

Teil II:**Eisbekämpfung am Beispiel der Elbe****1. Vorbemerkung**

Für die Eisbekämpfung auf der Oberelbe (oberhalb Elbe-km 607,5) unterhält die Wasser- und Schifffahrtsverwaltung der Bundesrepublik Deutschland bei dem für die Oberelbe zwischen Hamburg und Landesgrenze bei Schnackenburg (Elbe-km 472,6), den Elbe-Lübeck-Kanal (ELK) und für die Ilmenau zuständigen Wasser- und Schifffahrtsamt (WSA) Lauenburg eine Eisbrecherflotte von 7 Einheiten, die um zwei weitere des WSA Hamburg verstärkt werden kann.

In der Grenzstrecke der Oberelbe oberhalb Boizenburg (Elbe-km 559,5) beteiligt sich die DDR mit 3 Eisbrechern und 1 Hilfseisbrecher.

Die Eisbrecherflotte umfaßt

2 leichte Eisbrecher	mit 237 bzw. 308 kW
3 mittlere Eisbrecher	mit 430 bzw. 441 kW
2 schwere Eisbrecher	mit 651 bzw. 2 x 430 kW

In strengen Eiswintern kann die Kapazität um 2 Mehrzweckschiffe von je 2 x 231 kW des WSA Hamburg erweitert werden. 5 der insgesamt 9 Eisbrecher sind mit Stampfanlagen ausgerüstet.

Das gilt auch für die von der DDR auf der Oberelbe eingesetzten Doppelschrauben-Eisbrecher mit 2 x 285 kW.

Die wichtigsten Zahlen der Elbe:

Quelle: 1.390 m über NN im Riesengebirge (CSSR)

Länge: 1.143 km bis Seegrenze, davon rd. 1.000 km schiffbar,
im Oberlauf (CSSR) kanalisiert.
1 Staustufe bei Geesthacht (Elbe-km 585,9)

Breite: zwischen den Streichlinien bei
– Melnik (Mündung der Moldau) 100 m,
– Magdeburg (Elbe-km 330) 160 m,
– Lauenburg (Elbe-km 570) 215 m.

Einzugs-
gebiet: 148.500 km²

Abflüsse

bei:	höchstem Hochwasser	3.840 m ³ /s (7.4.1895)
	niedrigstem Niedrigwasser	128 m ³ /s (1./2.4.1904)
	Mittelwasser	700 m ³ /s. (langjähriges Mittel)

2. Eisbildung in Binnengewässern

2.1 In Flüssen

Infolge der starken Belastung der Flüsse durch industrielle und kommunale Brauch- und Abwässer ist die Eisbildung in den schiffbaren Flüssen der Bundesrepublik Deutschland sehr selten geworden. Eine Ausnahme macht hier die Elbe, die trotz ihrer starken anthropogenen Belastung nach wie vor eisanfällig ist. Das hat seinen hauptsächlichlichen Grund in der geographischen Lage, für die das mitteleuropäische Übergangsklima bestimmend ist und das osteuropäische Kontinentalklima im Ober- und Mittellauf der Elbe schon wirksam wird.

Im Zeitraum zwischen 1900 und 1987 wurde bei Neu Darchau (Elbe-km 536,4) 38mal Eisstand registriert; nur in sechs Wintern gab es kein Treibeis.

Das Eis in Flüssen besteht aus Oberflächen-, Grund- und Schwebeis. Die Eisbildung ist in verschiedenen Theorien (Barnes, Arago, Gay-Lussac und Altberg) beschrieben worden.

In der Theorie von Altberg finden die durch Eigenbeobachtungen an der Elbe gewonnenen Erkenntnisse der Eisbildung im Fluß die überzeugendste Erklärung.

Durch die Turbulenzen des strömenden Wassers gelangt das oberflächlich unterkühlte Wasser infolge der über den Flußquerschnitt herrschenden annähernd gleichen Temperatur und Dichte schnell zur Sohle. Diese nimmt in einer Grenzschicht die Temperatur des unterkühlten Wassers an. An den verschiedensten Kristallisationskernen in Form von Sand und Steinen auf der Sohle bildet sich das „Grundeis“.

Ist der Auftrieb der zunächst nur sehr kleinen Eisplättchen durch das Anwachsen ausreichend groß, treibt das Grundeis, oft unter Mitnahme von Sohlenmaterial, von der Sohle zur Wasseroberfläche auf. Das aufgenommene Bodenmaterial ist hier gut erkennbar, wenn frisch gebildetes Grundeis mit Schiffen durchfahren wird. Dabei zerfallen die Grundeisballen, das anhaftende Material wird freigegeben und verursacht im Wasser Trübungen. Nach Altberg bildet sich im Stromquerschnitt neben dem Grundeis auch „Schwebeis“, wobei die hier im Wasserkörper zahlreich vorhandenen Schwebstoffe die Kristallisationskerne bilden. Voraussetzung für die Schwebeisbildung ist eine schnelle Unterkühlung des Wassers durch die 0-Grad-Zone hindurch. „Grundeis“ von „Schwebeis“ durch Augenbeobachtungen zu unterscheiden macht in der Praxis allerdings Schwierigkeiten.

Die Eisbildungsvorgänge im Strom werden durch Schneefall gefördert, wobei die Schneeflocken wie Kristallisationskerne im Wasser wirken. Die aufschwimmenden lockeren Grund- und Schwebeis-„Flocken“ bilden an der Wasseroberfläche Ballen von kristallinem Lockereis, die sich vergrößern und mit anderen verbinden. Bei den drehenden Bewegungen nehmen die wachsenden flachen Eiskörper eine runde Form an. Das innerhalb des lockeren, durch gegenseitige Berührung mit Abriebvorgängen Tellerform annehmenden Eiskörpers gefangene Wasser gefriert zu Kerneis.

