

Eiserscheinungen

in fließenden Gewässern.

Von

Rudolf Halter,

k. k. Oberbaurat

und o. ö. Prof. d. Wasserbaues an d. k. k. techn. Hochschule in Wien.

Vortrag, gehalten den 19. Jänner 1916.



Einleitung.

Wenn strenge Fröste eintreten, vollziehen sich an unseren Flüssen scheinbar selbstverständliche Erscheinungen. Erst beim näheren Eingehen in den Gegenstand zeigt sich, daß das Selbstverständliche doch nicht so einfach ist und so manches sogar noch erschöpfender Durchforschung bedarf.

Für uns Wasserbauingenieure ist die Eisfrage von besonderer Bedeutung.

Ist es doch das Eis, welches die Ufer und Gelände gefährdet, Schifffahrtsverkehr erschwert und behindert sowie schließlich die Ausnützung der Wasserkräfte im wirtschaftlich ungünstigen Sinne beeinflusst. Dieser Schwierigkeiten Herr zu werden, nehmen wir den Kampf mit den Naturkräften auf und um ihn siegreich zu bestehen, bedarf es eingehender Erforschung dieser Kräfte.

Ich will im ersten Teile des Vortrages die Naturerscheinung an sich und im zweiten Teile die Stellung der Technik zu ihr erörtern.

I. Teil.

Bekanntlich hat Süßwasser bei 4° C. die größte Dichte. Am Grund tiefer, stehender Gewässer finden wir daher diese Temperatur, wohingegen die Schichten

oberhalb unter dem Einflusse der Lufttemperatur stehen, den Temperaturschwankungen aber nicht in vollem Maße folgen. Bei anhaltendem Frost wird sich daher — abgesehen von etwaigen störenden Einflüssen der Winde — eine glatte Oberflächeneisschichte bilden.

Bei fließenden Gewässern zeigt sich ein völlig verschiedenes Bild.

Die Temperatur des fließenden Wassers steigt selten über 25° , sinkt nie merklich unter Null und ist in den oberen und unteren Schichten annähernd überall gleich; kaum 0.5° Differenz werden konstatierbar sein.

Die Ursache dieser bekannten Erscheinung liegt darin, daß die Bewegung des Wassers in den lotrecht untereinander liegenden Schichten im allgemeinen nicht in zueinander parallelen Fäden erfolgt; Osborne Reynolds wies nach, daß die Geschwindigkeitsgrenze, bis zu welcher noch paralleles Strömen erfolgt, sehr niedrig ist und daß diese sogenannte kritische Geschwindigkeit bei den natürlichen Flüssen bald überschritten sein wird.

Thomson bewies sogar, daß die einzelnen Stromfäden selbst eine spiralige Drehung erfahren, und ohne Unterlaß finden im Innern der strömenden Massen, besonders bei Temperaturänderungen, vertikale Wirbelbewegungen statt.

Diese inneren Bewegungen des fließenden Wassers verursachen daher eine Vermischung der senkrecht untereinander liegenden Wasserschichten, so daß die Temperaturen sich ausgleichen.

Dies gilt, wie gesagt, bei selbst geraden Flußläufen. Noch viel mehr trifft dies in gewundenen Betten zu, wo die Fliehkraft selbst schon die Ursache zu einer schraubenförmigen Bewegung des Wassers abgibt und auch im horizontalen Sinne keine Parallelströmung mehr vorhanden ist. Endlich wird der rasche Übergang von Flußstrecken großen Gefälles in solche geringen Gefälles Wirbelbildungen hervorrufen.

Mit Beachtung dieser Vorgänge im fließenden Wasser ist leicht einzusehen, daß die Eisbildung erst einsetzen kann, sobald die ganze Wassermasse auf den Nullpunkt abgekühlt ist.

Die Eisbildung erfolgt daher in Gerinnen später als im stehenden Wasser und um so später, je tiefer das Gerinne ist und je mehr die Art des Bewegungsvorganges des fließenden Wassers die völlige Durchmischung der Wassermasse verzögert.

Daß auf dieses Zeitausmaß Temperatur (starker oder leichter Frost), Temperaturschwankungen, Wind und Bewölkung Einfluß nehmen, ist wohl selbstverständlich.

Dieser spätere Beginn der Eisbildung infolge der vorher notwendigen Durchmischung der Wassermasse gibt auch die Erklärung dafür, daß kurzandauernde Fröste zur Eisbildung an fließenden Gewässern nicht hinreichen. Andererseits ist es wieder aus diesem Verhalten erklärlich, daß, wenn genügend lange andauerndes Frostwetter eintritt, die spezifische Eismasse größer sein muß als bei stehenden Gewässern, in welchen

die bald gebildete Eisdecke zwar an Stärke allmählich zunimmt, für die ganze Wassermasse unter ihr aber einen Wärmeschutz bildet.

