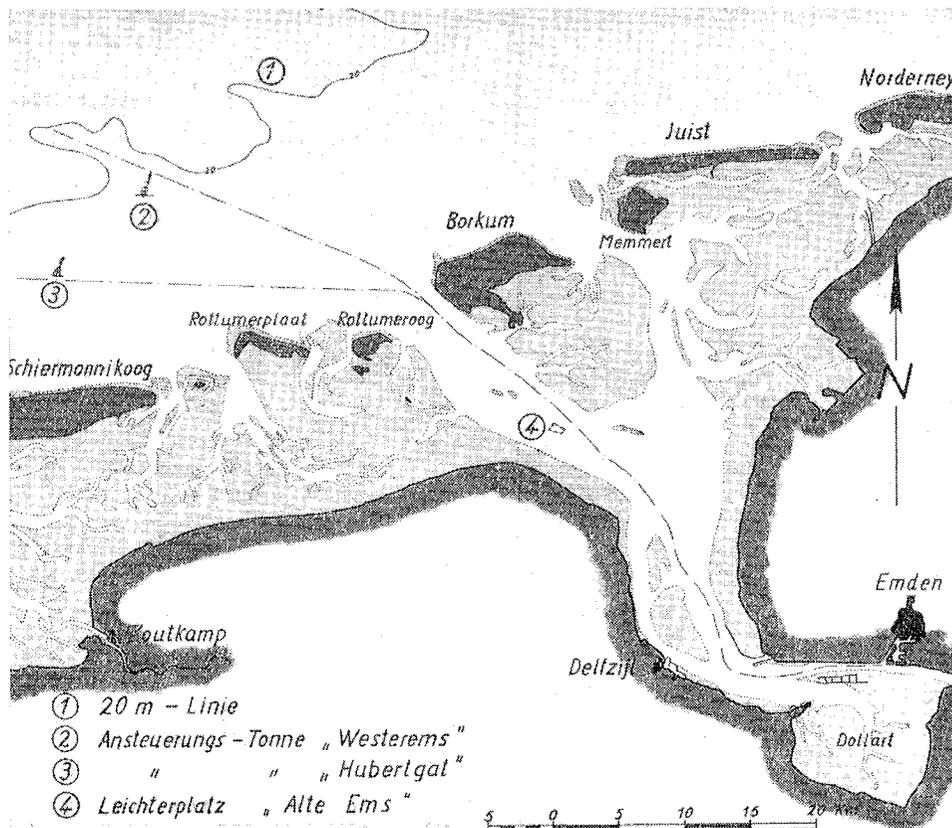


Bild 1
Lageplan der Ems von See bis Emden

eine Fahrtgeschwindigkeit über Grund von nur rd. 11 sm/Stunde erreicht. Die Schiffe mit dem großen Tiefgang, mit Erz für Emden, werden in den Binnenhafen eingeschleust. Wenn das Schiff bei Thw vor der Schleuse stehen soll, muß es bei den gegebenen Verhältnissen etwa eine Stunde vor Hochwasser — dann ist der Wasserstand dort 0,10 m unter Thw — an der Ansteuerungstonne die Revierfahrt antreten.

Das Ausbauziel der Ems ist bisher auf eine Wassertiefe von 8,50 m bei MSpTnw bei Emden festgelegt. Infolge der seewärts abnehmenden Größe des Tidehubs muß eine nach außen zunehmende „gleichwertige“ Wassertiefe vorhanden sein, die aber nur auf der Strecke zwischen Emden und dem noch näher zu beschreibenden Leichterplatz am Möwensteert streckenweise durch Baggerungen künstlich vorgehalten werden muß. Die dem Großschiff während der Fahrt zur Verfügung stehenden tatsächlichen Wassertiefen betragen somit von See bis Emden mindestens rd. 11,65 m. Zwischen den Ansteuerungstonnen und dem Leichterplatz sind natürliche Wassertiefen von mindestens 12,90 m vorhanden.

Das Fahrwasser der Ems hat im Außenbereich, wie alle deutschen Tidestrommündungen Sandgrund, der im oberen Bereich mehr und mehr schlickhaltig ist. Aus langjähriger Erfahrung halten die Reeder und die Lotsen für die Ems eine Keel-Clearance von 1,0 m, d. h. für die jetzigen Großschiffe rd. 9% des Seewassertiefgangs für ausreichend.

Dies gilt auch im Brackwasserbereich, d. h. für die Fahrt über den weicheren Sand-Schlickgrund. Somit können bei einer mittleren Tide Schiffe mit 35' = 10,67 m Seewassertiefgang den Emden Hafen erreichen. Es sind bisher keine Umstände eingetreten, die dieses Maß als zu risikvoll erscheinen lassen.

Die Breite der Fahrwassersohle ist im oberen Bereich, unterhalb des Emden Hafens, nur 120 m und nimmt stromab stetig zu auf rd. 200 m auf der Höhe von Borkum. Kurvenverbreiterungen sind nicht vorhanden, der kleinste Kurvenradius beträgt 2 000 m.

Der vorgenannte Tiefgang von 35' ist nun für die in den letzten Jahren gewachsenen Ansprüche der Erzfahrt nicht mehr ausreichend. Daher werden jetzt Erzschiffe größerer Tragfähigkeit und größeren Tiefgangs an einem geschützt liegenden Platz außerhalb des Hauptfahrwassers in der Alten Ems, südlich des Möwensteert, geleichtert. Die Wassertiefe beträgt hier auf einer Fläche von rd. $800 \times 4\,000$ m mindestens 13,0, teilweise 15,0 m unter SKN. Das Großschiff geht zu Anker und wird zwischen zwei Tidehochwassern durch zwei längsseit gehende Schwimmkräne um bisher bis zu 8 000 t Ladung in Binnenschiffe geleichtert. Im Jahre 1967 sind hier bereits 23 Schiffe mit einem Tiefgang bis zu 39' und mit einer Gesamtladung von rd. 1 018 000 t um rd. 95 000 t geleichtert worden. In der Zufahrt von See durch das Hubertgat zum Leichterplatz werden im Jahre 1968 einige Mindertiefen nicht sehr großen Umfangs beseitigt, so daß draußen 11,65 m unter SKN und vor dem Leichterplatz 11,25 m unter SKN vorhanden sind, bei denen dann Schiffe mit einem Tiefgang von 42' = 12,80 m bis zum Leichterplatz gelangen werden. Diese passieren die Ansteuerungstonnen etwa eine halbe Stunde vor Thw, wenn der Wasserstand bereits praktisch den Höchststand erreicht hat. Mit zwei bis zum Frühjahr 1969 zu liefernden leistungsfähigeren Schwimmkränen werden dann zwischen zwei Tidehochwassern rd. 14 000 t geleichtert und dadurch der Tiefgang des Großschiffes mit rd. 70 000 t dw von 42' auf 35' ermäßigt werden, so daß es mit der Restladung Emden erreichen kann. Eine noch weitere Entwicklung dieses Systems bei guten Erfahrungen erscheint möglich. Ein ins Gewicht fallender Vorteil dieser Leichterungsmöglichkeit liegt darin, daß sie nicht nur planmäßig für Schiffe mit mehr als 35' Tiefgang zur Anwendung kommt, sondern daß auch Schiffe, die für die Fahrt mit voller Ladung bis Emden disponiert waren, bei etwa am Ankunftstage vorliegenden ungünstigen Verhältnissen, schwacher Tide oder unerwarteter Sohlenerhöhung, kurzfristig etwas geleichtert werden können, die Sicherheit der Fahrt also gegenüber früheren Verhältnissen wesentlich vergrößert worden ist.

2. Die Jade (Abb. 2)

Die Jade ist die von Natur aus günstigste deutsche Seeschiffahrtstraße und weist die größten Wassertiefen auf. Sie ist die Zufahrt zu dem größten deutschen Ölumschlagplatz, der Ölpier in Wilhelmshaven, und zum Binnenhafen Wilhelmshaven. An der Ansteuerungstonne sind noch Wassertiefen von mehr als 17 m unter SKN vorhanden. Ein günstiger Anschluß an die 20-m-Linie unter SKN ist gegeben. Die sehr großen Tanker müssen von der Ansteuerungstonne ab die Fahrt nach Wilhelmshaven nach der Tide einrichten. Diese Revierstrecke bis zur Ölpier in Wilhelmshaven ist 42 km = 22,7 sm lang. Der mittlere Tidehub beträgt am Beginn der Revierfahrt 2,70 m, an der Ölpier 3,40 m. Die Laufzeit des Tidescheitels beträgt für diese Strecke 65 Minuten, was einer Durchschnittsgeschwindigkeit von 21 sm/Std. entspricht. Demgegenüber ist auch für diese Revierfahrt für die Großtanker nur mit einer Fahrtgeschwindigkeit über Grund von 11 sm/Std. zu rechnen. Wenn das Schiff den Anfangspunkt der Revierfahrt 50 Minuten vor dem dortigen Hochwasser passiert, ist es etwa bei Hochwasser an der Ölpier und führt die Festmachemanöver bei beginnender Ebbe durch, wofür ausreichende Wassertiefen vorhanden sind.

