

Abteilung I

Binnenwasserstraßen und Binnenhäfen

(für gewerbliche und Freizeitschifffahrt)

zu Thema 2:

Thema des deutschen Berichts

A: Grundsatz der Berechnung von Bauwerken gegen Eislasten

B: Die Elbe als Beispiel für den Kampf gegen das Eis

Berichterstatter:

A: Prof. Dr.-Ing. Martin Hager, früher Bundesverkehrsministerium, Bonn

B: Dipl.-Ing. Erich Kleine, BauDir. a.D.

Teil I:

Grundsätze der Berechnung von Bauwerken gegen Eislasten

1. Allgemeines

Probleme der Eisbildung in Gewässern, ihrer Eigenschaften und Wirkungen auf die Schifffahrt und auf Anlagen im und am Gewässer in Abhängigkeit von den großräumigen und örtlichen Gegebenheiten, der Art der Entstehung unter den jeweiligen klimatischen und hydrologischen Verhältnissen, den Gewässergüte- und Temperaturverhältnissen sind in der Vergangenheit in zahlreichen Abhandlungen, nicht zuletzt im Internationalen Schifffahrtskongreß 1973 unter dem Thema II - 4 [3] oder im Bericht „Ice Navigation“ of the Working Group 3 of the Permanent Technical Committee (PTC) II dargestellt worden. [4]

Unterschiedliche Voraussetzungen und Schwierigkeiten bei der Entwicklung einheitlicher Methoden zur Bestimmung und Messung der jeweiligen Eigenschaften und Wirkungen des Eises haben die Entwicklung einheitlicher Aussagen und Regeln erschwert.

Für Wasserstraßenbereiche in gemäßigten Klimazonen wie in der Bundesrepublik Deutschland kann festgestellt werden, daß die Eisbildung in den Binnenwasserstra-

ßen durch Brauch- und Kühlwassereinleitungen in den letzten Jahrzehnten stark rückläufig gewesen ist, so daß nennenswerte Eissituationen auf extreme Witterungsverhältnisse beschränkt geblieben sind. Aber auch dann konnten durch rechtzeitige Eisbekämpfung längere Unterbrechungen der Schifffahrt meist ebenso verhindert werden wie größere Schäden am Gewässerbett, den Uferdeckwerken und Bauwerken in und am Gewässer.

Aus diesen Gründen und den Erfahrungen über die Standfestigkeit der Anlagen gegen Eislasten war es möglich und vertretbar, außer für empfindlichere Bauten, wie Stahlwasserbauten, auf detaillierte Lastannahmen für Wasserstraßenanlagen im Binnenbereich weitgehend zu verzichten.

In den Unterläufen größerer Ströme zwingen dagegen die größeren Natureinwirkungen zur Berücksichtigung realistischer Eislasten.

In den Regelwerken standen früher für Hafen- und Wasserstraßenbauten geeignete, leicht handhabbare Berechnungsansätze außer allgemeineren Hinweisen für den Küsten- und küstennahen Bereich nicht zur Verfügung. Der Arbeitsausschuß „Ufer-einfassungen“ (Committee for Waterfront Structures) hat es deshalb übernommen, unter Berücksichtigung wissenschaftlicher und praktischer Erfahrungen eine entsprechende Empfehlung zu erarbeiten und der Fachwelt zur Verfügung zu stellen.

Wie allgemein bekannt sein dürfte, bearbeitet dieser Ausschuß fortlaufend Berechnungs- und Konstruktionsempfehlungen und paßt diese dem jeweiligen Stand der Technik an und stellt diese dann in einem Sammelband in fünfjährigem Abstand – zuletzt in der Fassung

„Recommendations of the Committee for Waterfront Structures“
– EAU 1985 – Fifth Edition

zur Verfügung. Im Rahmen dieser Arbeiten wurde auch ein Vorschlag für Eislasten erarbeitet und im Zuge der laufenden Veröffentlichungen im sogenannten „Technischen Jahresbericht 1984 des Arbeitsausschusses Ufer-einfassungen“ als Empfehlung

„E 177 Eisstoß und Eisdruck auf Ufer-einfassungen, Fenderungen und Dalben“ bekanntgemacht. Eine aktualisierte und verbesserte Fassung, die den heutigen Wissens- und Erfahrungsstand berücksichtigt, wird in die nächste Sammelveröffentlichung – die EAU 1990 – aufgenommen werden.