Die erste Erscheinung nach erfolgter Abkühlung der ganzen Wassermasse des fließenden Wassers ist die Bildung mikroskopisch kleiner Eispartikelchen. Dieselben werden zunächst dort festen Fuß fassen und sich zu zusammenhängenden Teilen verbinden, wo sich das Wasser mit geringerer Geschwindigkeit bewegt, wo sich für diese kleinsten Teile Stützpunkte finden und insbesondere dort, wo sich beide Faktoren verbinden.

Wenn wir einen Querschnitt durch einen Fluß betrachten und die Linien gleicher Geschwindigkeiten (Isotachen) auf hydrometrischem Wege erheben und auftragen, so sehen wir, daß die Geschwindigkeiten gegen die Ufer sowohl, als auch gegen die Flußsohle hin abnehmen.

Das erste Eis entsteht daher an den Uferrändern als Rand- oder Saumeis, und zwar um so eher, je mehr sich ruhiges Wasser daselbst befindet.

An den konvexen Ufern entsteht es zunächst, ebenso hinter Regulierungsbauten, später erst in den geraden Uferstrecken, am spätesten, eventuell gar nicht, an den Uferstellen mit anliegendem Schwerkörper. Da die Eispartikelchen am Ufer durch den Strömungsvorgang weniger beeinflusst werden, so können sie unter der Wirkung der Molekularkraft orientierend zusammenschießen, es bilden sich regelmäßige

Eiskristalle und aus ihnen entsteht dann die zusammenhängende Eisplatte, ebenso durchsichtig wie jene an stehenden Gewässern.

Die Stärke der Eisplatten nimmt zu, wenn nicht Wasserstandsschwankungen die Platte brechen oder die Strömung Eisteile wieder von der Platte losreißen.

Bei kleinen Gewässern, vornehmlich seichten Bächen und in Staustrecken von Wehren wird sich der ganze Flußspiegel mit Ufereis überziehen. In tiefen und großen Gerinnen trifft dies jedoch nicht mehr zu.

Je mehr die Eisplatte gegen die Strömung anwächst, desto mehr werden Teile davon wieder losgerissen, bei Wasserstandsschwankungen brechen auch ganze Platten los und so entsteht Treibeis in Form fester Schollen, welche für die weiteren Eiserscheinungen unterhalb gelegener Fluß- und Stromstrecken von großer Bedeutung sind, wie wir dann später sehen werden.

Nachdem auch an der Flußsohle sehr geringe Geschwindigkeiten herrschen, so werden nach erfolgter Abkühlung der ganzen Wassermasse auch am Grunde der Gerinne Eisbildungen stattfinden.

Wir sprechen dann vom Grundeis. Für die großen Flüsse spielt das Grundeis eine viel wichtigere Rolle als das Randeis, der Menge nach und auch in bezug auf die Wirkungen.

Die Anschauungen über die Bildung des Grundeises selbst gehen weit auseinander.

Nollet, Mairan und Zschokke erklären das Grundeis als untergetauchtes Oberflächeneis, das beim Abgang des Eises an den Vorsprüngen der Sohle festgehalten oder abgestreift wird.

Merian, Arago, Mohr und Kohlmann verlegen den Beginn des Gefrierens auf den Grund der Gewässer und nehmen an, es werde das fließende Wasser durch seine Bewegung in seiner ganzen Masse bis auf oder unter Null Grad erkältet und es gefriere am Grund wegen des besseren Anhalts für die Kristallisation und wegen der größeren Ruhe zuerst, während die Bildung an der Oberfläche gestört sei.

Halles, Desmarest, M'Keever, Dr. Abmann, O'Krieg nehmen an, die Flußsohle werde durch Leitung vom Ufer aus oder durch Ausstrahlung unter Null Grad erkältet und damit auch das die Gerölle und den Sand durchziehende Wasser.

Gai-Lussac und Weber führen das direkte Anfriern von Eisteilchen auf die Unterkühlung der an der Wasseroberfläche entstandenen und treibenden Kristalle zurück.

Hugi endlich erklärt die Entstehung des Grundeises aus der Ausgleichung verschiedener Temperaturen benachbarter Wasserschichten.

Eine sehr schöne und bedeutungsvolle Arbeit hat jüngst auf diesem Gebiete wesentlich zur Klärung beigetragen.

Es ist dies die Studie des Dr. phil. G. Lüscher in Aarau über „das Grundeis“ (1906), in welcher

umfassenden Arbeit er nachweist, daß die Grundeisbildung ihren Ursprung in der Bildung des Oberflächen-eises hat.