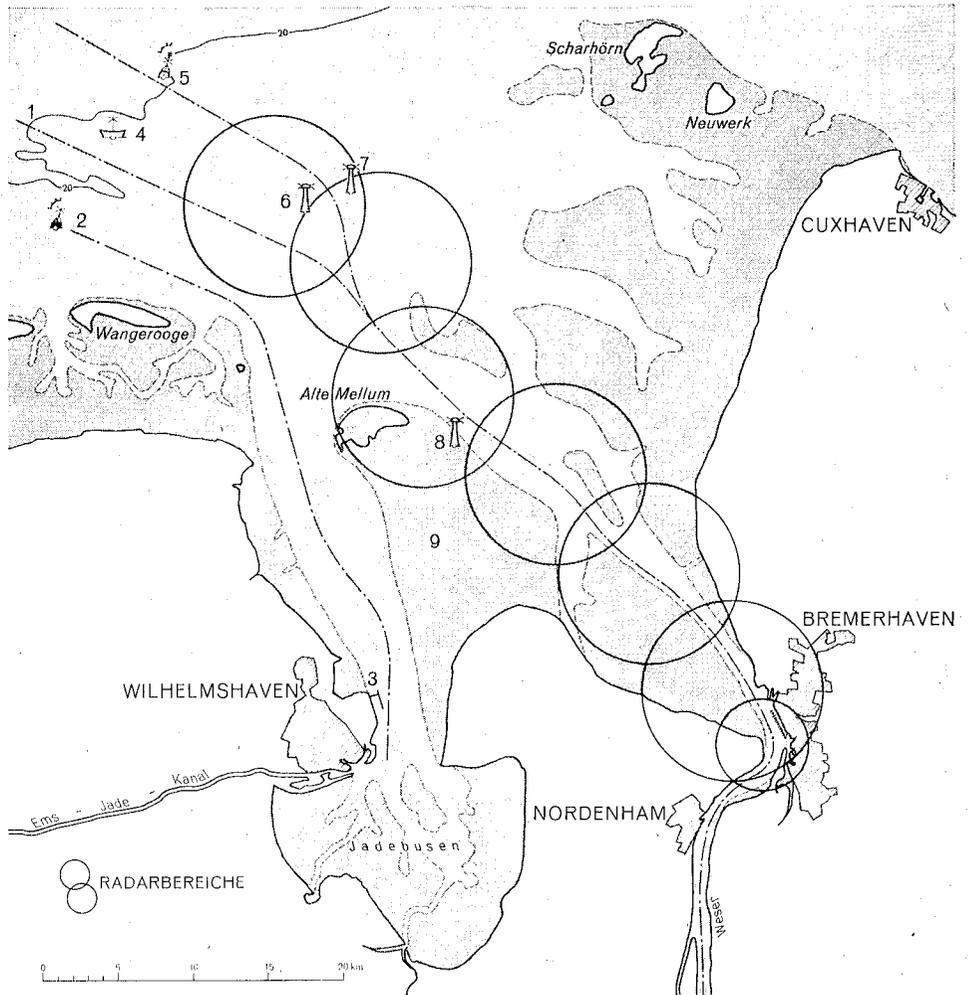


Bild 2
Lageplan der Jade und der Weser von See bis Bremen

Nach mehreren Ausbaustufen war Mitte 1967 eine durchgehende Sohlentiefe von 13,00 m unter SKN erreicht. Danach konnten Großtanker von rd. 48' = 14,60 m Tiefgang die Ölpier in Wilhelmshaven erreichen.

Gegenwärtig wird die Jade auf eine Sohlentiefe von 15,00 m unter SKN an der Ölpier in Wilhelmshaven und auf 16,10 m unter SKN am seewärtigen Anfangspunkt der Revierstrecke fallender Sohle ausgebaut, womit „gleichwertige“ Wassertiefen geschaffen werden. Diese Differenz berücksichtigt den kleineren Tidehub und den Einfluß des Seegangs im Außenbereich. Von außen nach innen abnehmend beträgt die Keel-Clearance für die Jade 12% bzw. 10%. Ein Brackwasserzuschlag für die Keel-Clearance ist für die Jade nicht erforderlich, da kein einflußreicher Binnenzufluß stattfindet. Anlagen oder Einrichtungen am Fahrwasser, die zu einer Ermäßigung der Fahrtgeschwindigkeit der Großtanker im Revier zwingen, sind nicht vorhanden. Nach Erreichung des Ausbauziels können etwa Ende 1970 Großtanker von etwa 170 000 tdw mit einem Tiefgang von 55' = 16,78 m die Ölpier in Wilhelmshaven anlaufen.

Die Erfahrungen bei dem derzeitigen Ausbau werden zeigen, in welchem Umfang eine weitere Vertiefung des Jadedefahrwassers technisch und finanziell vertretbar ist. Für den Fall, daß in weiterer Zukunft die Ausbaumöglichkeiten erschöpft sein sollten, wird die Leichterung der sehr großen Tanker auf See unter Berücksichtigung der in der Nordsee gegebenen Verhältnisse, ggf. im Raum Helgoland, zu prüfen sein.

Für die Fahrwassersohlenbreite ist vorerst eine Mindestbreite von 300 m vorgesehen. Der kleinste Kurvenradius beträgt 1500 m. Es ist nicht ausgeschlossen, daß Fahrwasserverbreiterungen, insbesondere in Kurven, notwendig werden. Zwischenreedern sind nicht vorhanden. Belegung und Umschlag an der Ölpier in Wilhelmshaven bedürfen einer sorgfältigen Planung und Durchführung. Vor der Einfahrt in die Revierstrecke sind flächen- und tiefenmäßig ausreichende Warteplätze vorhanden. Die Fahrt der Großtanker von diesen Warteplätzen nach Wilhelmshaven sollte möglichst nicht unterbrochen werden. Es sind daher Maßnahmen anzustreben, die das Versetzen der Lotsen für Großtanker vor der Jademündung bereits an den Warteplätzen ermöglichen.

3. Die Weser (Abb. 2)

Die Weser bildet die Zufahrt zu den Häfen Bremerhaven, Nordenham, Brake und Bremen-Stadt. Die Ansteuerung der Weser von See her kann durch zwei Fahrwasser, von Westen und von Nordwesten her, erfolgen. Die äußersten Schifffahrtzeichen, das Feuerschiff Weser und die Schlüsseltonne, liegen 1 bis 3 sm oberhalb der durchlaufenden 20-m-Linie auf 17 bis 18 m unter SKN. Die Gesamtstrecke von hier bis zu den stadtbremischen Häfen beträgt rd. 126 km oder 68 sm. Die Revierstrecke, für die die Wassertiefen den Fahrplan der Großschiffe bestimmen, beginnt jedoch erst 16 sm oberhalb des Feuerschiffes, auf der Höhe des Leuchtturms Hoheweg. Die somit für die vorliegenden Betrachtungen maßgeblichen Entfernungen sind dann bis Bremerhaven 28 km oder 15 sm, bis Nordenham 37 km oder 20 sm, bis Brake 54 km oder 29 sm und bis zu den stadtbremischen Häfen rd. 92 km oder 50 sm. Der mittlere Tidehub beträgt im äußersten Bereich, beim Leuchtturm Rotersand 2,79 m, er nimmt zu bis Nordenham auf 3,48 m und beträgt noch 3,41 m in Bremen-Stadt.

Aus morphologischen und hydrologischen, aber auch aus verkehrlichen Gründen ist es geboten, die Weser in zwei Abschnitten getrennt zu betrachten, die Außenweser von See bis Bremerhaven und die Unterweser oberhalb Bremerhaven bis Bremen-Stadt.

In der Außenweser beträgt die Fortschrittsgeschwindigkeit des Tidescheitels rd. 19 sm/Std., die Fahrtgeschwindigkeit tiefgehender Seeschiffe über Grund hingegen hier

nur 12 bis 14 sm/Std. Wenn das für Bremerhaven bestimmte Großschiff den Hafen — Seeschleuse oder Pier am Strom — bei Thw erreichen soll, muß es den maßgebenden Punkt bezüglich der Wassertiefen — auf der Höhe des Leuchtturms Hoheweg — etwa eine Stunde vor Hochwasser an diesem Ort passieren, wo dann der Wasserstand auf 2,90 m über SKN gestiegen ist. Die Außenweser hat z. Z. eine Wassertiefe bei SKN von mindestens 11,0 m; für die Keel-Clearance wird im Seewasser ein Maß von 10 ‰, im Süßwasser — das bereits für Bremerhaven zu rechnen ist — 12 ‰ des Seewassertiefgangs gefordert. Unter diesen Voraussetzungen ist gegenwärtig ein Tiefgang von 12,50 m = 41' bis Bremerhaven möglich. Im Jahre 1968 wurde eine Vertiefung der Außenweser um 1,0 m auf 12,0 m unter SKN in Angriff genommen, so daß demnächst ein Tiefgang von 13,50 m = 44'4" bis Bremerhaven möglich sein wird.