Am Rande sei vermerkt, daß diese Arbeiten zugleich im Interesse der internationalen Harmonisierung Technischer Regeln liegen, was auch dem wirtschaftlichen und politischen Willen internationaler Gremien entspricht.

Die wesentlichen Gesichtspunkte einer allgemein anwendbaren Empfehlung für Eislasten werden im folgenden erläutert.



Eisbrecher der Bundesrepublik Deutschland und der DDR gemeinsam auf der Elbe

2. Empfehlung für „Eisstoß und Eisdruck auf Ufereinfassungen, Fenderungen und Dalben im Küstenbereich“

Grundprinzipien für eine einheitliche Eislastempfehlung waren und sind

- Berücksichtigung möglichst aller Anlagen an oder in Häfen und Wasserstraßen, die durch Eislasten beansprucht werden können.
- Schaffung einfacher und übersichtlicher Berechnungsansätze, die die vorkommenden Beanspruchungen wirklichkeitsnah erfassen.
- Entwicklung aller Lastangaben aus den Eiseigenschaften, was die unmittelbare Übertragung auf andere Verhältnisse ermöglicht und zu Grenzlasten ohne weitere Sicherheitsbeiwerte führt.

Auf die verschiedenen Arten möglicher Eiseinwirkungen und die Faktoren, die deren Größe bestimmen, wurde lediglich hingewiesen, während auf die Angabe von Einzelverfahren wegen der Unsicherheit ihres Wirksamwerdens zugunsten genereller Ansätze verzichtet wurde. Letztere stützen sich auf bekannte Forschungen und praktische Erfahrungen. Darüber hinaus wird auf die Möglichkeiten des Vergleichs mit etwa vorhandenen Anlagen und deren Bewährung verwiesen.

2.1 Eislasten auf Ufereinfassungen

Für die Ermittlung waagerechter Eislasten auf Flächenbauwerke, also solche größerer Längenausdehnung in Bezug auf die Eislastrichtung, werden nach den Erfahrungen im norddeutschen Küstenraum aus einer Eisdruckfestigkeit $\delta_0 = 1,5 \text{ MPa}$ (MN/m^2) abgeleitet, die bei Eistemperaturen nicht wesentlich unter dem Gefrierpunkt eine sehr geringe Überschreitungswahrscheinlichkeit besitzt.

Mit einer Eisdicke von 50 cm und einem rechnerischen Kontaktbeiwert $k = 0,33$ ergibt sich die in Wasserspiegelhöhe wirkende Linienlast $p_e = 250 \text{ kN/m}$, die unabhängig von der Konstruktionsart angesetzt werden kann.

Für Bühnen und Deckwerke in Tidegebieten tritt wegen der dort stets gebrochenen Eisdecke ein weiterer Lastminderungsfaktor $f = 0,4$ hinzu, der die dann geringere Belastbarkeit des Scholleneises und die weitere Abnahme der Kontaktfläche einschließt, so daß die Linienlast auf $p_e = 100 \text{ kN/m}$ zurückgeht.

Für die Berechnung von Einzelbauteilen wird der Ansatz der Last entsprechend der Eisfestigkeit empfohlen, hier also $\delta_0 = 1,5 \text{ MPa}$.

Die gleichzeitige Wirkung von Wellenlasten oder Schiffsstößen wird wie üblich nicht vorgesehen.

Als lotrechte Zusatzlast aus Vereisung sind $0,9 \text{ kN/m}^2$ angenommen, was einer Eisschicht von 10 cm entspricht.

Bei Wasserspiegelschwankungen kommen im Falle von angefrorenem und gegebenenfalls unter einem Baukörper befindlichen Eis zusätzliche Vertikallasten in Betracht, die sich als Auftrieb des Eisvolumens mit $\Delta \gamma_e = 1,0 \text{ kN/m}^3$ oder bei Spiegelsenkung als größte Gewichtslast mit $\gamma_e = 9,0 \text{ kN/m}^3$ darstellen. Ihre Berücksichtigung beschränkt sich meist auf leichte Anlagen, bei denen auch kleine Lastanteile von Bedeutung sind.