Wenn auch die Anschauungen Lüscher's sehr viel für sich haben und in vielen Fällen die richtigste Erklärung geben, so darf doch nicht vergessen werden, daß jeder Fluß seine individuellen Eigenheiten hat, welche auch auf die Eisbildung Einfluß nehmen und die bald die eine oder andere Bildungsursache plausibel erscheinen läßt.

Da die Wasserbewegung besonders in gefällsreichen und unregelmäßigen Flüssen vielfach eine schraubenförmige ist, Wirbel und Strudel unvermeidlich sind, so wird es von der fallweisen Größe der Kräftekomponenten, welche der Auftriebskraft der Eisteilchen entgegenwirken, abhängen, ob das Eisteilchen auf den Grund gerät, schwebend im Wasserinnern erhalten bleibt oder auf die Oberfläche gelangt oder an ihr verbleibt.

Ebenso selbstverständlich ist es, daß bei gründlicher Abkühlung aller Wasserschichten auch direkte Eisbildungen an der Sohle eintreten können, noch dazu, wenn selbe mit Gerölle und Geschiebe bedeckt ist, welche dem Anhaften von Eisteilchen so viele Anhaltspunkte geben. Daß die gewachsene oder steinige Flußsohle durch Leitung vom Ufer aus unter Null Grad erkältet, ist nach Lüscher's Untersuchungen an der Narova in Rußland sehr unwahrscheinlich.

Das Gefüge des Grundeises ist je nach dem Strömungsvorgange sehr verschieden.

Vermögen die Eispartikelchen unter der orientierenden Molekularkraft zusammenzuschließen, also regelrechte Kristalle zu bilden, so entsteht das blättrige Grundeis, die Störungen durch die Strömungen führen zum körnigen Grundeise, in der Masse das blättrige Eis weit überwiegend

Schließlich wird sich noch das sogenannte Gallerteis bilden. Immerhin aber ist das Grundeis undurchsichtig und schwammig, was auf stets vorhandene, wenn noch so minimale Salzlösungen zurückzuführen ist.

Die Tatsache, daß bei der Bildung des Grundeises keine festen Eisschichten entstehen können, beantwortet Lüscher wie folgt:

„Das Wasser der Flüsse enthält stets anorganische Salze und ist meist auch organisch stark verunreinigt.

Ein Milliontel von Salzen in Wasser genügt, um diesem die Eigenschaften einer wässerigen Salzlösung zu erteilen.

Aus einer Salzlösung gefriert aber stets reines Eis, das Salz wird beim Gefrieren ausgeschieden, so daß die entstandenen Kristalle von sehr dünnen Schichten salzhaltigeren Wassers umgeben werden.

Da nun der Gefrierpunkt einer Salzlösung mit dem Salzgehalt sinkt, so braucht es weiterer Kälteeinwirkung, um die den Kristall umgebende dünne Wasserschicht zum Gefrieren zu bringen. Diese überschüssige Kälte hat an der Wasseroberfläche Zutritt und kittet die einzelnen Kristalle unter sich und mit der Oberflächeneisschicht zusammen, sie fehlt aber

unter Wasser bei der Bildung des Grundeises, so daß die einzelnen Kristalle unter sich lose bleiben.“

Hat das Grundeis eine gewisse Mächtigkeit erlangt, so vermag es sich infolge des Auftriebes von seiner Unterlage loszulösen und schwimmt auf; hierbei kommt es wiederholt vor, daß einzelne schwere Gegenstände, wie Anker, Steine usw., mitgenommen werden.

Für die Anschauung Lüschers spricht der Umstand, daß die Grundeismasse um so größer ist, je unruhiger die Strömung ist.

Eine wichtige Rolle für die Eisbildung spielt der im fließenden Wasser enthaltene Schwebestoff.

Jedes Schwebestoffteilchen bildet ein Kristallisationszentrum für die Eisbildung.

Da bekanntlich der Schwebestoffgehalt in den einzelnen Teilen der Lotrechten so ziemlich derselbe ist, muß sonach auch angenommen werden, daß sich diese Eisbildung in der ganzen entsprechend abgekühlten Wassermasse vollzieht. Dieser Umstand ist von besonderer Bedeutung, da diese Quelle der Eisbildung in der Regel eine sehr bedeutende ist.

Je sinkstoffreicher sonach ein Gewässer ist, um so größer ist daher die spezifische Eismenge. Es wird daher nach den Gesetzen des Geschiebeabschliffes der Unterlauf der Flüsse sinkstoffreicher und sonach eisreicher sein als der Mittel- oder gar der Oberlauf, besonders dann, wenn der Fluß im allgemeinen eine Richtung von Süd nach Nord hat.