Die Fahrwasserbreite beträgt in der Außenweser mindestens 200 m, eine Verbreiterung ist nicht beabsichtigt, ebenso keine Kurvenerweiterungen, da das Fahrwasser sehr gestreckt ist und der kleinste Kurvenradius 2 700 m beträgt.

Für die Unterweser gelten beschränktere Bedingungen. Die Fortschrittsgeschwindigkeit des Tidescheitels beträgt zwischen Bremerhaven und Bremen-Stadt rd. 16 sm/Std. Die Fahrtgeschwindigkeit über Grund ist für das einlaufende Schiff auf dieser Strecke im Mittel 9,2 sm/Std., für das auslaufende 8,6 sm/Std. Die Fahrtverminderung des ausgehenden Schiffes ist dadurch bedingt, daß es anfangs gegen den Flutstrom läuft. Die gegenüber dem Außenbereich und gegenüber anderen Seeschiffahrtstraßen kleineren Fahrtgeschwindigkeiten sind eine Folge davon, daß das Fahrwasser streckenweise, zumindest einseitigen noch, sehr beengt ist und zwischen Bremerhaven und Bremen eine große Zahl von Anlagen am Strom — Fähren, Stromkajen, Anleger — eine Fahrtverminderung erfordern.

Die Sohle des Fahrwassers steigt kurz oberhalb Bremerhaven von 11,0 m unter SKN, der Wassertiefe der Außenweser, auf 9,0 m unter SKN bis Nordenham. Oberhalb Nordenham springt die Sohle auf 8,10 m unter SKN, bleibt bis Vegesack etwa in dieser Höhe und fällt auf der letzten Strecke vor den stadtbremischen Häfen auf 8,90 m unter SKN. Die langgestreckte Sohlenerhöhung zwischen den tiefer abfallenden Strecken oberhalb und unterhalb verhindert einerseits ein zu tiefes Absinken des Tnw der Unterweser, bewirkt andererseits gleichwertige Wassertiefen für die Fahrt zwischen Bremen und Bremerhaven, einlaufend wie auslaufend, bei richtiger Nutzung der Tide.

Das von See für die stadtbremischen Häfen bestimmte Schiff großen Tiefgangs richtet die Fahrt so ein, daß es den Hafen mit Thw erreicht. Da die Fahrzeit von 3¹/₂ Stunden ab Bremerhaven wesentlich länger ist als die Laufzeit der Tidewelle von 2,0 Stunden, passieren diese Schiffe Bremerhaven 1¹/₂ Stunden vor dem örtlichen Hochwasser und werden bis zum Hafen von dem Tidescheitel eingeholt. Mit einer Keel-Clearance von 12 ‰ gegenüber dem Seewassertiefgang kann das Schiff unter den genannten Bedingungen 9,60 m = 31'6" tief gehen. Es ist ein Ausbau der Unterweser beabsichtigt, durch den die Sohle um etwa 1 m auf 9,0 bis 10,0 m unter SKN vertieft werden soll. Wenn dies erreicht ist, werden bei einer Anpassung an die Tide Schiffstiefgänge von 10,50 m = 34'6" bis Bremen möglich sein.

Die Fahrwassersohlenbreiten betragen in der Unterweser z. Z. in der oberen Strecke auf rd. 10 km nur 100 m, auf weitere 25 km bis Elsfleth 120 m und anschließend bis Bremerhaven 150 m. Bei dem beabsichtigten Ausbau sollen sie oberhalb Brake auf 150 m, unterhalb Brake auf 200 m gebracht werden. Wenn der Kurvenradius größer als 2 000 m ist, wird von Kurvenerweiterungen abgesehen.

4. Die Elbe (Abb. 3)

Die Elbe ist diejenige der deutschen Tidewasserstraßen, in deren äußeren Bereich die 20-m-Tiefenlinie von See her hineinreicht. Die gesamte Revierstrecke, von Feuerschiff Elbe 1 bis zum Beginn des Hamburger Hafens, als der die Hafenslotsenstation am Seemannshöft gerechnet wird, beträgt 136 km = 73 sm. Für die Betrachtung über Wassertiefen und Tiefgänge ist jedoch nur die Strecke ab Tonne 5 auf der Höhe der Watteninsel Scharhörn, wo sich an den Ausläufern des Neuen Luechtergrundes und des Mittelgrundes die Tiefen schnell verringern, zu rechnen. Von hier bis zum Hamburger Hafen sind es 116 km = 63 sm und bis zur Abzweigung des Nord-Ostsee-Kanals und dem neuen Elbehafen Brunsbüttelkoog 49 km = 27 sm. Die weiteren Häfen an der Unterelbe kommen für Großschiffe nicht in Betracht.

Der mittlere Tidehub beträgt bei Tonne 5 2,90 m und nimmt bis Hamburg ab auf 2,40 m. Das Thw tritt bei Tonne 5 um $4\frac{3}{4}$ Stunden früher ein als in Hamburg-Seemannshöft, d. h. die Tidewelle hat auf dieser Strecke eine durchschnittliche Fortschrittsgeschwindigkeit von 13,4 sm/Std. Im äußeren Bereich ist diese Fortschrittsgeschwindigkeit größer, im inneren Bereich kleiner als der genannte Durchschnittswert. Ein Großschiff braucht mit der durchschnittlichen Geschwindigkeit über Grund von 11 sm/Std. für die Revierstrecke ab Tonne 5 $5\frac{3}{4}$ Stunden. Wenn es eine Stunde vor Hochwasser den Hafen erreichen soll, was im allgemeinen notwendig ist, muß es demnach zwei Stunden vor Hochwasser die Tonne 5 passieren, wo dann der Wasserstand erst 2,45 m über Tnw beträgt, also 0,45 m weniger als der volle Tidehub. In Hamburg ist der Tidehub eine Stunde vor Thw erst 2,20 m, 0,20 m weniger als der volle Tidehub. Der obere Teil der Revierstrecke oberhalb Glückstadt liegt bereits im Südwasserbereich, so daß die Keel-Clearance, bezogen auf den Seewassertiefgang von 10 % im Seebereich zunehmend auf 12 % in Hamburg anzusetzen ist.

Das Fahrwasser ist in mehreren Ausbaustufen verbessert worden, vertieft und verbreitert. Die letzte durchgeführte Ausbaustufe hatte eine Mindestwassertiefe bei Tnw von See bis Hamburg 11,0 m als Ziel. Gegenwärtig ist der Ausbau auf 12,0 m bei Tnw im Gange. Die Fahrwassersohlenbreite wird im oberen Bereich mindestens 200 m, streckenweise 250 bis 300 m, im unteren Bereich 400 m betragen. Dabei werden auf der oberen Strecke in Fahrwasserkrümmungen mit dem Radius von weniger als 2 000 m Erweiterungen vorgesehen. Im Jahre 1968 kann mit einer Mindestwassertiefe von 11,30 m bei Tnw gerechnet werden. Unter Berücksichtigung der genannten Bedingungen können Schiffe von 39' = 11,89 m Seewassertiefgang den Hamburger Hafen erreichen.

Günstiger sind die Verhältnisse für den Elbehafen Brunsbüttelkoog; da das für diesen Platz bestimmte Großschiff sich enger dem Tidescheitel anpassen kann, die Wassertiefen in der unteren Strecke schon etwas größer sind als weiter oben und da die Dichteverhältnisse nur einen geringen Einfluß auf die Tauchtiefe haben, können jetzt bereits Schiffe von 42' = 12,80 m Seewassertiefgang bis zum Elbehafen Brunsbüttelkoog gelangen. Für den Nord-Ostsee-Kanal ist dies allerdings ohne Bedeutung, da dieser nur von Schiffen mit Tiefgängen bis 9,5 m durchfahren werden kann.