Die derart gebildeten tellerförmigen Schollen, die auf der Elbe zunächst einen Durchmesser von 2 – 3 m haben, gefrieren z.T. bei tiefen Lufttemperaturen und großer Dichte des Schollen-Treibeises zusammen und bilden vermehrt Großschollen von 20 – 30 m Durchmesser, die allerdings beim Überfall am Sektorwehr Geesthacht wieder in Einzelschollen zerfallen. Die Einzelschollen zerbrechen hier nur bei größerer Spiegeldifferenz zwischen Ober- und Unterwasser, wachsen aber nach einer Lauflänge von nur wenigen Kilometern erneut zusammen.

Das Kerneis der Schollen erreicht in mittleren Wintern eine Dicke von rd. 15 cm, in strengen (1986/87) auch von rd. 25 cm. Mit den „Eisbärten“ unter den Schollen können diese je nach Schollendurchmesser Dicken von 0,7 bis 1,5 m erreichen.

Neben dem Scholleneis bildet sich an den Flußufeln kerniges Oberflächeneis (Randeis), das bis zu Mittelwasser-Abflüssen die Bühnenfelder bedeckt. Am einbuchtenden Ufer fällt die Randeisdecke etwa mit der Streichlinie (Verbindungsline der Bühnenköpfe) zusammen. Der am konkaven Ufer liegende Talweg mit der höchsten Strömungsgeschwindigkeit führt die Masse des Scholleneises, das ein Anwachsen des Randeises durch Abrieb behindert. Durch den ständigen Abrieb von Scholleneis an der Randeisdecke entsteht ein wulstiger Eissaum.

Am konkaven Ufer mit schwacher Strömung wächst dagegen das Randeis über die Streichlinie vor, weil hier ein Abrieb durch das treibende Scholleneis nicht stattfindet. Diese Entwicklung führt zu ständig schwankender Breite der Treibeis tragenden Wasseroberfläche, die um so eingeschränkter ist, je stärker die Krümmung des Flusses ist. Diesen Flußabschnitten gilt daher die besondere Aufmerksamkeit beim Eisaufruch (siehe Abs. 3.2).

Bei einer Abflußmenge größer als die der Mittelwasserführung, bei der es zur Überflutung der Vorländer kommt, trägt die größere Wasserfläche zu einer verstärkten Abkühlung des Wassers solange bei, bis sich auf diesen Wasserflächen in Abhängigkeit von den Strömungsverhältnissen auf den überfluteten Vorländern Oberflächeneis, durchsetzt mit dem eingedrungenen Scholleneis, bildet. In solchen Abschnitten hinterläßt das Scholleneis bei eingetretenem Eisstand keine Markierung der Streichlinien in Form eines Eissaumes. Lediglich der aus dem Eis herausragende Uferbewuchs gibt da und dort Anhaltspunkte über den Verlauf des regulierten Flußbettes.

Gute Ortskenntnisse sind daher erforderlich, um Grundberührungen oder gar ein Festkommen der Eisbrecher zu vermeiden.

2.2 In Kanälen

Stehende Gewässer gefrieren von oben nach unten, d.h. es bildet sich Oberflächeneis; Dichteunterschiede führen zu einer Umschichtung des Wassers. Bei Abkühlung des gesamten Wasserkörpers auf + 4° C (größte Dichte) hört die Umschichtung auf.

Bei weiterer Abkühlung der Oberfläche nimmt das spezifische Gewicht des Wassers ab, es bleibt an der Oberfläche. Wird bei fortdauernder Kälteeinwirkung der Gefrierpunkt an der Wasseroberfläche unterschritten, beginnt an der Oberfläche die Eisbildung. Kristallisationskerne, die Voraussetzung für eine Eisbildung, sind auch in Kanälen und stehenden Gewässern ausreichend vorhanden. Bei anhaltendem Frost nimmt die Dicke der Eisdecke von oben nach unten zu. Weil diese durch die Schifffahrt fortlaufend zerstört wird, kann die bei der Eisbildung entstehende Kristallisationswärme entweichen und dadurch die weitere Eisbildung begünstigt werden. Hinzu kommt, daß beim Durchfahren des Eises dieses auch oberflächlich immer wieder benetzt wird, was wiederum die Eisbildung beschleunigt. So ist es nicht verwunderlich, daß auch auf stärker befahrenen Schifffahrtskanälen das Eis schnell zunimmt und der Verkehr dadurch so erschwert wird, daß dieser oft schon nach wenigen Tagen zum Erliegen kommt (Elbe-Seitenkanal, Elbe-Lübeck-Kanal). An Schleusen sind Schwierigkeiten durch Eis nur selten ursächlich für Schifffahrtseinstellungen auf künstlichen Wasserstraßen.

3. Das Entstehen von Eisstand in der Elbe

Die durch die Niedrigwasserregulierung der Elbe (1931–1943) erreichte Verbesserung der Stromgeometrie und die sich nach Unterstrom vergrößernden Querschnittsbreiten des Flußbettes haben bewirkt, daß Eisstände in der freifließenden Strecke der Oberelbe in der Eisbildungsphase heute weitgehend ausgeschlossen werden können.