Daß die Sinkstoffführung an der Eisbildung in hervorragendem Maße beteiligt ist, beweist die Schlammablagerung auf niederen Ufergeländen, wenn beim Eisabgange dorthin vertragene Eismassen aus dem Flusse zum Abschmelzen kommen. Es sind also die Gesetze der Geschiebe- und Sinkstoffführung, welche in besonderem Maße auf die Eisfrage Einfluß nehmen und schon aus diesem Grunde die Eiserscheinung an jedem Flusse eine individuelle sein muß.

So wird z. B. beim höheren Wasserstande die Eisbildung eine intensivere sein als bei niedrigem Wasserstande, da der Sinkstoffgehalt mit dem Steigen des Wasserstandes zunimmt.

Schließlich bildet noch der ins Gerinne gefallene Schnee Ursache zu Eisbildungen und spielt eine große Rolle bezüglich der Verkittung der treibenden Eismassen.

Auch das durch die Schwebestoffe gebildete Eis hat wenigstens zunächst ein schwammiges Gefüge, gemahnt sogar anfänglich an Schaum und zerfließt in der Hand.

Bei weiterem Frost nimmt es schon festere Konsistenz an und läßt sich in der Hand zusammenballen. Hiemit vereinigt sich nun das aufschwimmende Grundeis.

Diese ganze breiige Masse führt eine eigene Bezeichnung, man nennt sie den Eisdust, den Tost oder den Treibschnee, in Schwaben die Schneekatze. Zum Unterschiede davon treibt im Wasser die auf reine Oberflächeneisbildung zurückführende Eisplatte. Auf

diese Eisbildung nimmt nun, wie schon eingangs erwähnt, eine Reihe von Faktoren Einfluß. Der Wind wirkt eisfördernd, indem derselbe den auf dem Wasser bei Verdunstung entstehenden Wasserdampf wegfegt und dadurch die mit der Verdunstung verbundene Abkühlung fördert; dies gilt ganz insbesondere bei Gegenwind.

Bei Gewässern von ruhigem Lauf, bei seichten Stellen an Teichen und Seen kann der Wind so starke Wasserbewegungen hervorrufen, daß er sogar zur Hauptursache der Grundeisbildung wird. Die Bewölkung beeinflusst die Verschluckung der von der Sonne ausgesandten Wärmestrahlung. Wird nun durch die Bewölkung während des Tages die Aufnahme von Strahlungswärme des Erdbodens behindert, in der Nacht aber die Ausstrahlung bei klarem Himmel befördert, so ist dies der Eisbildung im höchsten Grade förderlich. Der frisch fallende Schnee gibt nicht nur als solcher Zentralisationspunkte für weitere Eisbildung, sondern wirkt auch, wie schon gesagt, verkittend. Maßgebend für den ganzen Verlauf bleibt der ganze Temperaturverlauf. Kurzfristige Tauperioden mit Abschmelzungsbeginn und neuerlichem Frost führen bei Druckerscheinungen zu Regelationen.

Das feste Treibeis und der oberflächlich schwimmende Tost verbinden sich alsbald zu immer größer werdenden Schollen, welche fortwährenden Veränderungen unterworfen sind.

Sie befinden sich fast stets in drehender Bewegung mit dem Drehsinn zum nächsten Uferrand und

schleifen sich gegeneinander rund, an ihren Rändern häuft sich ein Wulst von Schnee und Eisstücken.

In der Strommitte sind die Schollen stärker als auf den Uferrändern und bedecken zusammenhängend Flächen von oft hunderten Quadratmetern.

Als ein selbständig schwimmender Körper würde das Eis sich infolge der „Voreilung“ rascher bewegen als das Wasser, durch die Reibung der Schollen aneinander verzögert sich aber ihre Geschwindigkeit.

In der Strommitte bewegen sich die Schollen rascher als am Ufer und bei schwerem Eisgang ist die Geschwindigkeit der Schollen geringer als bei leichtem Eistreiben.

Die Stärke dieser Schollen, die anfänglich noch schwammig-porösen Charakter haben, geht selten über 20 cm.

Die Intensität dieses Schollentreibens wächst mit der Dauer des Frostes und wird nach Zehnteln der Strombreite geschätzt.

Unter 0·5 Eistreiben ist z. B. verstanden, daß die talwärts treibenden Eisschollen, zusammengeschoben gedacht, zirka die Hälfte der Strombreite ausmachen würden. Diese so an der Oberfläche treibende Eismasse ist im Verhältnisse zur Wassermenge sehr gering.