Nach der Durchführung des 12-m-Ausbaus — etwa Ende 1970 — werden Tiefgänge bis 41'6" = 12,65 m bis Hamburg und Tiefgänge bis 44' = 13,40 m bis Brunsbüttelkoog möglich sein. Da der Tidehub von See bis Hamburg abnimmt, da außerdem die Dichteverhältnisse in der oberen Strecke ein tieferes Einsinken des Schiffes bewirken, ist es angezeigt, in der oberen Strecke etwas größere Wassertiefen zu haben als im unteren Bereich, d. h. gleichwertige Wassertiefen für die ganze Revierstrecke anzustreben. Dies wäre der Fall, wenn bei einer Wassertiefe von 12,0 m unter SKN im äußeren Bereich ab Tonne 5 die Tiefe im oberen Bereich zunimmt auf 12,50 m bei Tnw in Hamburg. Dieser Feinausbau,

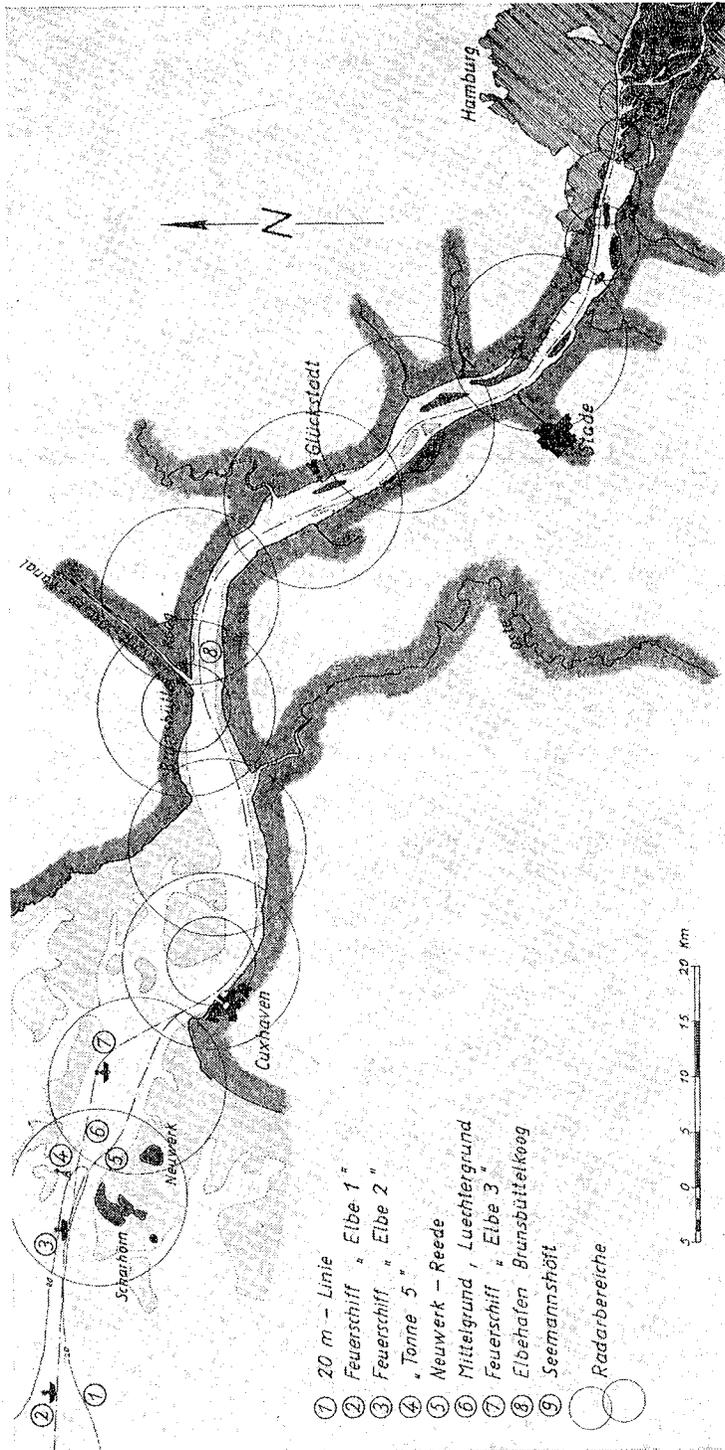


Bild 3
Lageplan der Elbe von See bis Hamburg

das dem jetzigen folgende Ausbauziel, wird dann Tiefgänge von 43' = 13,10 m bis Hamburg ermöglichen. Die Erfahrungen nach Durchführung dieser Ausbaumaßnahmen werden die Entscheidung ermöglichen, ob noch weitere Ausbaustufen in Angriff genommen werden sollen.

Bisher wurde vorausgesetzt, daß das Schiff die verhältnismäßig lange Revierfahrt von See bis Hamburg mit vollem Tiefgang und ohne Unterbrechung durchführt. Es wird zu prüfen sein, ob eine Zwischenreede, ein Anker- oder ein Anlegeplatz etwa auf halber Strecke, noch Vorteile brächte für eine Erhöhung der Sicherheit der Revierfahrt und durch eine engere Anpassung an den Tidescheitel und damit ggf. eine Vergrößerung des Tiefganges bei Aufteilung der Revierfahrt auf zwei Tiden. Demgegenüber sind jedoch die nicht unerheblichen Schwierigkeiten zu berücksichtigen, die bei den nautischen Manövern des Großschiffes in den engen Verhältnissen bei der Zwischenreede auftreten.

Andererseits sind mit einer Zwischenreede im Außenbereich bereits gute Erfahrungen gemacht worden. In der Außenelbe, unterhalb Tonne 5, wurden auf einer Reede bei der Insel Neuwerk eine größere Zahl von Tankern mit im Durchschnitt 46'6" Tiefgang und 85 000 t Ladung, insgesamt 38 Schiffe, um je rd. 30 000 t geleichtert. Dabei ging das Großschiff zu Anker, ein oder gleichzeitig zwei T2-Tanker gingen längsseit, die Ladung wurde Übergepumpt. Es sind hierbei keinerlei Schwierigkeiten eingetreten. Längsseit- und Anlegemanöver konnten bis Windstärke 6 durchgeführt werden. Es besteht kein Zweifel, daß hier Leichterungen auch von Tankern wesentlich größerer Tragfähigkeit möglich wären.

Es sind auch Untersuchungen durchgeführt worden über die Möglichkeit des Baus eines Vorhafens für große Schiffe im Raum der Inseln Neuwerk und Scharhörn. Diese Untersuchungen hatten ein positives Ergebnis; eine Entscheidung über den Bau dieses Hafens ist noch nicht getroffen.

Schließlich sei noch mitgeteilt, daß mehrere Schiffe von 320 m Länge, Ladefähigkeit rd. 200 000 tdw, in Ballastfahrt die Elbe bis Hamburg befahren haben, obwohl die im Rahmen des 12-m-Ausbaus vorgesehenen Fahrwasserbreiten und Kurvenerweiterungen noch nicht hergestellt sind. Es unterliegt keinem Zweifel, daß 200 000-t-Tanker mit einer Teilladung von 100 000 bis 120 000 t später Hamburg werden erreichen können.

IV. Verhalten großer Schiffe in flachen Gewässern

1. Allgemeiner Überblick

Wie in den vorhergehenden Abschnitten schon hervorgehoben wurde, kommt unter den die Zufahrt zu Häfen wesentlich beeinflussenden Faktoren dem Verhalten eines großen Schiffes bei der Fahrt in Gewässern, die im Verhältnis zu seinem Tiefgang flach und ggf. auch zu seiner Querschnittsfläche eng sind, eine besondere Bedeutung zu. Über dieses Problem eine hinreichend sichere Kenntnis zu gewinnen, wurde in jüngerer Zeit in dem Maße dringender, in dem die Entwicklung der Größe und damit des Tiefganges dieser Großschiffe einen stürmischen Verlauf nahm (Bild 4).

In der Versuchsanstalt für Wasserbau und Schiffbau in Berlin (VWS) wurde daher eine Versuchsreihe unternommen mit dem Ziel, allgemein verwertbare Unterlagen dem Wasser- und Hafengebauer für seine Zwecke zur Verfügung zu stellen. Es ist zwar schon in der Literatur gelegentlich über Ergebnisse angestellter Untersuchungen berichtet worden, doch handelte es sich zumeist um spezielle Einzelfälle, deren Probleme mit Modellversuchen oder Versuchen mit Großausführungen zu lösen versucht wurde.

Die in der VWS vorgenommenen Modellversuche, über deren Ergebnisse nur auszugsweise in gedrängter Form berichtet werden kann, erstreckten sich auf zwei der heute gängigen Tanker- und Bulkcarriergrößen mit den in der Tabelle angegebenen Abmessungen. Sie wurden bei verschiedenen Wassertiefen untersucht, wobei die kleinste Wassertiefe den vielerorts als praktischen Grenzfall angesehenen Zustand erfaßte. Neben der Ermittlung des Leistungsbedarfs wurde ein besonderes Augenmerk den in Fahrt eintretenden Absenkungen gewidmet. Da es denkbar war, daß diese Absenkungen von dem heute üblicherweise angeordneten, den Vorsteven überragenden völligen Bugwulst beeinflusst werden, sind die Modelle mit und ohne Bugwulst gefahren worden.

