

HENRY

Hydraulic Engineering Repository

Ein Service der Bundesanstalt für Wasserbau

Conference Paper, Published Version

Förster, Kurt; Maasch, Otto; Strauch, Theodor; Träger, Günther
Einfluß des Eises auf den Binnenwasserstraßen und in den
Binnen- und Seehäfen - Abwehrmaßnahmen

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/20.500.11970/104736>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

Förster, Kurt; Maasch, Otto; Strauch, Theodor; Träger, Günther (1957): Einfluß des Eises auf den Binnenwasserstraßen und in den Binnen- und Seehäfen - Abwehrmaßnahmen. In: PIANC Deutschland (Hg.): Deutsche Beiträge. 19. Internationaler Schifffahrtskongreß; London, Großbritannien, 1957. Bonn: PIANC Deutschland. S. 132-162.

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 I — Binnenschifffahrt

Mitteilung 3

(gemeinsam für Abteilung I und II)

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

Von Dr.-Ing. Theodor **S t r a u c h**, Oberregierungsbaurat, Vorstand des Wasser- und Schifffahrtsamtes Minden-Weser,

Günther **T r ä g e r**, Oberbaurat, Vorstand des Wasserwirtschaftsamtes Bremen,
Otto **M a a s c h**, Oberbaurat bei der Behörde für Wirtschaft und Verkehr, Strom- und Hafenaufbau, Hamburg,

Dr.-Ing. Kurt **F ö r s t e r**, Oberbaurat bei der Behörde für Wirtschaft und Verkehr, Strom- und Hafenaufbau, Hamburg.

Zusammenfassung:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

		Seite
Gliederung:	I. Allgemeine theoretische Grundlagen der Eisbildung . . .	134
	II. Das Eis und seine Abwehr in Binnenwasserstraßen und Binnenhäfen	137
	1 Freie Ströme	137
	2 Kanalisierte Flüsse	141
	3 Binnenhäfen	144
	III. Das Eis und seine Abwehr in Seewasserstraßen und Seehäfen	146

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

I. Allgemeine und theoretische Grundlagen der Eisbildung

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

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

Oberflächeneis

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

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

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

ergeben, daß der Wärmeabfall zwischen $+ 0,1^{\circ}\text{C}$ und 0°C langsamer als $0,01^{\circ}\text{C}$ je Stunde betragen muß, damit Oberflächeneis und in der weiteren Folge eine Eisdecke entstehen kann. Vollzieht sich die Temperaturabnahme schneller, dann gibt es Schwebeis, das im übernächsten Abschnitt beschrieben wird.

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

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

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

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

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

Grundeis

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

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

setzungen in Stromschnellen und Flußstrecken mit starkem Gefälle dafür besonders günstig sind, entsteht dort am meisten Grundeis, das man besonders gut nach sternklaren Frostnächten in den frühen Morgenstunden ziemlich plötzlich und rasch aufschwimmen sehen kann.

Schwebeis

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

II. Das Eis und seine Abwehr in Binnenwasserstraßen und Binnenhäfen

1. Freie Ströme

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

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

Eine Eisabwehr im freien Strome, sofern er eine Binnenwasserstraße darstellt, deren Schiffbarkeit durch Vereisung aufgehoben wird, muß schon vorweg als problematisch und eng begrenzt bezeichnet werden. Es kommen hierfür im Verlauf eines Winters mit Vereisung der Wasserstraßen zwei Zeitabschnitte in Betracht: im ersten wird das Ziel verfolgt, zu Beginn einer Eisperiode den unterwegs befindlichen Schiffen eine offene Rinne zum Erreichen ihrer Bestimmungsorte, eines Umschlagshafens oder wenigstens der am Strome für die Schifffahrt unbedingt nötigen Winterschutzhäfen zu erhalten. Wenn nämlich Wasserstraßen plötzlich vereisen, erwachsen der Volkswirtschaft durch Festliegen von zum Teil verderblichen Frachten erhebliche Schäden, die vermieden werden können, wenn die Bildung einer festen Eisdecke zunächst durch Aufrechterhaltung des Verkehrs noch auf einige Stunden oder Tage verhindert wird. Dies kann mit den in Fahrt befindlichen Schleppern geschehen, solange es nötig und ohne deren ernstliche Beschädigung möglich ist. Wenngleich von seiten der Schifffahrttreibenden oder sonstiger Kreise oft genug unter besonderer Betonung der Dringlichkeit gefordert wird, daß die betreffende Wasserstraße oder Teile von ihr möglichst lange offengehalten werden müsse, so findet das Eisbrechen selbstverständlich seine Grenze in den natürlichen Verhältnissen. Im zweiten Zeitabschnitt kann nach eingetretenem Tauwetter durch künstlichen Eisaufbruch die Verkürzung der Schifffahrtssperre angestrebt werden. Das hierzu anwend-

bare und einzig wirksame Mittel ist der Einsatz von Eisbrechschiffen. An den großen deutschen Strömen hat sich seit fast 7 Jahrzehnten ein planmäßiger Eisbrechdienst mit reichen Erfahrungen entwickelt, der allerdings im freien Ströme meist nur am Ende der Frostperiode den gefahrlosen Eisabgang zu fördern, also hauptsächlich Eisversetzungen zu vermeiden und so die Uferniederungen vor Überflutungen und Hochwasserkatastrophen zu schützen, bezweckte. Immerhin konnte aber gewissemaßen als mittelbare Eisabwehr durch die Tätigkeit der Eisbrechschiffe zu künstlichen Eisaufbruch auch zum Vorteile für die Schifffahrt oft genug die Dauer der unvermeidlichen Sperrzeit abgekürzt werden.