An der Donau kann, wenn ein Niederwasserstand von 1 m unter Null herrscht, dieselbe bei 0·5 Eistreiben mit zirka 2·5 ‰ bewertet werden.

Geht bei anhaltendem Frost der Strom in voller Breite mit Eis, dann bedarf es nur geringer Anlässe, um die Eismassen zum Stillstande zu bringen.

Als solche Anlässe können in Betracht kommen: Stautrecken mit Beibehaltung der Flußbreite mit jener der ungestauten Strecke, Profilverengung ohne entsprechender Steigerung der Geschwindigkeit in der Enge, Brückenmittelpfeiler, Sandbänke, scharfe Krümmungen, Mündungen ins Meer.

Ist an irgendeiner Stelle eines Flusses das Treibeis zum Stillstande gekommen, so bildet sich zwischen den Ufern sozusagen ein Gewölbebogen aus Eis.

Die zu Tal treibenden Schollen sammeln sich alsdann vor dieser Barre an, schieben sich dabei schuppenartig ineinander und die Eisdecke nimmt stromauf allmählich zu; in Österreich nennt man eine solche Eisbarre einen Eisstoß und man spricht von der Schnelligkeit, mit welcher er stromaufwärts vorbaut, und sind schon Vorbaugeschwindigkeiten von über 2 km pro Stunde beobachtet worden.

In dem Momente der Eisdeckenbildung wird die Eisdecke gewaltig, oft um mehrere Meter hoch gehoben. Die Ursache dieser Erscheinung ist die Vermehrung der Reibung des fließenden Wassers unter der Eisdecke, nachdem das Wasser alsdann nicht mehr mit freiem Wasserspiegel, sondern gleichsam in einer Röhre dahinfließt.

Diese Eisdecke bildet aber zugleich einen Wärmeschutz. Das unter derselben sich vom Stromgrunde

abtrennende Grundeis schwimmt auf und kommt an die Eisdecke anzuliegen. Neues Grundeis bildet sich dann nicht mehr.

Solche Eisstöße haben an der Donau Längen von oft 100 km und noch mehr — oft mit stellenweisen Unterbrechungen.

Am unteren Ende des Eisstoßes herrscht immer scharfes Gefälle, oberhalb stellt sich Stau ein.

Dauert der Eisstoß einige Tage, so friert er so fest zusammen, daß die Eisdecke sogar mit schweren Lastwagen befahren werden kann; rasch vorübergehende Tautemperaturen befördern nur die Regelation der Eismassen.

Die Studie Dr. Swarowskys: „Die Eisverhältnisse der Donau in Bayern und Österreich von 1850—1890“ gibt interessante Aufschlüsse über die Eisverhältnisse der Donau.

Von besonderer Bedeutung ist der Eisaufbruch bei Tauwetter, der sogenannte Eisstoßabgang.

Es bedarf längeren warmen Wetters, um die Stärke und Festigkeit des Eises zu brechen.

Wichtig hierbei ist die Hebung des Wasserstandes durch plötzliches Tau- und Regenwetter. Der Eisaufbruch vollzieht sich meist entgegen der Richtung seiner Bildung, also stromabwärts. Zuerst schieben sich die Eismassen auf einzelnen Strecken zusammen. Auf oft 15 und mehr Kilometer Länge kommt die ganze Eisdecke in Bewegung, schiebt sich entweder unter die Eisdecke der unteren Strecke oder schiebt sich in sich

zusammen. Wird die Eisdecke infolge der vielen Einwirkungen auf dieselbe morsch oder wird das Gefälle so groß, daß der Strom an irgendeiner Stelle eine förmliche Zerstückelung bewirkt, dann beginnt der eigentliche „Eisaufbruch“. Vor den zerstückelten und sich zusammenschiebenden Eismassen staut sich das Wasser auf, dringt als Flutwelle stromab vorwärts, bringt auch hier die Decke zum Aufbruch und Abtrieb, zermalmt das Eis untereinander und schwemmt sämtliche Eisblöcke gleichsam als eine große Geröll- oder Schuttmasse mit sich fort.

Hiebei steigt aber das Wasser zu beträchtlicher Höhe an, wenn es an sich auch eigentlich kaum sichtbar ist; ein mehrere Meter hoher ungeheurer Berg von zerstückeltem Eis rückt lawinenartig talwärts.

Gefährlich sind hiebei die Eisversetzungen. An stärker zusammengeschobenen Stellen geraten die Eismassen oft ins Stocken, füllen das Strombett immer mehr an, so daß der Wasserstand sich hebt und neuen Antrieb gibt, aber der stärkere Wasserdruck ersetzt nicht immer die lebendige Kraft der in Bewegung befindlichen Massen und sehr häufig läuft ein in vollem Gang befindlicher Eisaufbruch in eine Eisversetzung, d. h. in eine Zusammenschiebung aller aufgebrochenen oberen Eismassen auf etwa 10—20 km Stromlänge aus.