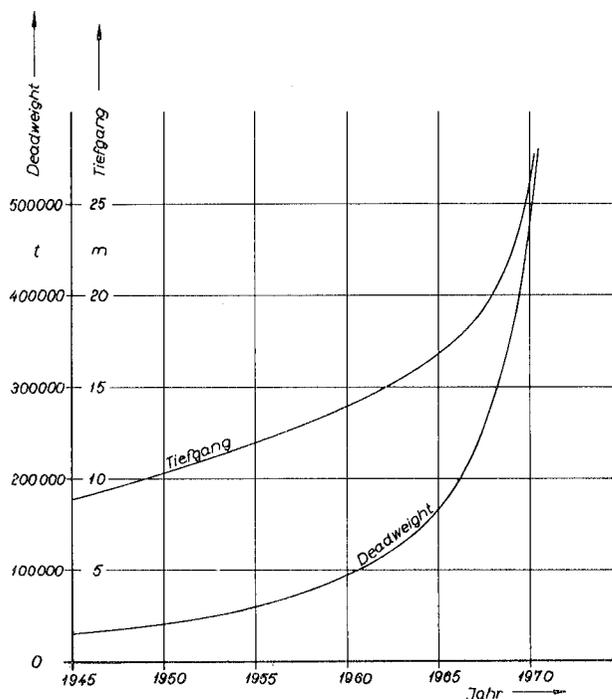


Bild 4
Entwicklung der Größe und des Tiefganges von Tankern

Hauptabmessungen der untersuchten Typen

LWL	209 m	313,5 m
L _{PP}	204 m	306 m
B	31 m	46,5 m
T	11,85 m	17,8 m
Δ	62 000 t	210 000 t
δ_{PP}	0,825	0,83
D	6,4 m	9,3 m
P _D	ca. 17 000 PS	30 000 PS
n	ca. 130 /min	80 /min
v	17 kn	17 kn

2. Veränderung der Strömungsverhältnisse bei Fahrt auf flachem Wasser

Um ein in tiefem Wasser fahrendes Schiff bildet sich entsprechend den aus der dreidimensionalen Potentialströmung um den Schiffskörper ableitbaren Druckänderungen eine Niveaustörung der Oberfläche aus, die das primäre Wellensystem erzeugt, das mit der Schiffsgeschwindigkeit fortschreitet und dessen Wellenlänge nach der allgemein angewendeten Theorie der Trochoiden-Welle zur Schiffsgeschwindigkeit in einem festen Verhältnis steht,

$$v = c = \sqrt{\frac{g \cdot \lambda}{2 \pi}}$$

mit der Wellenfortschrittsgeschwindigkeit c und der Wellenlänge λ . Im flachen Wasser erfolgt die Orbitalbewegung der Wasserteilchen nicht mehr auf angenäherten Kreisbahnen, sondern wird zunehmend elliptisch. In die Beziehung zwischen Schiffsgeschwindigkeit bzw. gekoppelter Wellenfortschrittsgeschwindigkeit und Wellenlänge geht nun auch die Wassertiefe h_0 ein,

$$v = c = \sqrt{\frac{g \cdot \lambda}{2 \pi} \cdot \tanh \frac{2 \pi \cdot h_0}{\lambda}}$$

Nach der Schlichtingschen Hypothese ist der Wellenwiderstand im flachen Wasser in erster Näherung abhängig von der Wellenlänge des sekundären Wellensystems. Gleiche Wellenlänge und damit auch gleicher Wellenwiderstand führen zu einem Verhältnis der Geschwindigkeiten im flachen und tiefen Wasser von

$$\frac{v_h}{v_\omega} = \sqrt{\tanh \frac{2 \pi \cdot h_0}{\lambda}} = \sqrt{\tanh \frac{g \cdot h_0}{v_\omega^2}}$$

Die von Schuster [5] mitgeteilte Auswertung dieser impliziten Gleichung ergibt mit kleiner werdender Wassertiefe ein ebenfalls abnehmendes Verhältnis der korrespondierenden Geschwindigkeiten, bis bei Erreichen der Stauwellengeschwindigkeit $c = \sqrt{g \cdot h_0}$ die theoretische Grenze erreicht ist.

Neben dieser Beeinflussung des Wellenwiderstandes tritt dadurch, daß die beschränkte Wassertiefe die dreidimensionale Umströmung des Schiffes stört und sie in einen mehr zweidimensionalen Zustand mit höheren Strömungsgeschwindigkeiten übergeht, auch ein Ansteigen des Reibungswiderstandes ein. Haupteinflußgrößen hierfür sind die Hauptspantfläche des Schiffes und die Wassertiefe. Während für den Wellenwiderstand die Wassertiefe allein maßgebend ist, tritt beim Reibungswiderstand noch mit der Hauptspantfläche eine schiffsform-abhängige Größe hinzu, die besonders bei völligen Schiffen mit einem von der Wassertiefe nur wenig verschiedenen Tiefgang überwiegende Bedeutung gewinnt.

3. Auswirkungen auf Antriebsleistung, Trimm und Tauchung

Aus den getrennt ermittelbaren Einflüssen auf Wellen- und Reibungswiderstand ergibt sich der im flachen Wasser starke Anstieg des Leistungsbedarfes, den als Beispiel Bild 5 mit den für das 62 000-t-Schiff bei verschiedenen Wassertiefen ermittelten Werten zeigt. Die erreichbare Geschwindigkeit sinkt von rd. 17 kn im tiefen Wasser auf 12 kn bei einer den Tiefgang um 10 % übersteigenden Wassertiefe, wobei noch hervorgehoben werden muß, daß die Antriebsanlage nun auch nicht mehr ihre volle Nennleistung abgeben kann, da der Propeller wegen des erforderlichen höheren Schubes und des im flachen Wasser merklich ansteigenden Mitstroms stärker belastet ist und ein entsprechend höheres Drehmoment erfordern würde, was ein Dieselmotor z. B. nicht aufzubringen in der Lage wäre.

Für den hierauf zurückzuführenden Abfall der zur Verfügung stehenden Leistung gibt die eingezeichnete Kurve der Grenzleistung einen Anhalt. Bei der zunehmenden Steilheit der Leistungskurven erscheint es zudem unzweckmäßig, die Leistung voll auszufahren, da der Geschwindigkeitsgewinn sehr gering ist. In diesem Fall betrüge der Geschwindigkeitsgewinn bei einer Leistungssteigerung um 50% von 9 000 auf 13 000 PS nur etwa 1 kn.

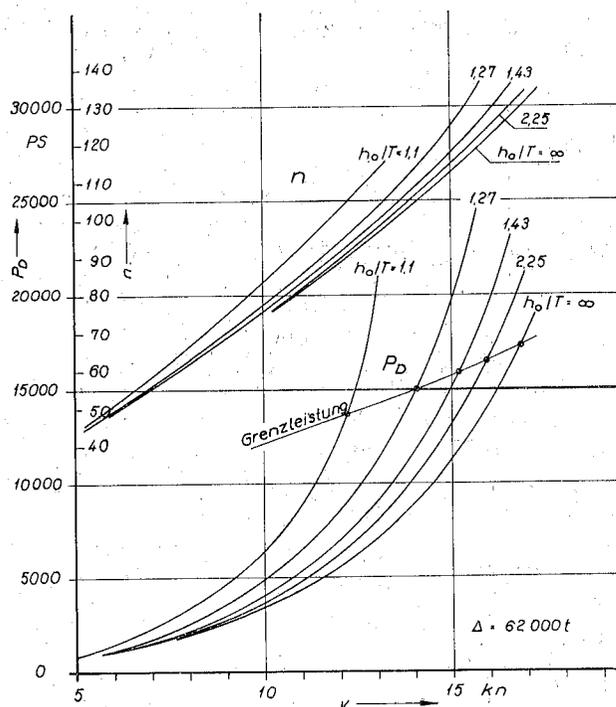


Bild 5
Zunahme der Antriebsleistung im flachen Wasser

Die aus der Potentialströmung um den Schiffskörper herrührenden Druckänderungen haben, wie oben erwähnt, eine Niveaustörung der Oberfläche zur Folge, in die das Schiff entsprechend dem zu tragenden Verdrängungsgewicht einsinkt. Neben einer Tiefer-tauchung ist damit auch eine Vertrimmung verbunden, die in den für normale Schiffe in Frage kommenden Geschwindigkeitsbereichen vorlastig ist. Sekundäre Einflüsse für die Erscheinung sind die Wirkung des arbeitenden Propellers und die auf der Orbitalbewegung der Wasserteilchen beruhende scheinbare Auftriebsverminderung des Wassers in den sich bildenden Wellen, der sog. Smith-Effekt. Tiefer-tauchung und Vertrimmung sind abhängig von der Geschwindigkeit und nehmen allgemein mit ihr zu.