Das gilt nicht unbedingt für den Eisabgang nach dem Eisaufbruch durch Eisbrecher bei noch herrschendem oder wieder einsetzendem Frost, weil dann große Eismengen in großer Dichte insbesondere bei Eisabrissen freigesetzt werden (siehe Abs. 3.2).

Der kritische Abschnitt für Eisstände liegt im Bereich der von der Abflußmenge und dem Tidehub abhängigen Lage der Flutstromgrenze zwischen Elbe-km 599 und Elbe-km 620, was überwiegend dem Abschnitt der Elbe im Hafenbereich von Hamburg entspricht. Mit der Veränderung des Tideablaufs in der Elbe haben sich die Eisprobleme entschärft. Der Tidehub, der um 1900 bei Harburg etwa 180 cm betrug, erreichte 1980 etwa 320 cm. Bei einem Eisstände begünstigenden Oberwasserabfluß von $400 - 800 \text{ m}^3/\text{s}$ beträgt heute in der Süderelbe bei Harburg die Flutstromdauer etwa 4,75 Stunden, die Ebbstromdauer dagegen etwa 7,75 Stunden. Die Ebbstromgeschwindigkeiten erreichen rd. $0,8 \text{ m/s}$ und sind damit etwa doppelt so hoch wie die Flutstromgeschwindigkeiten. Bei Oberwasserabflüssen von mehr als $1.500 \text{ m}^3/\text{s}$ sind Eisstände in mittleren Eiswintern unwahrscheinlicher geworden. Die Flutstromgrenze liegt dann etwa bei Elbe-km 620 im Stromspaltungsgebiet der FHH. Voraussetzung dafür, daß hier beständige Eisstände nicht eintreten, ist, daß eine ausreichende Zahl von Eisbrechern rund-um-die-Uhr tätig ist, um das Zusammenfrieren des sehr dichten Treibeises in der Flutstromphase zu unterbinden und den Eisabgang

bei einsetzendem Ebbstrom zu fördern. Andererseits verschärft sich die Eislage bei Tidehub dadurch, daß mit dem Wasserspiegelanstieg in die sich vergrößernde Wasseroberfläche das Treibeis von Oberstrom bzw. das vom Flutstrom gegenläufig bewegte Eis eindringen kann. Während der Ebbtide bilden sich auf den Böschungen die Querschnittsfläche verkleinernde ausgeprägte Eissäume, die Scholleneisdecke selbst wird nicht nur dichter, sondern auch dicker. Brückenpfeiler, Dalben und andere Einbauten fester oder schwimmender Art, wie auch Querschnittseinengungen, Krümmungen und die Stetigkeit des Uferverlaufs unterbrechende Hafenbecken begünstigen die Standfestigkeit der ständig dicker werdenden Eisdecke.

Gelingt es den Eisbrechern nicht, diese in der Flutstromzeit entstandene Preßeisdecke in der Ebbtide soweit aufzureißen, daß der Ebbstrom diese abführen kann, ist ein nach Oberstrom fortschreitender Eisstand nicht mehr zu vermeiden.

Wesentlich schwerwiegender entwickeln sich die Verhältnisse, wenn es bei einer Oberwasserführung von mehr als rd. $1.500 \text{ m}^3/\text{s}$ und großer Eismenge zu einem Eisstand im Flutstromgrenzbereich kommt. Eine seltene, aber nicht auszuschließende Lage, wie der Winter 1986/87 bei einer Wasserführung von ca. $2.000 \text{ m}^3/\text{s}$ gezeigt hat. Es gelang den Eisbrechern nicht, in der folgenden Ebbtide den Eisstand aus stark gepreßtem dickem Scholleneis zu beseitigen. Eine bedrohliche Entwicklung der Eislage war die Folge. Die Gründe dafür lagen und liegen in erster Linie in dem durch Eis erzeugten Stau und dem damit verbundenen stark wachsenden Gefälle. Im Bereich des Eisstandes werden große Mengen des Treibeises von der zunehmend stärker werdenden Ebbströmung unter die standfeste Eisdecke gedrückt, wobei das Treibeis infolge der Rauigkeit der stehenden Decke weitgehend unter dieser gefangen wird. Im Bereich geringer Strömungsgeschwindigkeit unter der Eisdecke wird der Abflußquerschnitt nahezu vollständig mit Eis verstopft. Die Folge sind ein weiterer Wasserspiegelanstieg durch Rückstau und hohe Strömungsgeschwindigkeiten in der tiefen Stromrinne. Durch den Rückstau aus der Querschnittsverringering hebt sich die zwischenzeitlich nach Oberstrom gewachsene Eisdecke, die an den Rändern ihren Halt verliert und in Teilabschnitten nachrückt.

Es kommt jetzt beim Auftreffen auf die noch stehende Eisdecke zu Packeis, das sich bis zu schweren Eisversetzungen auswachsen kann. Selbst tiefgehende Eisbrecher sind dann nicht mehr in der Lage, diese Eisstöße kurzfristig aufzulösen. Die infolge der größeren Wasseroberfläche verstärkte Eisbildung führt zu einem schnellen Anwachsen des Eisstandes nach Oberstrom und in seinem Gefolge natürlich zu einem weiteren Wasserstandsanstieg, der die Deiche stark belasten und gefährden kann. Selbst wenn es den Eisbrechern gelingt, den für das Geschehen ursächlichen Eisriegel im Flutstromgrenzbereich schon in der folgenden Ebblide zu durchstoßen, ist ein andauernder Eisstand auf der Oberelbe nicht mehr zu verhindern.