Oberhalb der Zusammenschiebung sammelt der nie versiegende Strom immer neue Wassermassen an und der Wasserstand steigt immer höher.

Damit ist nun meist eine verderbenbringende Überschwemmung verbunden und auch in seinem Bette, an den Ufern und Vorländern richtet der Strom die größten Zerstörungen an.

Die Chronik weiß von den furchtbaren Überschwemmungen durch die Eisversetzungen bei Abgang der Eisstöße zu berichten. Wenn ich nur die Donau in Österreich als Beispiel nehme, reichen bezügliche Aufzeichnungen bis in das 11. Jahrhundert zurück.

Aus einer Studie des k. k. hydrographischen Zentralbureaus ist zu entnehmen, daß der im Jahre 1172 in der Donau entstandene Eisstoß das Wasser über die Stadtmauern von Krems drückte.

Fast jedes Jahrhundert brachte mehrere Eishochwässer. Das besonders für Wien bedeutendste trat im Jahre 1830 nach einem äußerst strengen und langen Winter ein, worüber Sartoris Broschüre „Wiens Tage der Gefahr“ Aufschluß gab. Das Hochwasser erreichte eine enorme Höhe und überschwemmte die damaligen Vorstädte, wie Rossau, Leopoldstadt, Erdberg, Lichtental etc. Die Chronik berichtet, daß die Fluten die Bewohner niederer Erdgeschoße in ihren Betten überaschten, an Rettung ihrer Habseligkeiten, an notwendige Bekleidung war nicht zu denken. Die Eismassen verlegten den Donaukanal bis an die Ferdinandsbrücke und streiften die Unterkante des Kettensteiges am Schanzel.

In der Adlergasse, Rotenturmstraße und am Salzgries stand das Wasser bis zu 1 m Höhe.

Die Überschwemmung, welche der Eisstoß im Jahre 1862 mit sich brachte, gab dann endlich Veranlassung zur Regulierung der Donau bei Wien.

Ähnliche Bilder könnten von allen anderen Flüssen und Strömen in unseren Klimaten gegeben werden.

II. Teil.

Wir haben nun die Naturerscheinung besprochen und gesehen, daß sie mit Gefährdungen von Menschenwerk in Verbindung steht.

Es ist daher nur natürlich, daß schon vor langem der menschliche Geist darauf gerichtet war, Eisstoßbildungen zu verhindern oder doch zu erschweren, räumlich zu beschränken, bereits erfolgte Bildungen wieder zu beseitigen, so weit sie gefährlich werden können. In diesen Bestrebungen sind schöne Erfolge erzielt worden, so lange der Wasserbau vornehmlich darauf bedacht war, den Wasserabfluß zu fördern. Dieser Zweck geht einig mit den Aufgaben der Eisbekämpfung.

In dem Momente jedoch, wo die moderne Wasserwirtschaft die Wassernutzung in den Vordergrund schiebt, nicht mehr getrachtet wird, das Wasser als etwas Schädliches rasch weiter zu schaffen, die natürlich ungleichartige Wasserspende zu Nutzungszwecken auszugleichen, treten neuerliche Aufgaben in der Eisfrage an uns heran und durch schon erzielte Erfolge Historischgewordenes tritt neuerdings heran und er-

heischt neuerliche Maßnahmen auf der Basis der Naturerkenntnis und vertiefter Forschung.

Die bisherigen Mittel gegen die Eisgefahren sind:

1. Die Regulierung der Flüsse.
2. Die örtliche Magazinierung der Eismassen.
3. Die Freihaltung von Nebenarmen.
4. Das Eisbrechen.
5. Das Eissprengen.

Durch die Regulierung der Flüsse haben die Eisgefahren abgenommen.

Die Konzentrierung des Flusses in einer einheitlichen Rinne, das Abbauen der Nebenarme, die Beseitigung der Sandbänke, die Führung des Flusses in einer gestreckten Trace, der Umbau stauender Brücken und Wehre sind die Ursachen, welche die Bildung des Eisstoßes erschweren, ja sogar verhindern. Die erstmalige Donauregulierung bei Wien, hauptsächlich im Interesse der Hintanhaltung der Eisgefahren 1870—1875 ausgeführt, hatte bereits Erfolge gezeitigt und die ihr folgende Regulierung der Donau in Niederösterreich ober- und unterhalb von Wien haben diese Erfolge weiter ausgebildet.