Die Lasten für thermischen Eisdruck können theoretisch große Werte erreichen. Da die Wirkung der Wärmedehnung raschen Temperaturanstieg von sehr tiefen Kältegraden voraussetzt, die im norddeutschen Küstenraum ohnehin nicht auftreten, und das Wärmedehnverhalten bei Eis mit höherem Salzlaugengehalt erst unterhalb tieferer Minustemperaturen einsetzt, und die Belastungsgeschwindigkeit nicht im Bereich größter Festigkeitswerte liegt, wurde die mögliche Flächenlast gegenüber der Eisfestigkeit mit den Faktoren $0,33 \cdot 0,8$ auf $p_e = 400 \text{ kN/m}^2$ abgemindert.

2.2 Eislasten auf Pfähle von Pfahlbauwerken oder auf Einzelpfähle

Bei den Berechnungsansätzen für Pfähle ist von den Entwicklungen nach [7] für schlanke Baukörper und den versuchstechnisch belegten Vergleichsgrößen und den daraus abgeleiteten Formelbeiwerten nach [6] ausgegangen. Es sind wiederum die Eisfestigkeiten eingeführt, die den jeweiligen Gegebenheiten angepaßt werden kön-

nen. Im Hinblick auf die Empfindlichkeit der Bauelemente und der an sie zu stellenden Sicherheitsanforderungen wurden auch für den deutschen Küstenraum bereits unterschiedliche Werte vorgeschlagen:

$$\text{Nordsee-Eis} \quad \delta_0 = 1,5 \text{ MN/m}^2$$

$$\text{Ostsee-Eis} \quad \delta_0 = 1,8 \text{ MN/m}^2$$

$$\text{Süßwasser-Eis} \quad \delta_0 = 2,5 \text{ MN/m}^2,$$

wobei wie vorher von mäßigen Kältegraden ausgegangen wird und die statistische Überschreitungswahrscheinlichkeit unter 5% liegt.

Wegen des erheblichen Einflusses der Eisdicken sind je nach örtlichen Messungen Werte zwischen 30 und 80 cm angegeben.

Bei allen Formelangaben mußte nach lotrechter oder geneigter Oberfläche und nach der jeweiligen Querschnittsform unterschieden werden, weil das Eintreten des Bruches des Eises vom Spannungs- und Verformungsbild im Schneide-, Zerdrückungs-, Abscher- oder Biegevorgang abhängt, so daß sehr unterschiedliche Grenzlasten erreicht werden.

Mit diesen Grundlagen lassen sich die maßgebenden Lasten in einfacher Weise finden, wobei alle Lastgrößen in MN (Meganewton) und alle Längen in m (Meter) angegeben werden:

Eislast auf lotrechte Pfähle:

$$\text{infolge Treibeis} \quad p_p = 0,56 \cdot \delta_0 \cdot d^{0,5} \cdot h^{1,1}$$

$$\text{infolge schieben-} \\ \text{dem Eis} \quad p_i = \delta_0 \cdot d^{0,68} \cdot h^{1,1}$$

für keilförmig ausgebildete Pfähle.

Für Rechteckpfähle erhöht sich p_i um 40%.

Für Rundpfähle ist stets p_p maßgebend.

Eislast auf geneigte Pfähle:

$$\text{infolge Scherbruch} \quad p_s = c_{fs} \cdot \delta_0 / 6 \cdot k \cdot \tan \beta \cdot d \cdot h$$

mit $c_{fs} = 1,1$ bis $2,9$ je nach Keilwinkel

$$\text{infolge Biegebruch} \quad p_b = c_{fb} \cdot \delta_0 / 3 \cdot \tan \beta \cdot d \cdot h$$

mit $c_{fb} = 0,16$ bis $0,38$ je nach Keilwinkel und Neigungswinkel β

Die Formel für geneigte Pfähle sind bis zu einem Neigungswinkel $\beta = 80^\circ$ (Neigung 6 : 1) anwendbar. Steilere Pfähle sind wie lotrechte Pfähle zu behandeln.

Bei Pfahlgruppen kann die Summenbildung der Einzellasten in der Regel auf die vordere Pfahlgruppe beschränkt werden.

3. Weitergehende Anwendung

Die vorgelegten Berechnungsvorschläge sind für die Verhältnisse im deutschen Küstenraum entwickelt worden. Sie lassen sich ohne weiteres auf andere Verhältnisse übertragen, wenn dort andere Größen der Eisfestigkeit maßgebend sind.