Die Ausdehnung der Eisstände ist nach Dauer und Stärke der Frostperiode sehr unterschiedlich. Infolge der anthropogenen Belastung der Elbe ist heute mit Eisständen von noch rd. 220 km Länge zu rechnen (1986/87 Eisstand bis Elbe-km 392,9, der durch Eisbrecher bekämpft werden mußte).

3.1 Zielsetzungen bei der Beseitigung von Eisstand

Während die Eisbekämpfung im Flußmündungs- und Seegebiet der Unterstützung der Schifffahrt dient, ist diese auf den Flüssen wie der Elbe zunächst eine Maßnahme der Gefahrenabwehr (Verhinderung von gefährlichem Hochwasser durch Wasserretention) und erst dann eine Maßnahme zur Aufrechterhaltung des Schiffsverkehrs.

Es gilt bei

Eintritt des Eiswinters

- möglichst einen Eisstand zu verhindern oder zu verzögern
- unterwegs befindlichen Schiffen das Erreichen von Schutzhäfen zu ermöglichen, bevor ein Eisstand eintritt.

Einsetzen des Tauwetters

- Eisstände aufzulösen, bevor Schmelzwasser zum größeren Wasserspiegelanstieg führt und unkontrollierte Eisabgänge auf Teilstrecken eintreten, die zu schweren Versetzungen des abgehenden Eises führen können, wenn dies auf feststehende Eisdecken oder andere Hindernisse trifft (Gefahr für die Deichsicherheit)
- die Schifffahrtsunterbrechung durch Eis durch einen zeitgerechten Eisauflauf möglichst kurz zu halten.

Eisbrecher sollten nach Möglichkeit zu erreichen versuchen, daß das Treibeis auf der Strecke sich nicht in Verengungen durch Randeis, starken Krümmungen, auf Sandbänken, an Betriebsanlagen (z. B. Staustufen) und im Tidebereich (Flutstrom) festgesetzt und dadurch Eisstände ausgelöst werden.

Auf der regulierten Oberelbe sind derart ausgelöste Eisstände eher unwahrscheinlich geworden; das gilt weitgehend auch für die Staustufe Geesthacht, wo wegen des Fehlens eines Kraftwerkes das abfließende Wasser gänzlich und damit auch das abschwimmende Scholleneis über das Sektorwehr abgeführt wird. Von besonderer Bedeutung ist dies, weil an der Staustufe Geesthacht ein Wasserstand von NN + 4,0 m mit Rücksicht auf den Betrieb eines Pumpspeicherwerkes gehalten werden muß. Das aber ist nur dann sicherzustellen, wenn die für die hydraulische Steuerung der Sektoren des Wehres erforderlichen Randbedingungen erfüllt bleiben. Eine Überdeckung der Sektoren mit Eis muß ebenso verhindert werden wie eine Beeinträchtigung der Steuerfähigkeit des Wehres durch Wasserrückstau infolge Eis unterhalb des Wehres.

Der neuralgische Bereich für Eisstände aber ist der Tidebereich der Elbe, wo Treibeis von Eisbrechern ständig in Gang gehalten werden sollte. Das aber ist, wie eingangs dargestellt, der Tide wegen auf der Elbe oft nicht möglich.

3.2 Auswirkungen des Eisstandes, Abläufe in seiner Bekämpfung

Ist es aus den unter Abs. 3 beschriebenen Gründen zum Eisstand auf der Oberelbe gekommen, stellt sich in mittleren Wintern die Frage, ob ein sofortiger Eisauflauf geboten ist. Denn jeder Eisauflauf unter Frost begünstigt die neuerliche Eisbildung und bringt folglich neue Beschwerden. Im Hafengebiet Hamburgs wird die Hafengebehörde dessen ungeachtet alle Anstrengungen machen, durch Eisbrecherunterstützung Schiffsbewegungen solange wie möglich zu gewährleisten, um die wirtschaftlichen Schäden durch Eisbehinderung für den Seehafen Hamburg so niedrig wie möglich zu halten.

Die Aufnahme des Eisauflaufs auf der Oberelbe oberhalb des Hafens Hamburg entscheidet sich nach folgenden Kriterien:

- jahreszeitlicher Stand des Winters,
- zu erwartende Wetterentwicklung (kurz bis mittelfristig),
- Grad der Beeinträchtigung an der Staustufe Geesthacht.

Ist es zu einem Eisstand in der Tideelbe gekommen, so wird ungeachtet der Wetterlage und -entwicklung aus Erfahrung am Wehr Geesthacht der Eisauflauf bis zum Oberwasser Geesthacht eingeleitet, um die Steuerfähigkeit des Wehres sicher- bzw. wiederherzustellen.

Die hydraulische Steuerfähigkeit des Wehres der Staustufe Geesthacht ist insbesondere deswegen besonders bedroht, weil sich unterhalb der erosionsicher gepanzerten Sohle ein bis zu 13 m tiefer Kolk befindet. Durch die Querschnittsvergrößerung und die dadurch stark herabgesetzte Fließgeschwindigkeit kommt es hier zu einer stärkeren Eiskonzentration. Dieser Effekt wird zusätzlich überlagert oder begünstigt durch vorübergehende Eisstände im Tidebereich der Oberelbe, z.B. infolge höherer Flutwasserstände.