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

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

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

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

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

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

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

2. Kanalisierte Flüsse

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

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

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

und frühere Schifffahrtssperre in Kauf nehmen, um am Ende der Eisperiode dafür um so mehr durch die Erleichterungen entschädigt zu werden, die geringere Eismengen bieten.

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

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

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

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

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

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

3. Binnenhäfen

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

- a) Die Belegung der Hafenbecken beginnt an ihren Enden.
- b) In der Mitte der Hafenbecken wird stets ein offener Durchfahrtsweg freigehalten, um in Notfällen ein Feuerlöschboot oder ein Bergungsboot ansetzen zu können.
- c) Die am Ufer liegenden Fahrzeuge erhalten Anweisung, einen genügend weiten Abstand von der Böschung einzuhalten, damit bei fallendem Wasserstand die Fahrzeuge nicht zum Aufliegen kommen. Tief geladene Kähne werden nach Möglichkeit zur Mitte der Hafenbecken hin abgelegt.
- d) Unter Brücken, Auslegern von Kränen und Verladebühnen ist das Liegen nicht gestattet, weil bei plötzlich steigendem Wasser ein Verholen nicht möglich und Schäden an Fahrzeugen oder an den Verladebrücken unvermeidlich sind. So stieg beispielsweise am 28. 1. 1942 der Ruhrorter Pegel in einer Stunde um etwa 1 m und in 24 Stunden um 4 m. Der plötzliche Anstau wurde durch eine Eisversetzung auf dem Rheinstrom hervorgerufen, die sich in jedem Winter mit Eisstand wiederholen kann.

e) Besondere Beachtung ist den Tankschiffen sowie den Fahrzeugen zu widmen, die Spreng- oder selbstentzündliche Stoffe geladen haben. Diese dürfen nicht zwischen anderen Fahrzeugen liegen und sind an die für sie bestimmten Liegeplätze zu verweisen. Von dieser Anordnung sind nur die Tankschiffe ausgenommen, die entgast sind. Sie dürfen jeden freien Liegeplatz einnehmen. Falls ein Hafen Strömung hat, müssen Tankschiffe im Hafen nach Unterstrom gelegt werden; denn wenn durch irgendwelche Umstände auf einem Tankschiff ein Feuer ausbricht, treibt die brennende Flüssigkeit zum Strom hin ab, auf dem sich keine Fahrzeuge befinden; die im Innern des Hafens liegenden Schiffe können aber auf diese Weise nicht in Brand geraten.

f) Verlade- und Umschlagplätze sind so lange wie möglich für die Ablage von ladenden oder löschenden Fahrzeugen freizuhalten, damit der Umschlag, soweit es die Kälte gestattet, aufrechterhalten bleibt.

g) Die Einfahrmündungen dürfen zunächst nicht oder wenigstens nur schwach belegt werden, damit man noch Nachzügler aufnehmen kann. Liegt ein Teil eines Hafens im Hochwasserabflußgebiet, so dürfen hier keine Schiffe abgelegt werden. Anlaß zu dieser Anweisung gab eine Eisversetzung am 30. 1. 1942, durch deren plötzlichen Abgang etwa 52 Fahrzeuge beschädigt wurden, die nicht in ausreichender Sicherheit gelegen hatten.

h) Sobald die Fahrzeuge ihren Liegeplatz eingenommen haben, erhalten die Schiffsführer Anweisung, in nächster Nähe ihres Fahrzeuges mindestens eine Stelle zum Wasserschöpfen offen zu halten. Diese Verordnung ist auch in der z. Z. gültigen Hafenspolizeiverordnung enthalten.

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

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

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

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

1. die Kühlung der Antriebsmaschine nicht mehr durch das sich außenbords bildende Schaumeis unterbrochen,

2. durch den Wasserballast der Tiefgang des Achterschiffes erhöht und umgekehrt am Vorderschiff ermäßigt wird. Dadurch wird der Propeller besser vor dem Aufschlagen auf starke Eisschollen geschützt, und das Vorschiff kann sich weiter auf die Eisdecke schieben, wodurch die Aufbruchleistung gesteigert wird.

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

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

III. Das Eis und seine Abwehr in Seewasserstraßen und Seehäfen

1. Eisverhältnisse im deutschen Seewasserstraßengebiet

a) Maßgebende Faktoren

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

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

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

Ein weiterer Faktor sind die vom Meer beeinflussten Wasserstandsschwankungen. Die in die Nordsee einmündenden Ströme unterliegen in ihrem Unterlauf der Gezeitenbewegung des Weltmeeres. Im Bereich der Deutschen Bucht

sowie in den mit ihr in Verbindung stehenden Strömen bzw. Seewasserstraßen sind täglich zweimalige, periodische, erhebliche Wasserstandsmeldungen anzutreffen.