Eine Studie des Hofrates Grengg weist nach, welchen wohltätigen Einfluß die Donauregulierung in Österreich unter der Enns auf die Eisverhältnisse ausgeübt hat. Viel größere Kälteeinheiten wie vordem sind nötig, um Eisbildungen hervorzurufen. Die Eisgefahren haben ihren Schrecken verloren, wenn natür-

lich dadurch die Möglichkeit eines Eintrittes von Eisstößen auch noch nicht vollständig beseitigt ist. Dasselbe günstige Ergebnis zeigte sich auch bei der Regulierung anderweitiger Flüsse,— wenn auch die neuartige Regulierung der Flüsse auf Niedrigwasser, wie sie den Interessen moderner Großschiffahrt Rechnung trägt, nicht in jenem Maße der Eisförderung zugute kommt, wie dies bei dem System der begradigten Mittelwasserinne der Fall ist. Eine Periode sehr milder Winter hinderte uns bisher, über den Einfluß letzterwähnter Regulierungsmethode genügende Erfahrungen zu sammeln. Wo Stromarme in ihrem Zustande belassen bleiben müssen und Eiseintritt in sie unter allen Umständen abzuhalten ist, muß für die Abhaltung des Eiseintrittes durch Errichtung eigener Bauwerke Sorge getragen werden (z. B. das Engerthsche Sperrschiff in Nußdorf).

Nicht überall konnten aber die Regulierungen an unseren großen Flüssen die Eisgefahren bannen.

Kommt an solchen Stellen eine gefährliche Eischoppung zustande, ist man bemüht, sie noch vor Eintritt des Tauwetters, d. i. also noch vor Abgang des Eisstoßes zu beseitigen.

Dies ist z. B. an der ungarischen Donau unter Budapest sowie an den Ausmündungen der deutschen Ströme in die Nord- und Ostsee der Fall.

Die Mittel zur Bekämpfung dieser Gefahren bestehen in der Eröffnung eines entsprechend breiten Kanales in dem Eisstoße, vom unteren Eisstoßende aufwärts.

Die Herstellung solcher Kanäle erfolgt auf mechanischem Wege entweder durch das Aussprengen mit Pulver und Dynamit oder durch das Brechen der Eisdecke durch Stoß- und Druckwirkung eigens gebauter Schiffe, sogenannter Eisbrecher.

Letztere werden auch beziehungsweise vornehmlich verwendet, um im Interesse der Freihaltung einer Rinne der Schifffahrt zu dienen, was heute noch besonders zur Freihaltung der Einfahrt in die Stromhäfen dient.

Mustergültige Sprengungen im stehenden Eisstoße sind vor wenigen Jahren an der ungarischen Donau bei Baja mit Erfolg ausgeführt worden, worüber Oberbaurat Grünhut 1913 in der „Wochenschrift für den öffentlichen Baudienst“ berichtete.

Das Eisbrechewesen und das Eissprengen besitzen heute schon ihre eigene Literatur und moderne Wasserwirtschaftsprobleme werden auf diese Eisbekämpfungsmittel noch weiters ausgestaltenden Einfluß nehmen. Daß das Eissprengen und Eisbrechen natürlich nur dort von Erfolg sein kann, wo das zu beseitigende Eis die nötige Widerstandskraft aufweist, ist wohl selbstverständlich.

Bemühungen im gallterartigen Tost sind wohl erfolglos, seine Neigung zur Regelation bildet eine konstante Bedrohung des erzielten Effektes und bedingt die Fortsetzung des Sprengens und Brechens bis zum Eisabgang.

Eine Gefahr bietet das Eis noch und das sind Eispressungen auf in Stromhäfen eingewinterte Schiffe,

wenn nicht wie z. B. beim Freudenauer Hafen zwischen zwischen Hafenmund und Schiffsüberwinterungsplatz ein entsprechend großer Vorhafen eingeschaltet erscheint. Wo dies nicht der Fall ist, können die Schiffe im Hafen sogar gefährdet werden, wie dies z. B. beim Preßburger Winterhafen der Fall ist.

Unter besonderen Umständen braucht die Eisstoßbildung nicht beseitigt zu werden, wenn nämlich die mit ihr verbundenen Stauungen auf die Ufergelände gefahrlos bleiben und beim Eisstoßabgang unterhalb gelegenen Stromstrecken nicht zum Schaden gereichen. Es wird dies der Fall sein, wo der Fluß auf genügend langen Strecken tief im Gebirge eingeschnitten ist.