Ist es im Kolkbereich zum Eisstand gekommen, so schiebt sich unter die hier aufgebaute Eisdecke das von Oberstrom weiterhin zufließende Scholleneis. Das beim Wehrüberfall z.T. zerkleinerte Eis mit dem unter den Schollen gefangenen Grundeis bildet ein kolloidales Wasser-Eisgemisch (Eisbrei), das die über dem Kolk stehende Eisdecke sehr schnell mit Treibeis unterwärts anreichert. In strömungsschwächeren Bereichen füllt sich der Abflußquerschnitt schließlich bis zur Sohle mit Eis.

Die Folge ist ein Wasserrückstau, der den Unterwasserstand dem auf NN + 4,0 m (Pumpspeicherbetrieb) festgelegten Stauspiegel angleicht. Bei einer Wasserspiegeldifferenz von etwa 0,3 m zwischen Ober- und Unterwasser verliert das hydraulisch gesteuerte Sektorwehr seine Steuerfähigkeit. Der die Sektoren stützende Wasserüberdruck in den Sektorkörpern ist dann soweit abgebaut, daß diese sich in die Tiefstlage absenken. Das nunmehr nahezu stetige Gefälle über dem Wehr begünstigt den Aufbau einer Eisdecke über die Wehrkörper hinweg stromaufwärts in den Staubeereich des Wehres hinein und über diesen hinaus.

Seit Inbetriebnahme eines Kernkraftwerkes (KKW) bei Geesthacht wird durch die Kühlwassereinleitung etwa 5 km oberhalb des Wehres das Eisgeschehen beeinflusst. Nachteilig ist, daß die nach Oberstrom wachsende Eisdecke infolge der Tauwirkungen des Kühlwassers sich nicht konsolidieren kann. Es kommt auf der Strecke zwischen der Kühlwassereinleitung und dem Wehr zu Eistrückungen.

Die Flußgeometrie der Elbe im Abschnitt des Wehrrames und die Abzweigung des oberen Schleusenkanals begünstigen bei Eistrückungen die Entstehung von Packeis und Eisversetzungen im Bereich der Einmündung des oberen Schleusenkanals (das Eisgeschehen des Winters 1986/87 bestätigt die prognostizierten Wirkungen eindrucksvoll).

Der von der Kühlwassereinleitung bewirkte fortschreitende Schmelzprozeß führt aber auch zur Eisabnahme über das Wehr hinaus bis in den Kolkbereich hinein, so daß dort der Wasserrückstau geringer wird; mit dem sich vergrößernden Gefälle verbessert sich wiederum die Steuerfähigkeit der Sektoren.

Während es vor der Inbetriebnahme des KKW etwa zwei Tage dauerte, die Eisversetzung im Kolkbereich des Wehres durch Eisbrecher zu räumen, ist das unter Wirkung des Kühlwassers heute in etwa einem halben bis zu einem Tag zu schaffen; wobei die gesteigerte Leistungsfähigkeit der eingesetzten Eisbrecher allerdings nicht unerwähnt bleiben darf (siehe Abs. 5).

Die für die Betriebssicherheit des Wehres günstigen Wirkungen der Kühlwassereinleitung des KKW sind bei der Entscheidung über den Zeitablauf des Eisaufbruchs in der Tidestrecke ebenso zu bedenken wie die Eisversetzungen oberhalb des Wehres, die zu räumen etwa einen Tag dauerte und die erhebliche Erosionsschäden in der oberen Vorhafeneinfahrt und deren Entlastungskanal zur Folge hatte.

Ob der Eisaufbruch oberhalb der Staustufe Geesthacht sogleich fortgesetzt wird, richtet sich nach dem jahreszeitlichen Stand des Winters und der herrschenden Kälte. Ist Tauwetter mit Wirkungen auf die Eisdecke zu erwarten, so wird der Eisaufbruch oberhalb der Staustufe auch bei noch herrschendem Frost fortgesetzt. Andernfalls wird dieser in Geesthacht unterbrochen. Während ein Teil der Eisbrecherflotte (gewöhnlich 3 - 4 Eisbrecher) nach Hamburg zurückkehrt, um bei einer Frostverschärfung und neuer Eisbildung den Eisabgang in der Tidestrecke zusammen mit den Eisbrechern der Hafenbehörde zu fördern oder zu sichern, verbleiben die stärksten Eisbrecher in Geesthacht für den weiteren Eisaufbruch nach Oberstrom.

Die hohe Leistungsfähigkeit der Oberelbe-Eisbrecher legt nahe, in jahreszeitlich fortgeschrittenen Wintern den Eisaufbruch auch bei noch herrschendem Frost sogleich fortzusetzen. Denn unter Frost stehendes Eis ist spröder und es läßt sich in diesem Zustand besser brechen. Beim Übergang zum Tauwetter wird dagegen das Eis deutlich zäher. Der frühzeitige Eisaufbruch vermindert die Gefahren für die Deiche. Eistrückungen oder Eisabgänge infolge überraschend eintretenden Tauwet-

Deutsche Beiträge zu PIANC-Schiffahrtskongressen seit 1949 1990-03
ters (häufig mit Niederschlägen als Regen verbunden), die gefährliche Entwicklungen der Eislage nicht ausschließen, kann vorbeugend und rechtzeitig begegnet werden. Die Schifffahrt kann im übrigen ihren Betrieb eher wieder aufnehmen.

Die Möglichkeit einer zweiten Vereisung, die in einem extremen Eiswinter nicht auszuschließen ist, sollte dabei in Kauf genommen werden.

3.3 Techniken der Eisbekämpfung auf der Oberelbe

Die Scholleneisdecke auf der Oberelbe, ob in der Tide-, in der freifließenden oder staubeeinflußten Strecke, wird durch im Verband arbeitende Eisbrecher aufgebrochen. Im Tidebereich bis zur Staustufe Geesthacht kann natürlich jeweils nur die Phase der Ebttide genutzt werden, damit das aufgebrochene Eis auch abtreiben kann.