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

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

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

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

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

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

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

b) Zeitlicher und örtlicher Verlauf

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

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

	Normale Winter		Eisreiche Winter			Gesamte Beobachtungswinter
	eisarme Winter	gemäßigte Winter	eisreiche Winter	sehr eisreiche Winter	extreme Winter	
Anzahl der beobachteten Winter	8	24	7	5	1	45
Anteil in v. H. ausgedrückt	18 %	53 %	16 %	11 %	2 %	100 %
	71 %		29 %			
	der Beobachtungswinter 1903/04 bis 1947/48					

Für den Nordseebereich gilt dann:

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

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

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

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

Die Eisbildung selbst vollzieht sich in den Strommündungsgebieten wie bei den Binnenwasserstraßen durch Bildung von Grundeis, Schwebeis und Oberflächeneis. Hierbei kommt es häufig überraschend schnell zu einem Eisstand. Ja, man müßte vielerorts mit diesem, die Schifffahrt unterbindenden Zustand viel

früher rechnen, wenn nicht ein reger Verkehr von Seeschiffen das schnelle Zusammenfrieren der Eisschollen auf der Strecke zwischen Meer und Seeschiffhäfen verhinderte.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

c) Einwirkungen auf die Schiffahrt

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

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

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

Mit Eisdecken und Eisversetzungen werden Schiffe mit geringer Maschinenstärke und ohne Eisverstärkung im allgemeinen nicht mehr fertig, sie werden Eisbrechhilfe oder Schlepperhilfe in Anspruch nehmen müssen, wenn sie ihren

Bestimmungshafen anlaufen wollen. Ernstlich gefährdet sind die Schiffe, die in Eispressungen geraten, wie wir sie in den Nordmeeren und gelegentlich auch an den Ausgängen der Ostsee und an den Ostseeküsten finden. Im Nordseebereich sind derartige Eispressungen äußerst selten anzutreffen.

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

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

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

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

2. Abwehrmaßnahmen

a) Auf dem freien Strom und in Tidehäfen

Vorausmaßnahmen

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

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

Alle wichtigen, die Seeschifffahrt betreffenden Nachrichten, werden, soweit nicht eine besondere Eilbedürftigkeit die Verbreitung durch den Küstenfunk oder Rundfunk erfordert, im Bereich der Deutschen Bundesrepublik durch „Nachrichten für Seefahrer“ verbreitet, die allwöchentlich in Heftform veröffentlicht werden. Hierin wird alljährlich zu Beginn des Winters auf die Auswechslung der Sommerbetonung gegen die Winterbetonung hingewiesen und auf die der Betonung durch Eisbildung erwachsenden Gefahren aufmerksam gemacht.

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

Maßnahmen zur Bekämpfung des Eises

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Im Mündungsgebiet sowie im Unterlauf des Stromes besteht das Eisbrechen zur Hauptsache darin, festgekommene Eisfelder — die oftmals viele Kilometer lang und mehrere Kilometer breit sind — mehrmals zu durchfahren und dabei das Eis so zu zerkleinern, daß es von der Strömung mitgenommen und fortgeführt werden kann, denn nur durch das in Bewegung befindliche Kleineis vermögen sich Seeschiffe selbständig fortzubewegen. Solche Eisstaugebiete, in denen das Treibeis immer wieder zusammenfriert, gibt es im Unterlauf eines Stromes immer mehrere. Ihre Stärke und Mächtigkeit wird immer wesentlich von der Windrichtung sowie der Stärke des Windes beeinflußt. Zu Geleitfahrten hinter einem Eisbrechschiff kommt es dabei in den seltensten Fällen. Wohl treten hin und wieder zu bestimmten Tidezeiten und an bestimmten Stellen Häufungen von Seeschiffen auf; diese können sich aber im allgemeinen mit fortschreitender Tide, spätestens nach 2 bis 3 Stunden, wieder freimachen. Ist zufällig ein Eisbrechschiff in der Nähe, so wird es selbstverständlich helfend eingreifen, und dabei kommt für eine kurze Zeit eine Geleitfahrt zustande.

Bei den im Mündungsgebiet eingesetzten Eisbrechschiffen handelt es sich um ziemlich große, leistungsstarke (2000 PS und mehr) Fahrzeuge, deren Breite denen der gängigen Seeschiffe entspricht, so daß die von ihnen aufgebrochene Fahrrinne das Nachfolgen der Seeschiffe ermöglicht.

In den Hafengebieten gilt es vor allen Dingen, den Seeschiffen das Herankommen an die vereisten Kaimauern und Schiffsliegeplätze zu ermöglichen, sowie der Hafenschiffahrt zu helfen. Für diese Aufgaben ist eine größere Anzahl kleinerer Schiffe (200 bis 1000 PS) erforderlich, die hinsichtlich ihres Tiefganges Beschränkungen unterliegen, damit sie auch in Flachwassergebieten erfolgreich der Kleinschiffahrt dienen können.