Bei einer Beschränkung der Wassertiefe und den auf einen kontinuierlichen Übergang zum zweidimensionalen Strömungszustand beruhenden erhöhten Strömungsgeschwindigkeiten bilden sich stärkere Niveaustörungen aus und es treten damit größere Tiefer-tauchungen und Vertrimmungen ein. Es ließe sich, da die Oberflächenstörung seitlich ab-klingt, vermutlich eine fiktive Breite ansetzen, innerhalb deren man unter Annahme einer

seitlichen Abklingfunktion über die Bernoullische- und die Kontinuitätsgleichung die Niveaustörung am Schiff und die daraus folgende Tauchungs- und Trimmänderung errechnen könnte. Es fehlt hierzu aber noch an zuverlässigen Unterlagen. Das Ergebnis der vorgenommenen Messungen für beide Schiffstypen, jeweils mit und ohne Bugwulst

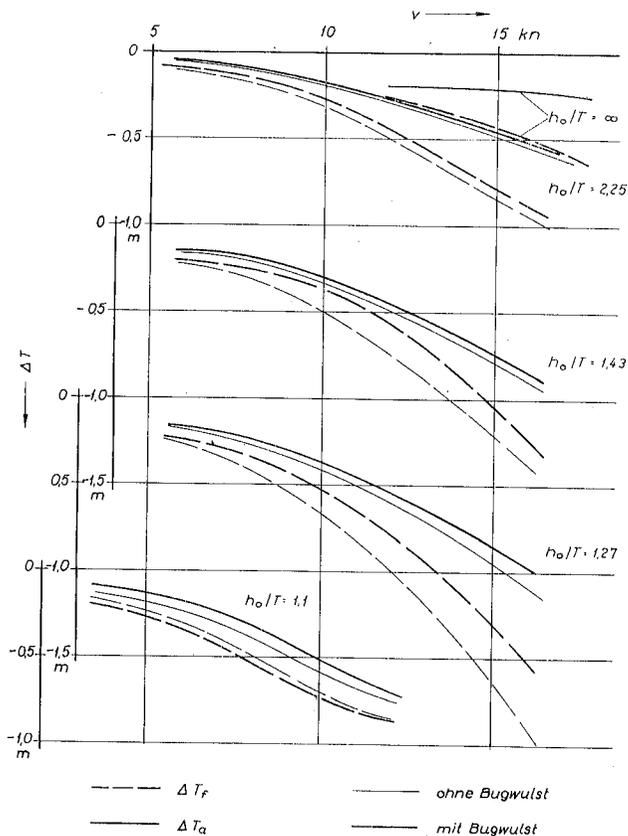


Bild 6
Eintauchungen am vorderen und hinteren Lot für einen Tanker mit 62 000 t Verdrängung

ist in den Bildern 6 und 7 wiedergegeben. Das Schiff ohne Bugwulst zeigt dabei zunächst mit flacher werdendem Wasser eine größere Vertrimmung und größere Eintauchung. In extrem flachem Wasser liegt die Vertrimmung jedoch bei etwa gleicher mittlerer Eintauchung etwas günstiger, doch sind die Unterschiede praktisch vernachlässigbar klein. Dieser Trimmunterschied dürfte auf die durch die Wirkung des Bugwulstes gegenüber dem Schiff ohne Bugwulst verminderte Bugwelle und durch Spiegelungswirkung am Boden verstärkte Unterdrücke zurückzuführen sein, während in nur mäßig flachem Wasser das Bugwulstwellensystem die primäre Wellenbildung am Schiff, besonders im Bereich der vorderen Schulter, beeinflusst und so auf Trimm und Tauchung vermindern wirkt. Von der Schiffsform her läßt sich danach im Rahmen des möglichen Spielraumes kein ins Gewicht fallender Einfluß auf die Tauchungsänderungen im sehr flachen Wasser nehmen.

Hervorgehoben zu werden verdient die Feststellung, daß bei gleicher Geschwindigkeit die absoluten Werte der Absenkungen auch bei Schiffen stark unterschiedlicher Größe annähernd gleich bleiben. Dies ist damit zu erklären, daß das große Schiff relativ langsamer und mit entsprechend geringerer Wellenbildung fährt. Bei gleichen relativen Geschwindigkeiten, die durch die Froudesche Tiefenzahl ausgedrückt werden, sind die

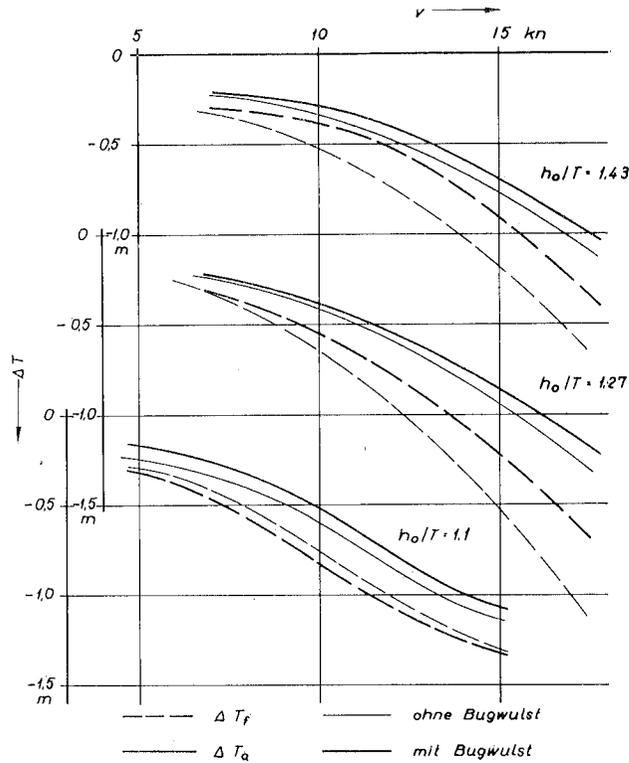


Bild 7

Eintauchungen am vorderen und hinteren Lot für einen Tanker mit 210 000 t Verdrängung

relativen Tauchungen dagegen gleich (s. Bild 8). Im ganzen ergibt sich über der Wassertiefe kein zunehmender Verlauf der Tauchungen, wie man aus dem Verhalten beim Übergang in flacheres Wasser schließen könnte. Im extrem flachen Wasser kann sich unter dem Schiffsboden nur eine sehr geringe Strömungsgeschwindigkeit mit entsprechend höherem Druck ausbilden. Daneben sorgt die Propellerwirkung für höhere Übergeschwindigkeiten am Heck, was die vorlastige Vertrimmung verkleinert. Der verbleibende vorlastige Trimm ist so gering, daß es nicht lohnt, zu seinem Ausgleich dem Schiff eine Vorvertrimmung zu geben, um damit sein Fahrverhalten zu verbessern. Wenn bei gleichlastigem Trimm auch kaum die Gefahr besteht, daß bei einer Grundberührung Propeller oder Ruder beschädigt werden, so ist doch bei leicht vorlastigem Trimm eine Berührung am Bug als risikoloser anzusehen. Im Fall des mäßig flachen Wassers, in dem die vorlastige Vertrimmung in Fahrt größer ausfällt, besteht genügend Sicherheit, womit auch hier keine Notwendigkeit zur achterlastigen Vorvertrimmung vorliegt.

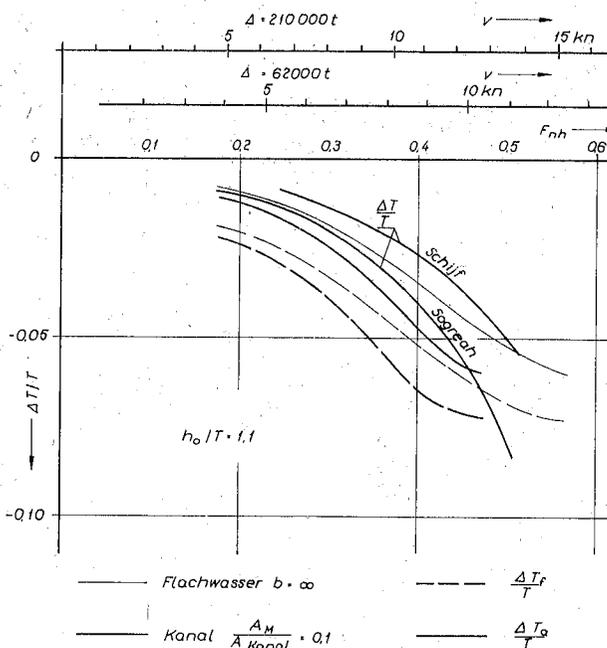


Bild 8
Eintauchungen bei Fahrt im flachen Wasser und im Kanal

4. Verhalten bei Kanalfahrt

Kommt zu der Tiefenbeschränkung noch eine der Breiten hinzu, wird die Niveauabsenkung allgemein nach dem Kreitnerschen Ansatz ermittelt, wobei allerdings eine parallele Spiegelabsenkung neben dem Schiff angenommen wird. Schijf [4] setzt diese Spiegelabsenkung gleich der Tiefertauchung des Schiffes. Das kann allenfalls nur angenähert gelten, da die Wellenbildung am Schiff unberücksichtigt bleibt und auch die Annahme paralleler Absenkung, also über den Querschnitt konstanter Strömungsgeschwindigkeit, wie Schuster [5] feststellte, erst in relativ engen Kanälen erfüllt wird. Daneben ist eine eventuelle Vertrimmung vernachlässigt. Tatsächlich zeigen auch die in der VWS gewonnenen Ergebnisse eine größere Eintauchung, als sie sich nach diesem vereinfachten Ansatz ergeben müßte. Auch die nach dem von Hay [7] mitgeteilten graphischen Verfahren der Sogreah bestimmten Werte liegen im unteren Geschwindigkeitsbereich vergleichsweise niedrig (s. Bild 5), geben aber für die Kanalfahrt bei praktisch in Frage kommenden Geschwindigkeiten einen guten Anhalt.