Vor der Niedrigwasserregulierung der Elbe war es üblich, zunächst eine relativ schmale Rinne in die Eisdecke zu brechen und diese Rinne durch das Fahren mit hoher Geschwindigkeit in der Rinne und die dadurch erzeugten Wellen zu erweitern. Für dieses sogenannte „Rändern“ gab es zwei Gründe. Zum einen hatten die damals eingesetzten Dampfeisbrecher nicht die Antriebsleistung wie die heute eingesetzten Dieseleisbrecher. Zum anderen zwangen dazu die im unregulierten Flußbett verbreitet anzutreffenden Sandbänke, die von den Eisbrechern wegen der hier herrschenden unzureichenden Wassertiefen nicht überfahren werden konnten. Um auch die Eisdecken über den Sandbänken zu zerstören und eine möglichst breite Rinne für den Eisabgang zu erreichen, blieb nur das „Rändern“.

Heute wird auf dem regulierten Strom „vor Ort“ im Verband gearbeitet, um die Eisdecke möglichst bis an die beiderseitigen Streichlinien zu zerstören. Weil es infolge des im Nahbereich der unteren Eiskante sich einstellenden stärkeren Gefälles (Wasserretention unter der Eisdecke und freier Abfluß in der aufgebrochenen Strecke) häufig zu Eisabrissen kommt, haben unterhalb des Eisbrecherverbandes die leichteren und schwächeren Eisbrecher den störungsfreien Abgang zu kontrollieren und dabei noch vorhandene großflächigere Schollen zu zerkleinern. Wo wegen unzureichender Wassertiefe bei Niedrigwasser die Eisbrecher größere Abstände von der Streichlinie halten müssen, wird auch heute noch von den nachlaufenden oder im rückwärtigen Gebiet arbeitenden Eisbrechern die Methode des Ränderns angewendet. Die Zahl der vor Ort arbeitenden Eisbrecher richtet sich nach der Breite des Flusses zwischen den Streichlinien (215 m bei Lauenburg) und der Dicke der Eisdecke und der aufgeeisten Strecke. Je länger die hinter den vor Ort arbeitenden Eisbrechern liegende, das gebrochene Eis führende Strecke wird, um so mehr Eisbrecher sind zur Sicherstellung des Eisabganges im rückwärtigen Gebiet abschnittsweise einzusetzen; wobei der Stauraum der Staustufe Geesthacht (verlangsamte Fließgeschwindigkeit) und die Tidestrecke zwischen dem Wehr Geesthacht und

Deutsche Beiträge zu PIANC-Schiffahrtskongressen seit 1949 1990-03
dem Hafengebiet Hamburgs besondere Aufmerksamkeit erfordern. Aus Gründen gegenseitiger Unterstützung werden im rückwärtigen Gebiet die hier arbeitenden Eisbrecher möglichst in Zweiergruppen zusammengefaßt.

Eine im Verband vor Ort arbeitende Gruppe von 6 – 8 Eisbrechern erreichte bei einer Eisdecke aus flächig zusammengefrorenem Scholleneis bei höherer Wasserführung unter den auf der Oberelbe in strengen Wintern herrschenden Eisverhältnissen eine Stundenleistung bis annähernd 2 km. Bei stark gepreßtem Eis oder wenn die Aufbruchgeschwindigkeit unter rd. 1 km/h abfällt, kann auf das „Boxen“ einzelner Eisbrecher innerhalb des Verbandes allerdings nicht verzichtet werden. Diese stoßen dann mit voller Fahrt in das Eis und schieben sich so mit ihrem Bug weit auf die Eisoberfläche vor. Das Boxen übernehmen zunächst und überwiegend die schwächeren Eisbrecher im Verband. Während die stärksten und mit Stampfanlagen ausgerüsteten Eisbrecher an der Eiskante brechen, wird von allen anderen Eisbrechern im Wechsel geboxt.

Der Eisaufbruch auf der Oberelbe wird auf die Tageszeit beschränkt, wo durch ausreichende Licht- und Sichtverhältnisse die Vorgänge in der vor den Eisbrechern liegenden Eisdecke von der Besatzung der Eisbrecher oder von Landbeobachtern auf Kraftfahrzeugen, die mit den Eisbrechern über Funk in Verbindung stehen, rechtzeitig erkannt werden können. Denn auf gestreckten Flußabschnitten muß damit gerechnet werden und es passiert immer wieder, daß Eisdecken auf größeren Längen (bis zu mehreren Kilometern), infolge des durch den Eisaufbruch zwischen den mit Eis bedeckten und aufgebrochenen Flußabschnitten erzeugten stärkeren Spiegelgefälles, abreißen. Kommt es zu Eisabrissen auf größerer Länge, so sind die vor Ort arbeitenden Eisbrecher, insbesondere zunächst die an den Rändern arbeitenden, aus Sicherheitsgründen sofort in den nächstliegenden Hafen oder einen Schutz bietenden Flußabschnitt zurückzunehmen. Diese abtreibenden Eisfelder, die sich erst nach einer Strecke von 1 – 2 km entsprechend der vom Spiegelgefälle abhängigen unterschiedlichen Strömungsgeschwindigkeit in Schollen zerlegen und dadurch auflockern, können im Eisfeld eingeschlossene Eisbrecher auf Strombauwerke drücken.