Um dabei mit den naturgemäß nur in beschränkter Anzahl verfügbaren Schiffen einen größtmöglichen Erfolg erzielen zu können, ist hinsichtlich ihres Einsatzes eine ganz enge Zusammenarbeit zwischen den Schiffs- und Hafengewerkschaftskreisen sowie der Eisbrech-Einsatzleitung erforderlich. Eine von diesen Gremien gebildete Eisbrechkommission hat die Aufgabe, den Einsatz der Eisbrechschiffe zeitlich sowohl als auch örtlich so zu lenken, daß den einkommenden und ausgehenden Seeschiffen sowie den Hafenschiffen — Schleppern, Leichtern und Schuten — die größtmögliche Hilfe zuteil wird, d. h. daß der durch die Eisverhältnisse bedingte Zeitverlust in jedem Fall auf das geringstmögliche Maß beschränkt bleibt.

In diesem Zusammenhange sei hier auf einen Umstand hingewiesen, der leider in Hafenschiffahrtskreisen viel zu wenig beachtet wird, jedoch bei richtiger Erkenntnis der Zusammenhänge entscheidend dazu beitragen würde, die Bekämpfung des Eises in Seehäfen sehr günstig zu unterstützen. Gemeint ist die eisbrechgemäße Gestaltung der von den Hafenreedereien vorgehaltenen Hafenschlepper. Die vorhandenen Schlepper sind in der Regel überaltert, und ihre Erbauer haben seinerzeit die Bedeutung bestimmter Unterwasserformen für das Verhalten dieser Schiffe im Eisgang nicht erkannt. Es sollten nunmehr — nachdem in 6 sehr eisreichen Wintern der letzten 2 Jahrzehnte ausreichende Erfahrungen in dieser Richtung gesammelt worden sind — in Zukunft Neubauten von Hafenschleppern nur noch als Eisbrechschiffe gestaltet werden; und zwar um so mehr, als dadurch Mehrkosten gegenüber den Baukosten der bisherigen Schiffstypen nicht entstehen würden.

Den Abschluß dieser Betrachtungen möge ein kurzer Hinweis auf die Kosten des Eisbrechdienstes bilden.

Im Elberaum erforderte der Eisbrechdienst auf der Strecke Hamburg—Cuxhaven einschließlich des Hafengebietes im Februar/März 1956 einen täglichen Kostenaufwand von 20 000,— DM, wovon 11 000,— DM auf den Hafen und die Hafeneibe und 9000,— DM auf die Unterelbe und das Mündungsgebiet entfielen.

b) In abgeschleusten Häfen

Die Abwehrmaßnahmen gegen die Eisbehinderungen in abgeschleusten Häfen lassen sich örtlich unterteilen in die Abwehrmaßnahmen in der Hafeneinfahrt bzw. im Schleusenvorhafen, in der Schleuse selbst und im Hafenninneren. Allen drei Örtlichkeiten ist es gemeinsam, daß die Hauptbehinderung von der Eisdeckenbildung ausgeht, und daß sie am zweckmäßigsten bekämpft wird durch Einsetzen von Eisbrechern. Hierbei gilt die Hauptsorge der Abführung der bei den Aufbrucharbeiten entstandenen Eisschollen.

Für die Eisabführung aus dem Schleusenvorhafen bzw. der Hafeneinfahrt ist die Lage zur Windrichtung von ganz besonderer Bedeutung. Solche Häfen, die an der Ostseite der großen Ströme und großen Meeresbuchten liegen, wie z. B. Emden am Dollart, Bremerhaven und Bremen an der Weser, haben den großen Vorteil, daß der während der Frostperioden vorherrschende Wind aus östlicher Richtung die Schollen der aufgebrochenen Eisdecke in den Strom abtreibt, der sie in Richtung See weiterführt. Da das einsetzende Tauwetter meist mit Westwinden verbunden ist, ergibt sich für die vorgenannten Häfen die eigentliche Behinderung der Einfahrt erst in der Tauwetterperiode, während der die auf dem Strom abtreibenden Eismassen durch den Wind in die Hafeneinfahrten hineingedrückt werden. Diese Behinderung ist erfreulicherweise aber meist nur von kurzer Dauer und nicht allzu schwerwiegend, da es sich um Eis in abschmelzendem Zustande handelt. Die Versuche, diese Eisbehinderung durch Auslegen einer Schlingelanlage abwehren zu wollen, haben zu keinem Erfolg geführt.

Als Schleusenbauwerke für abgeschleuste Seehäfen von Bedeutung finden wir an den deutschen Küsten jetzt fast ausschließlich Kammerschleusen. Die früheren Dockschleusen, die noch vor einigen Jahrzehnten bei älteren Hafeneinfahrten zahlreich anzutreffen waren, sind weitgehend außer Betrieb genommen und können für die weitere Betrachtung unberücksichtigt bleiben.

Für den Betrieb der Kammerschleusen erfordert der Frosteintritt bereits einige Vorausmaßnahmen und späterhin laufende Eisbeseitigung.