In der Kanalfahrt ist jedoch noch mit weiteren Einflüssen zu rechnen, die zu einer Vergrößerung von Vertrimmung und Tiefertauchung führen. Sie treten auf, wenn das Schiff nicht in Kanalmitte fährt und wenn sich zwei Schiffe vergleichbarer Größe begegnen. Die unsymmetrische Lage des Schiffes im Kanal zieht auch eine Unsymmetrie der Umströmung nach sich. Daneben wird im Fall der Begegnung der Kanalquerschnitt durch den zweiten Schiffskörper weiter verengt, woraus schon bei Ansetzen der Bernoullischen und der Kontinuitätsgleichung ein weiteres Absenken des Wasserspiegels folgt. Die von Hay angeführten Ergebnisse des David Taylor Model Basin zeigen allein bei exzentrischer Kanalfahrt einen Zuwachs bis zu 50%, zu dem dann noch der Einfluß des begegnenden Schiffes hinzukommt, so daß durchaus eine Verdopplung der ursprünglichen

Werte des allein in Kanalmitte fahrenden Schiffes eintreten kann. Hier scheint für das Fahren im sehr flachen Wasser mit begrenztem Querschnitt die größte Gefahrenquelle für Grundberührungen vorzuliegen. Es ist jedoch zu berücksichtigen, daß der Begegnungsvorgang im wesentlichen instationär verläuft und daß die aus der Unsymmetrie der Strömung herrührenden Querkräfte das Kursverhalten der Schiffe beeinflussen und die damit verbundenen Schwierigkeiten beim Steuern auch im praktischen Betrieb zu einer Fahrtverminderung zwingen, die geschwindigkeitsabhängigen Eintauchungen also vermindert werden und die Gefahr einer Grundberührung zumindest nicht größer wird.

5. Manövrierverhalten

In bezug auf das Manövrierverhalten ergeben sich im flachen Wasser und im Kanal kaum Schwierigkeiten. Die für eine Anlaufgeschwindigkeit von 11 kn gemessenen Stoppweglängen und Stoppzeiten zeigten eine stetige Abnahme mit flacher werdendem Wasser. Es wurde jeweils auf voll zurück umgesteuert. Bild 9 gibt dieses Verhalten für den 62 000-t-Typ wieder. Hier wirkt sich der im flachen Wasser größere Schiffswiderstand günstig aus. Daneben ist zu berücksichtigen, daß der Propeller bei Vorausfahrt bei kleinerer Wassertiefe in einem zunehmend größer werdenden Mitstrom arbeitet — für die kleinste Wassertiefe beträgt die ermittelte Mitstromziffer immerhin rd. 80 % — womit die Verhältnisse beim Umsteuern günstiger werden und ein größerer Schub aufgebracht werden kann.

Der allmähliche Übergang zu einem zweidimensionalen Strömungszustand schafft auch für die Steuerfähigkeit bessere Bedingungen. Die mit gleichem Deviationswinkel erzeug-

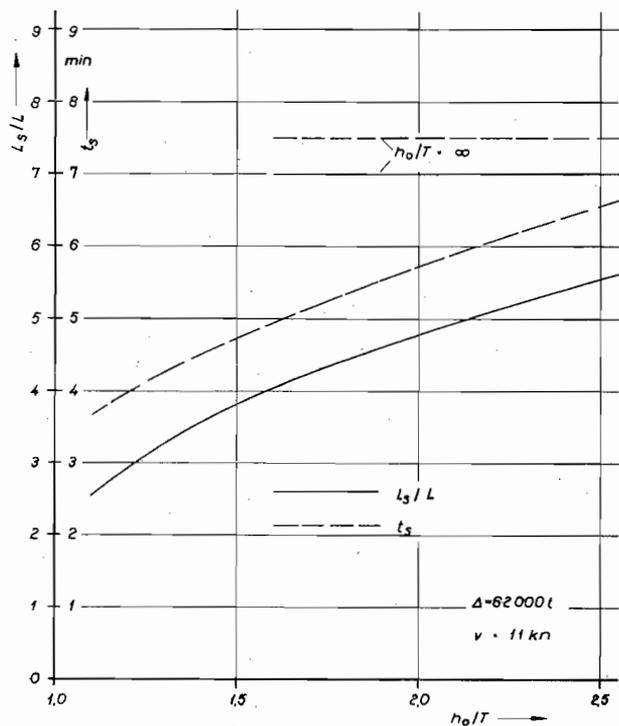


Bild 9
Stoppweglängen und Stoppzeiten

baren Querkräfte werden, wenn keine zusätzlichen äußeren Störeinflüsse, wie z. B. Kanalböschungen oder Begegnen, hinzukommen, größer. Obwohl die Steuerfähigkeit nicht beeinträchtigt ist, muß doch darauf hingewiesen werden, daß beim Begegnen das Kurshalten wegen der zeitlich sich ändernden und in ihrer Größe im voraus kaum abschätzbaren Querkräfte aus der gegenseitigen Beeinflussung der Begegnen bedeutend erschwert ist und großes Geschick erfordert.

Bei nicht arbeitendem Propeller ist das Schiff wegen des hohen Mitstromes und der dadurch sehr geringen Anströmgeschwindigkeit des Ruders praktisch steuerlos und kaum auf Kurs zu halten, da die erzeugbaren Ruderkräfte nicht mehr ausreichen, auf das Schiff ein genügend großes Rückdrehmoment aufzubringen. Im praktischen Betrieb wird es daher notwendig, rechtzeitig vor möglichen Gefahrensituationen mit der Fahrt herunterzugehen und später mit dem Propeller die Ruderwirkung zu erhöhen, zumal die Beschleunigungswirkung des Propellers bei der großen Massenträgheit des Schiffes erst langsam zu einer Geschwindigkeitserhöhung führt.

6. Beeinflussung der Fahrwassersohle durch den Propeller

Bei Schiffen, die in einer den Tiefgang nur wenig übersteigenden Wassertiefe fahren, arbeitet der Propeller sehr dicht über der Sohle. Hier kommt es zu einem Angriff der Sohle durch den Propellerstrahl, über dessen Auswirkungen es wichtig erscheint, sich einen Überblick zu verschaffen. In der VWS angestellte Untersuchungen über die Verhältnisse auf Binnenwasserstraßen lassen sich zwar wegen der Verschiedenheit der Geschiebe nicht ohne weiteres auf andere Reviere übertragen, erlauben aber doch einige Schlüsse. Naturgemäß sind Abstand des Propellerkreises vom Boden und sein