Sie sind auch auf die Verhältnisse in Binnenwasserstraßen mit den dort geltenden Eingangsgrößen übertragbar. Eine Ergänzung für die deutschen Binnenwasserstraßen ist in Vorbereitung. Die für Pfähle gegebenen Ansätze sind dabei auch auf schlanke Bauwerke wie Brückenpfeiler oder Eisabweiser an Bauten im Gewässer übertragbar. Lediglich die Frage möglicher Packeisbildung und des Eisversatzes bedarf hier der Ergänzung.

Es ist zu hoffen, daß damit ein wichtiger Beitrag zu praktikablen und einheitlich verwendbaren Regelungen gegeben wurde.

Literatur

- [1] Recommendations of the Committee for Waterfront Structures
EAU – 1985 – Fifth Edition, Ernst & Sohn 1986 Berlin.
- [2] Technischer Jahresbericht 1984 des Arbeitsausschusses Ufereinfassungen
Bautechnik 12/1984.
- [3] XXIII rd International Navigation Congress Ottawa 1973
Subject II – 4 Effects of Ice
- [4] Ice Navigation Report of a working Group of the PTC II
PIANC Bulletin No 46 (1984).
- [5] Schwarz, J., Treibeisdruck auf Pfähle
Mitt. Franziusinstitut Hannover H. 24, 1964.
- [6] Schwarz, J., Hirayama, K., Wu, H. C. Effect of Ice Thickness on Ice Forces
Proceedings Sixth Annual Offshore Techn. Conference Houston, Texas 1984.
- [7] Korzhavin, K. N., Action of Ice on Engineering Structures
Translation 260 Hanover, New Hampshire 1971.

Zusammenfassung

Probleme der Eisbildung, der Einwirkungen von Eis auf die Anlagen der Wasserstraßen und der Behinderungen der Schifffahrt durch Eis haben sich in gemäßigten Klimazonen durch die anthropogenen Einflüsse der letzten Jahrzehnte zum Teil stark verringert. Auf Eisbekämpfungsmaßnahmen kann aber in bestimmten Regionen nicht verzichtet werden, wie am Beispiel der Elbe gezeigt wird.

Mit rechtzeitig eingeleiteten Eisbekämpfungsmaßnahmen und einer ausreichend leistungsfähigen Eisbrecherflotte lassen sich auch die vom Eis ausgehenden Belastungen des Gewässerbettes und der Anlagen an der Wasserstraße gering halten.

Für die Verhältnisse in der Bundesrepublik Deutschland wurden im Rahmen der Empfehlungen des Arbeitsausschusses „Ufereinfassungen“ (EAU) Berechnungsvorschläge für Lastansätze von Ufereinfassungen, Pfähle und Fenderungen im Küstenbereich erarbeitet, die in die Sammelveröffentlichung der EAU 1990 aufgenommen werden. Die Lastansätze basieren auf den jeweiligen Eiseigenschaften, so daß eine Übertragung auf andere Verhältnisse leicht möglich ist. Der Vorschlag gibt daher auch die Möglichkeit einer allgemeinen Vereinheitlichung, wie sie von internationalen Gremien angestrebt wird.

Für den Bereich der Elbe sind die Eisbekämpfungsmaßnahmen unter den speziellen Bedingungen dargestellt, die sich aus einer Staustufe bei Geesthacht oberhalb von Hamburg und der Betriebsweise des Wehres in Verbindung mit einem Pumpspeicherwerk sowie der Flutstromgrenze in der Tideelbe unterhalb ergeben. Unter Berücksichtigung langjähriger Erfahrungen sind Größe und Einsatzformen der Eisbrecherflotte zur Optimierung der Eisbekämpfung erläutert.

Aus der Weiterentwicklung der Eisbrecher sind Empfehlungen zu geeigneten Bauformen und Ausrüstungen erarbeitet. Ein wirtschaftlicher Einsatz ist durch Eignung der Eisbrecher auch für angrenzende Schifffahrtskanäle und eine entsprechende Einsatzplanung erreichbar.

Überlegungen und Versuche zur Verhinderung von Eisbildung durch weitere künstliche Wärmeeinleitung scheitern an ökologischen Problemen und an der Wirtschaftlichkeit des Kühlkreislaufs.