Die in einer in Betrieb befindlichen Schleuse ständig wechselnden Wasserstände führen bei scharfem Frost zu erheblichen Eisansätzen an den Schleusenmauern und an den zum Schutz der Mauern dienenden Reibhölzer, Buschfendern, Schwimmbalken usw. Dieser Eisansatz kann an Buschfendern so stark werden, daß die Ketten, an denen die Fender aufgehängt werden, reißen. Man entfernt daher die Fender — soweit irgend vertretbar —, desgleichen die Schwimmbalken, die infolge von Eisansatz das Kammerinnere einengen würden. Der Verschleißschutz der Mauern ist während der Frostzeit nicht so wichtig, da, wie bereits erwähnt, an den Mauern starke Eisbildungen entstehen, die einen natürlichen Schutz der Mauern bedeuten.

Das Bilden einer festen Eisdecke in der Schleusenkammer selbst wird im allgemeinen durch regen Schiffsverkehr, notfalls bei starkem Frost durch Einsatz eines hinreichend starken Schleppers verhindert.

Der schwierigste Punkt für die Aufrechterhaltung des Schleusenbetriebes ist die Erhaltung der Bewegungsmöglichkeit der Schleusentore. Dabei gilt in gleicher Weise für Stemm- und Schiebetore, daß die Antriebsvorrichtungen hinreichend kräftig bemessen werden müssen, um Eisstücke, die sich in der Tornische zwischen Tor und Wandung festklemmen, zu zerdrücken, ohne daß Teile der Torhalterung oder der Antriebsvorrichtung brechen. Beim Schließen von Schiebetoren tritt viel der Übelstand auf, daß sich bei einer starken Vereisung des Hafens und der Schleuse Eisschollen in großer Zahl und Stärke in der Tornische ansammeln und das völlige Schließen der Tore verhindern. Hiergegen hat es sich bewährt, ständig einen Schlepper in der Schleusenkammer bereitzuhalten, der die Tornische kurz vor dem endgültigen Schließen des Tores durch sein Schraubenwasser freispült.

Um die großen Schiebetore der Seeschleusen leichter bewegen zu können, und um die Rollenkonstruktionen, auf denen die Tore sich bewegen, sowie die Antriebsmaschinen leichter halten zu können, ist es üblich, die Tore mit Schwimmkästen zum möglichst weitgehenden Abfangen des Torgewichts auszurüsten. Die Schwimmkästen liegen im allgemeinen unterhalb des Tideniedrigwasserstandes. Bei starker Eisbildung im Hafen und in der Schleuse werden im Laufe der Zeit durch den sich ständig wiederholenden Schließvorgang zahlreiche Eisschollen in die meist offenen Versteifungskonstruktionen des Schiebetores hineingeschoben und lagern sich auf den Schwimmkästen ab.

Diese Eisansammlungen, die zu mächtigen Blöcken zusammenfrieren können, bedeuten bei niedrigen Wasserständen eine gewaltige Auflast; sie können den Schließvorgang der Tore in einem derartigen Umfang erschweren und behindern, daß man von einer Bewegung der Schiebetore zur Niedrigwasserzeit absehen muß. Der erhöhte Kraftbedarf für die Überwindung der durch die Auflast erhöhten Rollenreibung, sowie der durch die Querschnittsvergrößerung verstärkten Bremswirkung des Wassers und der Behinderung durch Eisschollen wird meist dadurch ausgeglichen, daß man durch Verlangsamung der Torbewegung entsprechende Kräfte freimacht.

Das Problem der Eisbildung in der Torkammer läßt sich auf verschiedene Weise lösen. Eine Überdeckung der Torkammer kann in unserem Küstenbereich die Eisbildung völlig verhindern. Von Vorteil ist weiterhin eine reichliche Bemessung der Torkammer, wie das Beispiel der Doppelschleuse des Fischereihafens in Geestmünde zeigt, wo das in die Torkammer eingedrungene oder dort entstehende Eis in seitliche Nischen eintreten kann und die Torbewegung nicht wesentlich behindert. Bei der Großen Kaiserschleuse in Bremerhaven war

es möglich, Eisöffnungen in der Torkammer vorzusehen, die es gestatten, das durch die Torbewegung zerkleinerte Eis aus der Torkammer in die Häfen bzw. in die Schleusenammer zu spülen. Letzten Endes besteht aber auch die Möglichkeit, Eisansammlungen in der Torkammer, sobald sie lästig werden, mit Hilfe eines Greifbaggers aus der Torkammer zu entfernen.

Eine andere Behinderungsgefahr für den Schleusenbetrieb ist das Festfrieren der Schütze zum Einlaß des Schleusungswassers. Die Gefahr ist bei den in die Tore eingebauten Schützen besonders groß, der man aber bei Neubauten durch elektrische Anwärmung der Dichtungen begegnen dürfte. Günstiger liegen die Verhältnisse bei einem Wasserausgleich durch Umläufe in den dicken Betonwandungen einer Seeschleuse. Hier ist es möglich, Koksöfen in die Schützschächte zu versenken und eine hinreichende Erwärmung der Schützkonstruktion herbeizuführen.

Moderne Schleusenanlagen werden vielfach von einem Befehlsstand zentral gesteuert. Für die Einleitung der einzelnen Schleusenvorgänge ist eine genaue Wasserstandsanzeige unerlässlich. Diese wird bei Frost durch ein Festfrieren der Schwimmer in den Pegelschächten in Frage gestellt. Bei der meist geschützten Anbringung der Pegelschächte hat es sich als ausreichend erwiesen, elektrische Tauchsieder in den Pegelschacht zu versenken und zu betreiben, um das Einfrieren der Pegelschächte zu verhindern.