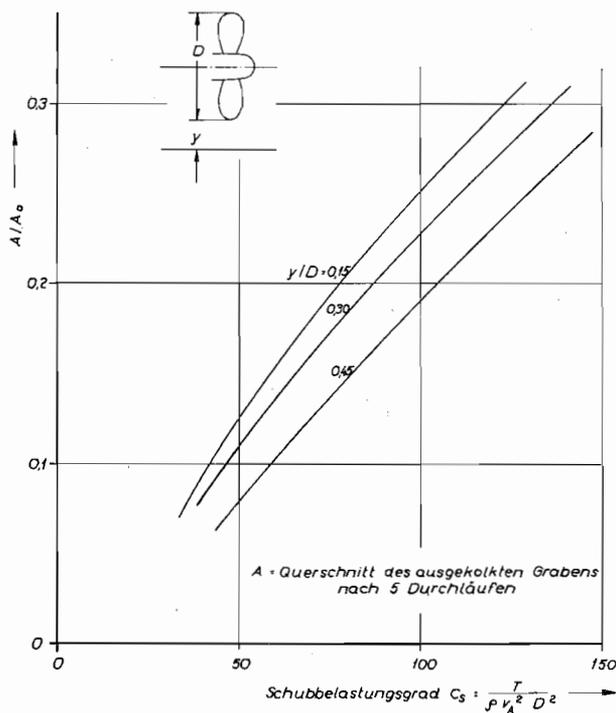


Bild 10
Beschädigung der Sohle durch arbeitende Propeller

Schubbelastungsgrad wesentliche Einflußgrößen. Den Zusammenhang dieser Größen mit dem nach fünf Durchläufen ausgespülten Grabenquerschnitt im stromlosen Wasser zeigt Bild 10. In strömendem Wasser wird die kritische Sohlschubspannung eher überschritten und die Kurven verschoben sich zu kleineren Schubbelastungsgraden. Einige nicht systematische Versuche mit Geschiebe kleineren Korndurchmessers, wie es in verschiedenen deutschen Seewasserstraßen anzutreffen ist, gaben den Hinweis, daß dort der ausgekolkte Grabenquerschnitt wesentlich größer ist. In dem für die Tankerfahrt auf flachem Wasser in Betracht kommenden Bereich der Schubbelastungsgrade entspricht er nach fünf Durchläufen fast der Propellerquerschnittsfläche. Interessant ist es nun, die Auswirkungen zu überdenken. In Gebieten mit überlagerter Grundströmung, wie dies in Flußmündungen der Fall ist, wird der vom Propellerstrahl, besonders bei feinerem Geschiebe oder Schlick, aufgewirbelte Boden nur zu einem Teil sich wieder in der gebaggerten Fahrrinne ablagern. Wesentliche Anteile werden von der Strömung in danebenliegende Gebiete getragen, bevor sie absinken. Es tritt also der etwas kuriose Fall ein, daß ein Schiff selbst an der Erhaltung oder Vertiefung der Wasserstraße beteiligt ist. In Konsequenz weitergedacht, könnte eine Vorgabe der einzuhaltenden Bahn innerhalb der Fahrrinne die Unterhaltskosten einer Wasserstraße durch Baggerungen merklich verringern. Tatsächlich bestätigen auch vorliegende Erfahrungen einen Rückgang der notwendigen Baggerarbeiten, wenn viele große Schiffe die Wasserstraße befahren haben.

7. Praktische Folgerungen

Die aus den Modellversuchen erhaltenen Ergebnisse lassen sich nun mit hinreichender Genauigkeit verallgemeinern und auf die verschiedenen deutschen Seeschiffahrtstraßen anwenden. Hierzu berechtigt die Tatsache, daß die als Grenzschiffe anzusehenden Schiffe meist Tanker oder Bulkcarrier sein werden, die von ihren Formparametern her wie Völligkeitsgrad, Verhältnis Länge zu Breite und Breite zu Tiefgang untereinander sehr ähnlich sind und insofern auch ein ähnliches Verhalten zeigen werden. Andererseits ergibt sich aus den im Abschnitt III gemachten Angaben über die zur Verfügung stehenden Wassertiefen, daß der mögliche Spielraum der Schiffsgrößen in den einzelnen Revieren noch verhältnismäßig eng ist und damit die für ein 62 000-t-Schiff ermittelten relativen Werte in dem in Frage kommenden Bereich der Schiffsgrößen gelten können.

Zur praktischen Anwendung wurde das Diagramm Bild 11 zusammengestellt, das über dem Verhältnis Wassertiefe zu Tiefgang den nach Eintauchung und Vertrimmung in Fahrt am tiefsten Punkt des Schiffes verbleibenden und auf die Wassertiefe bezogenen Restabstand zum Boden, die relative Keel-Clearance in Fahrt

$$k = 1 - \frac{T + \Delta T}{h_0} ,$$

mit der Geschwindigkeit als Parameter zeigt. Es erschien ausreichend, die Werte der Fahrt auf seitlich unbeschränktem Wasser heranzuziehen, da in den in Betracht kommenden Revieren neben den gebaggerten Fahrrienen weniger tiefe, aber doch so breite Wasserflächen liegen, daß mit einem Kanaleinfluß nur in sehr geringem Maße zu rechnen ist. Für die Revierfahrt wurde allgemein eine Geschwindigkeit von 11 kn über Grund angenommen. Die erforderlichen Geschwindigkeiten durch das Wasser liegen, da mit einer auflaufenden Strömung bis zu 2 sm/h zu rechnen ist, zwischen 9 und 11 kn. Beide Geschwindigkeitsgrenzen sind im Diagramm hervorgehoben. Auch bei den kleinsten untersuchten Wassertiefen verbleiben dann noch rd. 30 bzw. 50 % der Keel-Clearance in Ruhe, die als Sicherheit für Ungenauigkeiten im Peilplan und in der Vorhersage des Tideverlaufs angesetzt werden können.

Diese Ungenauigkeiten sind unabhängig von Schiffsgröße oder Typ und wurden zusammen mit 0,3 m angegeben. Mit diesem absoluten und gleichbleibenden Sicherheitszuschlag werden die Verhältnisse günstiger mit steigender Schiffsgröße. Trotzdem ist das verbleibende Restwasserpolster unter dem tiefsten Punkt des Schiffes sehr gering und würde je nach Geschwindigkeit für den 62 000-t-Typ zwischen 9 und 28 cm liegen. Eine notwendige Voraussetzung für einen so geringen Bodenabstand ist ein weicher

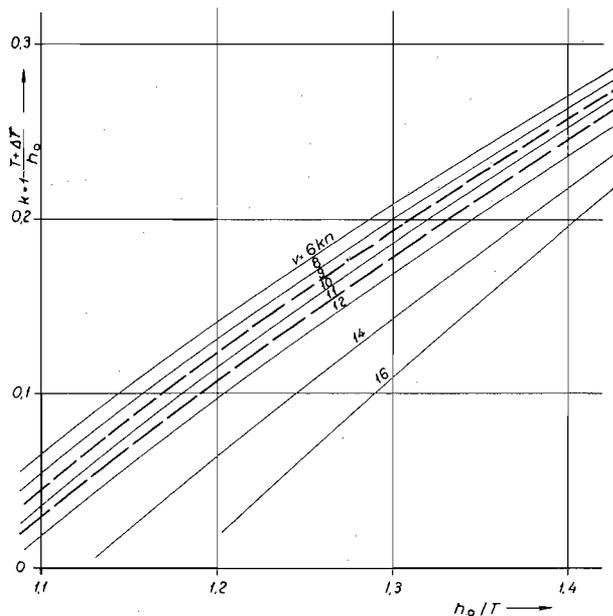


Bild 11
Relative Keel-Clearance in Fahrt

Boden, der eine etwaige Grundberührung nicht zu einer Gefahr für das Schiff werden läßt. Der weiche Schlick- oder Sandgrund in den deutschen Seeschiffahrtstraßen erfüllt diese Voraussetzung, so daß hier tatsächlich bis an die unterste Grenze gegangen werden kann, zumal auch als weiterer Einfluß Seegang ausscheidet, der in diesen Revieren nicht in der Stärke zu erwarten ist, daß er bei den betrachteten großen Schiffen zu merklichen Bewegungen führt. Eine Keel-Clearance in Ruhe von 10 % des Tiefgangs ist damit auch nach den Modellversuchen ein zulässiges Maß. Der eventuelle Übergang von Salz- in Frischwasser ist allerdings zusätzlich zu berücksichtigen.

Werden im Zuge des weiteren Ausbaus der Wasserstraßen größere Tiefgänge ermöglicht, kann, da die Geschwindigkeiten und Sicherheitszuschläge in absoluter Höhe gleichbleiben, diese Schiffe sich aber relativ günstiger verhalten, durchaus daran gedacht werden, das Maß der Keel-Clearance in Ruhe noch unter 10 % zu legen.

Literatur

- [1] Memmen, E., Kapitän;
Schiffswege zu den Haupthäfen Nordeuropas
Oel — Zeitschrift für die Mineralölwirtschaft
Juli 1967
- [2] Petersen, Henry, Kapitän;
Über das Verhalten von großen Schiffen auf flachem Wasser in Kanälen und Revieren
„Die Kommandobrücke“, Januar 1967, S. 2—3
- [3] Wetzels, Günter, Dipl.-Ing.;
Schiffsgröße und Tiefgang auf der Elbe
Hansa 1967, S. 666—670
- [4] Schiff, M.I.B. Section 1, Communication 2,
XVII Congress, Permanent International Association of Navigation Congresses, 1949,
und Section 1, Communication 1, XVIII Congress
- [5] Schuster, S., Dr.-Ing.;
Untersuchungen über Strömungs- und Widerstandsverhältnisse bei der Fahrt von
Schiffen in beschränktem Wasser
Jahrbuch der Schiffbautechnischen Gesellschaft, 46. Band 1952, S. 244—280
- [6] Dickson, A.F., Captain;
Die „Underkeel-Clearance“
Hansa 1968, S. 493—498
- [7] Hay, Duncan;
Harbour Entrances, Channels and Turning Basins
The Dock and Harbour Authority 1968, S. 269—276