Die auf der Oberelbe, einem Flachlandfluß, gesammelten Erfahrungen und angewandten Techniken in der Eisbekämpfung sind natürlich nicht ohne weiteres auf andere Flußregime zu übertragen.

4. Grundsätzliches zur Eisbekämpfung auf dem Elbe-Lübeck-Kanal (ELK), dem Elbe-Seitenkanal (ESK) und der Oststrecke des Mittellandkanals (MLK)

Für die Eisbekämpfung auf den genannten Kanälen ist die Mehrzahl der Oberelbe-Eisbrecher von ihrem Tiefgang und ihrer Aufbautenhöhe bei Ausnutzung der Trimmmöglichkeiten und in Einzelfällen durch zusätzliches Ballastieren geeignet und auch zeitgerecht verfügbar.

Das gilt sowohl für die Unterstützung der Schifffahrt auf den Kanälen in der Phase der Eisbildung als auch für die zeitgerechte Aufeisung der Kanäle für die Wiederaufnahme der Schifffahrt bei zu erwartendem Tauwetter.

Einerseits vereisen diese Kanäle schneller als die antropogene stark belastete Oberelbe, andererseits ist der Eisaufruch auf der Oberelbe beim heutigen Vorgehen dank der technischen Leistungsfähigkeit der Eisbrecher abgeschlossen, bevor der Eisaufruch auf den Kanälen geboten ist. Das heißt auch auf den Kanälen wird mit dem Eisaufruch begonnen, wenn noch (leichter) Frost herrscht und der Übergang zu Tauwetter meteorologisch prognostiziert ist. Zu diesem Zeitpunkt wird der Tauprozeß im Eis nach der Zerstörung der Eisdecke begünstigt und eine schnelle Wiederaufnahme der Schifffahrt ermöglicht.

Auf dem ESK zerstören drei im Verband fahrende Eisbrecher die bis zu 40 cm starke Eisdecke auf einer mittleren Breite von rd. 30 m. Auf diese Weise entsteht bei hoher Aufbruchgeschwindigkeit eine ausreichend breite Fahrrinne mit stark zerkleinertem Eis. Die unzerstört bleibenden Eisränder an den Ufern schützen die Uferdeckwerke vor Stoßbelastungen während des Eisaufruchs.

Der MLK mit seinen Zweigkanälen läßt im Bereich kleinerer Wasserspiegelbreiten ebenso wie der ELK einen Verband von zwei Eisbrechern zu.

Der Verkehr auf diesen Kanälen muß wegen Vereisung oder Behinderung durch Eis im Mittel an rd. 20 Tagen eingestellt werden.

Der Aktionsbereich der Oberelbe-Eisbrecher des WSA Lauenburg umfaßte im Eiswinter 1986/87 rd. 200 km auf der Oberelbe und rd. 300 km auf den Kanälen (siehe Kartenausschnitt).

5. Eisbrecherschiffe, Bauformen und Antriebsanlagen

1889 wurden die ersten Eisbrecher für die Oberelbe gebaut. Die nunmehr rd. 100-jährigen Erfahrungen und Entwicklungen lassen die Feststellung zu, daß die damals angewendeten Konstruktionsprinzipien auch heute noch weitgehend ihre Gültigkeit haben. Dagegen hat die Entwicklung im Schiffbau und insbesondere im Schiffsmaschinenbau die Wirksamkeit der Eisbrecher wesentlich gesteigert.

Folgende Konstruktionsmerkmale sind für Flußeisbrecher herauszustellen:

1. Die Länge des Eisbrechers soll gegenüber der Breite im Interesse einer guten Manövrierfähigkeit gering gehalten werden ($L: B = 4$).
2. Die Hauptspanten des Eisbrechers sollten der Halbkreisform möglichst angenähert werden und in der Wasserlinie nach außen geneigt sein.
3. Das Vorschiff soll keilförmig, der Spantausfallwinkel bis zu rd. 40° groß sein.

4. Eisverstärkte Verstellpropeller, angetrieben von unmittelbar auf die Schraubewelle arbeitenden Motoren (Langsam-/Mittelschnellläufer, bis rd. 450 UpM) werden empfohlen.
5. Der von den Tiefgängen im wesentlichen vorgegebene maximale Propeller-Durchmesser sollte die Leistung des Antriebsmotors bestimmen. Ein Verstellpropeller mit 1,4 m Durchmesser ist mit rd. 430 kW optimal belastet, d.h. auf 1 m² Rotationsfläche des Propellers sollten rd. 280 kW entfallen.
6. Stampfanlagen sollten in jedem Fall vorhanden sein, wenn Eisdecken in Stärken anzutreffen sind, die zum „Boxen“ zwingen.
7. Kräftige, sehr schnell zu bewegendende Ruder mit guter Wirkung in der Langsamfahrt.
8. Ballasttanks zur Änderung der Tauchtiefen je nach Wasserständen.