Schließlich wird man sich beim Auftauen einzelner Schleusenteile und vor allem von Bewegungseinrichtungen der Stemmtore gern eines Dampfschleppers bedienen, der durch Dampf- und Warmwasserabgabe Rettung vor dem Einfrieren bietet.

Im Hafenninneren selbst bringt stärkere Eisdeckenbildung erhebliche Beschwernis mit sich. Eine Eisdecke bzw. starkes Scholleneis behindert nicht nur die Anlegemanöver größerer Schiffe an den Kaimauern erheblich, sondern sie bringt auch den Verkehr von Binnenschiffen und Leichtern nahezu zum Erliegen. Durch die Hafenverwaltungen wird meist durch Schlepper oder Eisbrecher eine Fahrrinne in Hafenmitte aufgebrochen, während es den Schiffen und den Inhabern bestimmter Kaimauern überlassen bleibt, die Liegeplätze für die Schiffe frei zu halten. Daß unter diesen Umständen Anlegemanöver häufig erhebliche Zeit beanspruchen, liegt auf der Hand.

Man wird bemüht sein, bei günstigen Wind-, Strömungs- und Wasserstandsverhältnissen das aufgebrochene Eis eines Hafens möglichst weitgehend auszuschleusen. Begünstigt wird dieser Vorgang, wenn das Hafenbecken einen Binnenzufluß hat, da es dann möglich ist, den beim Schleusungsvorgang eingetretenen Wasserverlust auszugleichen, ohne daß bei dem sonst erforderlichen Wassereinlaß durch die Schleuse das eben ausgeschleuste Eis wieder in den Hafen hineintreibt.

Eine große Erleichterung der Eisbekämpfung in abgeschleusten Häfen kann der Einlaß größerer Mengen angewärmten Industriewassers bringen, wie es beim Betrieb größerer Kraftwerksanlagen anfällt.

Schließlich sei noch eine Aufgabe erwähnt, die der Hafenverwaltung bei starker Eisbehinderung erwächst, nämlich die Versorgung eingefrorener oder bewegungsbehinderter kleinerer Schiffe mit Wasser, Brennstoff und Proviant.

Es hat sich gezeigt, daß die Hafenverwaltungen der deutschen Nordseeküsten auch unter den verschärften Bedingungen der Kriegszeit und in den strengsten Eiswintern seit der Jahrhundertwende den Betrieb in den abgeschleusten Handelshafenanlagen aufrechterhalten konnten. Von besonderer Wichtigkeit

war dabei, daß rechtzeitig ein oder mehrere hinreichend starke Schlepper zur Meisterung der vielseitigen bei Eisbildung auftretenden Aufgaben verantwortungsbewußt eingesetzt wurden.

3. Schutz von Bauwerken

Die bei winterlicher Kälte durch Eisbildung entstehenden Gefahren für die Hafengebäude und die gegebenenfalls an und auf diesen Bauwerken auftretende Beeinträchtigung oder Gefährdung des Verkehrs — sei es, daß die Schiffe selbst, bzw. die Beförderung von Gütern oder von Personen betroffen sind — lassen sich grundsätzlich auf eine Reihe typischer Fälle zurückführen und in zwei Gruppen einteilen. Die erste Gruppe umfaßt die Gefährdung der Bauwerke durch Eis auf dem Wasser. Ursache können hier sein

- a) treibende Eismassen oder Eisschollen auf dem Flusse, im Tidestrom oder an der offenen Seeküste,
- b) die mehr oder weniger geschlossene, stehende Eisdecke.

In der zweiten Gruppe seien die Gefahren genannt, die infolge Eisansatzes an und auf den Bauwerken selbst entstehen. In Betracht kommt dabei der Eisansatz

1. an Hafengebäuden vom Wasserspiegel aus,
2. an den Bauwerken aus der Atmosphäre, der als Winterglätte zu bekämpfen ist.

Die aufgezählten Gefahren für Bauwerke, Schiffahrtsbetrieb und Personenverkehr steigern sich rein theoretisch gesehen — in umgekehrter Reihenfolge der vorgenommenen Gruppierung; die atmosphärische Eisbildung ist also als die geringste Gefährdung zu beurteilen und auch am leichtesten zu beherrschen, der Eisansatz kann sich schon als gefährlicher herausstellen, und schließlich kann das Treibeis gelegentlich als unübersehbar starke Naturkraft auftreten. Die nachfolgende Erörterung dieser Gefahren auf Grund der im nordwestdeutschen Küstengebiet vorliegenden Erfahrungen wird daher zweckmäßig beim einfachsten Gegenstand beginnen.

Bauliche Maßnahmen zur Verhinderung der Winterglätte bei Uferbefestigungen, Kaimauern, Molen, Brücken, Fähranlagen usw. sind nicht möglich. Wenn eine Anlage dieser Art im Regelfall verkehrssicher ist, ist sie es auch bei Frost, Glatteis, Schnee, Hagel oder Rauheis, sofern nur der Vorschrift entsprechend Schnee und offenes Eis weggefegt werden und örtlich feststehendes Eis entweder mechanisch losgeschlagen oder durch Streuen mit Sand und Asche abgestumpft wird.

Die Notwendigkeit, für solchen Streudienst zusätzliches Personal zu beschäftigen, ergibt sich meist erst in der zweiten Gruppe der Eisabwehr, sobald es sich also darum handelt, feste oder schwimmende Hafengebäude von dem Eisansatz zu befreien, der auf den Wasserstandswechsel während der Frostperiode zurückzuführen ist. Zu betrachten sind hier Kaimauern, Spundwände, Dalben, Leitwerke und Pontons. Bei den erstgenannten Uferbefestigungen lassen sich die geschlossene und die offene Bauart unterscheiden. Haben sie wasserseitig eine glatte, möglichst wasserdicht ausgeführte Begrenzungsfläche aus Holz, Mauerwerk, Stahlbeton oder Stahl, kann ihnen der Frost meist nichts anhaben. Eine etwa in der Zone der wechselnden Tidewasserstände sich ansetzende Eiskruste wird durch das Treibeis im Strom oder den Schiffverkehr meist soweit abgerieben, daß irgendeine Gefährdung für das Bauwerk oder eine Behinderung des Verkehrs nicht auftritt.

Dagegen können „offen“ konstruierte Kaimauern möglicherweise Eisschäden erleiden, sobald die Rüstplatte so hoch über dem mittleren Wasserstand liegt, daß sich in Frostperioden innerhalb des Pfahlwerkes Treibeis festsetzen und mit dem sich dort neu bildenden Eis zu einer kompakten Masse vereinigen kann. Liegt hinten keine Spundwand, sondern nur eine befestigte Böschung, so besteht eine Gefahrenquelle für hierzu verwendete Schüttsteine, Ziegelbrocken usw. Diese frieren sehr leicht zusammen und werden dann bei dafür geeigneten Wasserständen in entsprechender Windrichtung von den abtreibenden Eismassen leicht mitgenommen. Die Standfestigkeit der Böschung ist infolgedessen nach der Frostperiode möglicherweise in Frage gestellt.

Schäden an den Spundwänden selbst oder am Pfahlrost wurden weniger beobachtet, sofern diese genügend robust ausgebildet waren. Allerdings kann für freistehende Gründungspfähle eine zusätzliche Knickgefahr entstehen, wenn Eisansatz oder Scholleneis Schiffsstöße in waagerechter Richtung überträgt. Noch größer bei solchen Eisbelastungen ist allerdings die Gefahr für Dalben, freistehende Pfahlwerke und die schwimmenden Landungsanlagen.

Deshalb müssen im Tidegebiet die Führungsdalben zumindest an den häufig mit Gleitschienen ausgerüsteten Berührungskanten für Pontons und deren Führungskonsolen selbst immer völlig frei vom Eis gehalten werden, zumal sich neben dem neu gebildeten Eis auch treibende Eisschollen leicht dazwischen setzen und die Pontonführung verklebmen. Wird das Freieisen nicht regelmäßig durchgeführt, verengert sich der Spielraum zwischen Dalben und Konsolen immer mehr und der Ponton gerät dann in die Gefahr, bei steigendem Wasser unterzuhaken oder sich zu verklemmen bzw. sich bei fallendem Wasser aufzuhängen. Beides kann für Bauwerk und Personen gefährlich werden. Insbesondere in eng gestellten Holzpfahlbündeln bilden sich leicht kompakte Eismassen, die schnell nach Breite und Höhe wachsen und neben der Pontonanlage möglicherweise auch noch die anlaufende Schifffahrt gefährden.

Es hat sich gezeigt, daß im allgemeinen an Stahldalben ein geringerer Eisansatz zu bemerken ist als an den am gleichen Ort früher verwendeten Holzdalben. Die glatte Oberfläche der im ganzen schmaleren Stahlpfahlprofile, ihre geringere Anzahl und ihr größerer Abstand sowie auch die geringere Zahl und gedrungene Form der Verbände sind in bezug auf Eisansatz offensichtlich günstiger als die vielfach rauhen, zum Teil gespaltenen und dabei eng gestellten Holzpfähle mit den massigen Zimmermannsverbänden. Das Freieisen ist bisher bei Stahl nicht nur seltener notwendig, sondern auch weniger mühevoll gewesen als beim Holz.

Desgleichen haben sich die Stahldalben im normalen Treibeis besser bewährt als die seinerzeit für gleichwertig erachteten Holzdalben. Die typische Sägewirkung der Eisschollen kann nämlich den Stahlprofilen an Dalben, Leitwerken, Brückenjochen oder den sogenannten „Eisbrechern“, den Schutzbauwerken vor Brückenjochen, nicht leicht etwas anhaben. Entsprechend konnten die auch zum Schütze vorgeschobener Bauwerke im Strom — meistens Landungsanlagen oder Vertäudalbenreihen — vielfach benötigten „Eisbrecher“ aus Stahl konstruktiv leichter und einfacher durchgebildet werden, wengleich sie geometrisch eine ähnliche Form wie die hölzernen Bauwerke erhalten.