Eis auf einem vereisten Fluß mit Abschnitten starker Pressungen und Versetzungen ist von Eisbrechern mit keilförmigen Vorschiffen am besten zu bekämpfen, während Schiffe in Pontonform hier ungeeignet wären. Gegen eine derartige Bauform spricht dagegen nichts, wenn die Eisbrecher nur auf Kanälen oder Gewässern mit reinem Oberflächeneis eingesetzt werden, weil hier der geringe Widerstand des Eises gegen Scherbruch ausgenutzt werden kann. Große Spantausfallwinkel im Vorschiffbereich erhöhen die das Eis zerstörenden Kräfte. Ein 1981 für die Oberelbe in Dienst gestellte Doppelschraubeneisbrecher besitzt sog. „Schultern“, eine Verbreiterung im Vorschiffbereich um beiderseits 25 cm, um größere Spantausfallwinkel bis zur größten Breite zu erreichen und die vom anschließenden Schiffskörper ausgehenden Reibungswiderstände im Eis noch mehr zu mindern als die mit ei- oder tropfenförmig gestalteten Schwimmwasserlinien möglich ist. Konvex geformte Spanten begünstigen im übrigen nicht unwesentlich die wichtige Manövrierfähigkeit eines Eisbrechers. Der Versuch, auch Binneneisbrecher künftig mit Luft-Wasser-Düsen im vorderen Unterschiffsbereich auszurüsten, um die Reibung im Eis zu mindern, scheiterte daran, daß das dafür angesaugte, stark mit Eisschlamm durchsetzte Außenwasser die in Kiel- und Propellernähe angebrachten Seekästen trotz Wechselbetriebes nachhaltig verstopft.

Mit Verstellpropellern kann der Eisbrecher ohne Änderung der Motorendrehzahl und -richtung an die Ersatzerfordernisse und Widerstände im Eis durch Veränderung der Flügelstellung angepaßt und die Schubleistung optimiert werden.

Mit einer dem Propellerdurchmesser angepaßten Antriebsleistung lassen sich mittlere Eisverhältnisse weitestgehend ohne „Boxen“ und ohne Verwendung der Stampfanlage überwinden. Vorzug gebührt langsam bis mittelschnell laufenden Motoren, die unmittelbar auf die Welle arbeiten.

Ruderanlagen, bei Einschraubenschiffen (Einfachruder!), mit gutem Wirkungsgrad erhöhen die Leistungsfähigkeit eines Eisbrechers. Das gilt insbesondere auch für die Rückwärtsfahrt.

Flußeisbrecher müssen sich durch schnell umpumpbares Ballastwasser unterschiedlichen Wassertiefen zügig und optimal anpassen können, um einerseits bei niedrigen

Wasserständen den Tiefgang verkleinern und andererseits bei größeren Wassertiefen diesen vergrößern zu können, um den Propellerschub zu verbessern ohne dadurch die Wirksamkeit des Vorschiffes im Eis zu mindern. Gute Ballastiermöglichkeiten des Eisbrechers machen diesen im übrigen unabhängiger von begrenzten Brückendurchfahrtshöhen bei Tidehochwasser oder auf Kanälen.

6. Schlußbetrachtung

Seit rd. 100 Jahren wird mit Spezialschiffen das für die Deichsicherheit bedrohliche und für die Schifffahrt hinderliche Eis auf der Oberelbe bekämpft. Bei der Weiterentwicklung der Eisbrecher und der Eisbrechetechnik wurden die vorstehenden Gesichtspunkte beachtet.

Die Erfahrungen haben gezeigt, daß Voraussetzung für die Gefahrenabwehr auf der Oberelbe eine leistungsfähige Eisbrecherflotte ist und daß diese bei entsprechender Einsatzplanung für die Eisbekämpfung auf den Kanälen zwischen Lübeck (ELK) und Hannover (ESK und MLK) rechtzeitig zur Verfügung stehen kann, um dort die Schifffahrtsunterbrechung durch Eis so kurz wie möglich zu halten; ein für Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen wichtiger Faktor.

Es sei angemerkt, daß in der Vergangenheit immer wieder Überlegungen angestellt wurden, inwieweit auf schiffbaren Flüssen und Kanälen durch Warmwassereinleitungen Eisbehinderungen vermieden werden könnten, um den Eisbrecher überflüssig zu machen, bzw. Schifffahrtsunterbrechungen durch Eis erst gar nicht entstehen zu lassen. Anthropogene Einflüsse haben die Eisprobleme in Binnenwasserstraßen durchaus verringert. Dennoch zeigt sich für die Elberegion, daß die vorhandenen Warmwassereinleitungen immer nur punktuelle Entlastungen für die Eisbekämpfung durch Eisbrecher gebracht haben. Ein gemischter Kühlbetrieb von Kraftwerken, direkte Einleitung des Kühlwassers im Winter und Kühlturbetrieb im Sommer, ist bisher weitgehend an hohen Kosten, wie auch an standortbedingten technischen Gründen gescheitert.

Ökologische Gründe dürften die Nutzung von industrieller Abwärme zur Verringerung der Eisbildung auf Wasserstraßen in der Zukunft weiter einschränken. Schon geringe Erhöhungen der Wassertemperaturen durch eingeleitetes Kühl- oder industrielles Brauchwasser haben Auswirkungen auf Kleinlebewesen und Mikroorganismen. Dagegen sind die von Eisbrechern ausgehenden kurzzeitigen dynamischen und thermischen (Kühlwasser) Wirkungen auf Ökosysteme praktisch wirkungsneutral.

Unter den in der Zukunft gebotenen und zu erwartenden ökologischen Rahmenbedingungen wird der Eisbrecher als Instrument der Eisbekämpfung und in der Unterstützung der Schifffahrt im Eis seine Bedeutung behalten. Die Schifffahrt wird Verkehrsunterbrechungen durch Eis auch in der Zukunft hinnehmen müssen. Durch die Bereitstellung ausreichender Eisbrecherkapazitäten lassen sich diese so kurz wie möglich halten. Für die in diesem Aufsatz behandelten Wasserstraßenbereiche sind die Voraussetzungen dafür erfüllt.