In Hamburg haben sich dafür zwei allgemeine Typen herausgebildet und bei normalen Eisverhältnissen auch bewährt:

1. Die spitze, aber kurze und gedrungene Form, der sogenannte „Eisabweiser“ oder „Eissporn“. Er schiebt die antreibende Scholle lediglich beiseite, aber

schützt das dahinter liegende Bauwerk je nach seiner Breite vor Eisdruck in Stromrichtung; diese Form steht oftmals in konstruktiver Verbindung mit einem dahinter stehenden Führungs- oder Schutzdalben.

2. Die gestreckte Form mit sehr flach geneigter Auflaufkante als überkommene Bauart, die möglichst freistehend und von sonstigen Dalben unabhängig wirken soll. Die vom Strom auf die schräge Kante getriebenen Schollen sollen zerbrechen, wodurch sich die Kraft des Eisstromes für das zu schützende Bauwerk zumindest sehr verringert.

Einige neuere Landungsanlagen im Stromstrich bestehen aus Stahlbetonpontons und sind mit Stahlführungsdalben ausgerüstet, die zusätzlich als Eisabweiser dienen können. Dafür ist der schmale, aus Peiner Kastenspundbohlen bestehende Dalben durch einen in Stromrichtung geneigten, jedoch oben biegesteif angeschlossenen, kantigen Schrägpfahl gleicher Breite, ergänzt. Auch einige Eisabweiser in Winkelform aus Peiner Kastenspundbohlen sind an gefährdeten Punkten des Hafens und der Elbe an Stelle der früher vorhanden gewesen, sehr schweren und aus vielen Pfählen zusammengesetzten hölzernen Eissporne errichtet worden.

Schwimmende Landungsanlagen in der Nähe eines geböschten Ufers — wie sie im Hamburger Hafen vielfach vorkommen — sind auch dadurch gefährdet, daß die geschlossene Eisdecke landseits der Pontons bei fallendem Wasser einen Eindruck ausübt, der die Pontons, Dalben und Eissporne stromwärts zu drücken sucht. In diesem Falle hilft nur rechtzeitiges Freispülen durch das Schraubenwasser von Eisbrechschiffen oder sorgfältiges Freieisen der Pontons und Dalben durch eingesetzte Arbeitskolonnen.

Alle diese Bau- und Betriebsmaßnahmen sind dazu bestimmt, gegen normale Eisgefahren im Tidegebiete ausreichenden Schutz zu bieten. Mit ihrer Hilfe ließen sich auch jahrzehntelang größere Schäden an Schiffen und Bauwerken vermeiden, so daß man im allgemeinen zufriedenstellend über sie berichten kann. Es gibt allerdings auch Wetterverhältnisse, die durch wirtschaftlich zu erstellende Baumaßnahmen nicht mehr beherrschbare Eisgefahren nach sich ziehen können.

Derartige Witterungseinflüsse zeigten sich z. B. Anfang März des Jahres 1956, als unmittelbar nach Beendigung der Frostperiode mit beginnendem Tauwetter mehrere Sturmfluten eintraten. Das sonst üblicherweise ungefährlich abtreibende Scholleneis war zu dieser Zeit zu ausgedehnten Eisfeldern neu zusammengefroren und wurde dann durch den Wind in Bewegung gebracht, oder es wurde an exponierten Punkten der Stromufer zu Packeis mehrere Meter hoch aufgeschichtet. Überdies ließen die hohen Wasserstände auch ganze zusammenhängende Eisflächen der Nebenarme und Totwassergebiete in den Stromstrich geraten, wo sie durch Eisbrechdampfer nicht mehr rechtzeitig zerkleinert werden konnten. Auf diese Weise sind mehrere neu gebaute, großenteils mit schweren hölzernen oder Stahldalben und entsprechenden Eisbrechern ausgerüstete Landungsanlagen der Unterelbe zum Teil zerstört, zum Teil stark beschädigt worden.

Diese Schäden konnten nur eintreten, weil der Eisstrom nicht in gewohnter Richtung an diesen Stellen verlief, sondern außerordentlich große lebendige Kräfte seitlich, meist quer zum Stromstrich wirksam waren. So wurden wiederholt zusammenhängende Eisfelder von mehreren hundert Meter Seitenlänge im Sturm in Schrägrichtung antreibend beobachtet; solchen Beanspruchungen waren die für diese Krafrichtung nicht bemessenen Eisabweiser und Führungsdalben

nicht gewachsen, einerlei ob die Pontons selbst noch auslagen oder des Winters wegen eingezogen worden waren. Es liegt auf der Hand, daß die durch derartige Eismassen im Verein mit Sturm und hohen Wasserständen ausgeübten Kräfte unberechenbar sind und sich durch Bauwerke von angemessener Stärke nicht auffangen lassen, da die Kosten von Eisschutzbauwerken nun einmal in einem vertretbaren Verhältnis zum Wert der zu schützenden Anlage stehen müssen. Der wirtschaftliche Spielraum für den Einsatz bautechnischer Mittel zur Eisabwehr ist also in derartigen Fällen als überschritten zu bezeichnen.