Durch solche Eisstoßbildungen wird sogar eine Sicherung für unterhalb gelegene Strompartien hervorgerufen; so bilden z. B. die regelmäßig auftretenden Eisstöße beim Loreleifelsen eine Sicherung des Rheines unterhalb und die regelmäßigen Eisstoßbildungen im Engpasse von Kasan gestalten Orsova zu einem beliebten Schiffsüberwinterungsplatze. Es liegen auch schon Vorschläge vor, solche Eismagazinierungen künstlich zu erzeugen, wie ein solcher, abenteuerlich in seiner Art und praktisch undurchführbar, im Jahre 1888 von Alwil von Pacher erstattet worden ist.

Es wird wohl nur wenige Flüsse und in ihnen wohl nur sehr wenige Flußstrecken geben, wo ein solches Experiment mit der nötigen Sicherheit auszuführen sein wird. Wir kommen noch darauf zurück.

Die Regulierung der Flüsse hat durch die Beseitigung der Abflußhindernisse das Transportvermögen für das Eis gesteigert und die Eisgefahren behoben oder doch vermindert.

Mit der Ausnützung der Wasserkräfte des Flusses wird dieser Vorteil wenigstens teilweise und lokal wieder preisgegeben — die Eisfrage rückt wieder neuerlich in den Vordergrund unseres Interesses.

Dies um so mehr, je mehr wir die Mittel- und Unterläufe größerer Flüsse heranziehen.

Schon durch den Einbau des Stauwehres verlangsamten wir den Wasserabfluß, begünstigen die lokale Eisbildung im Staubereich des Wehres und schwächen das Eistransportvermögen des Wassers.

Oberhalb des Wehres zweigt der Werkkanal ab und leitet bei niedrigen und mittleren Wasserständen den größten Teil des Wassers (oft bis zu 90% und noch mehr) mit geringem Rinnegefälle den Turbinen zu.

Nur der kleinere Teil des zufließenden Wassers verbleibt vom Wehr abwärts im Flusse, bis er sich unter Stauerscheinungen mit dem aus dem Unterwerkskanale zuströmenden Teile des ausgenützten Wassers vereinigt. Es bedarf wohl keiner weiteren Begründung, daß bei dieser uns wohl allen bekannten Form der Wassernutzung ein großer Teil der Energie des Wassers für den Eistransport verloren gehen muß.

Ob diese Energieeinbuße bedenkliche Eisgefahren zeitigt, ist für jeden einzelnen Fall besonders zu untersuchen.

Ist die Staustrecke des Wehres von sehr hohen Ufern begrenzt, das Wehr den Eisbeanspruchungen statisch entsprechend kräftig gebaut, so wird die Eisansammlung oberhalb des Wehres unbedenklich sein können (Keokuk). Ist — wie bei Gebirgsgerinnen infolge geringen Schwebstoffgehaltes des Wassers — auch die spezifische Eismenge eine geringe, dann wird man durch die Erhaltung eines konstanten Stauspiegelniveaus die Bildung eines glatten Eisspiegels im Staubereiche anstreben, an der sich oft der zugefrorene Spiegel des ungestauten Gerinnes ansetzt oder an dem dann die von oben kommenden geringfügigeren Eismassen anschwimmen und die Eisdecke allmählich verlängern.

Tritt aber in größeren Flüssen in deren Mittel- und Unterläufen große Sinkstoffbewegung auf, infolge welcher auch die Eisbildung eine intensive ist und schon im ungestauten Zustande Eisrinnen von solcher Mächtigkeit auftritt, daß von der Möglichkeit einer Eisstoßbildung gesprochen werden kann, und ist eine solche bei niedrigeren Ufern gefahrbringend, so stehen wir vor der Notwendigkeit, den Stau durch sukzessive Freilegung des Wehres zu ermäßigen, ja auch völlig zu beseitigen.

Die Ausnützung der Wasserkraft wird dadurch geschmälert, ja kann sogar durch wenn auch kurze Zeitintervalle völlig unterbunden werden. Reservekräfte werden Ersatz für die ausfallende Energie zu schaffen haben, die Kosten der Wasserkraftanlage steigern sich — die Rentabilität nimmt ab.

Wir sehen daher, wie sich das Eis feindlich einer großen Wirtschaftsfrage entgegenstellt, und es ist daher nur natürlich, daß die Technik mit dem ganzen Rüstzeuge der Eisbekämpfung gegen die Naturgewalt zu Felde zieht, bis sie siegt oder aber dennoch vorübergehend gezwungen ist, dem Feinde das Feld zu überlassen.

Anordnung beweglicher Eisklappen auf den Stauwehren ermöglicht bei beginnendem Eisrinnen den Abzug einzelner Schollen ins Unterwasser; Stauspiegelschwankungen durch Wehrbetätigungen erschweren die Eisdeckenbildung im Staubereiche, zerbrechen die schon gebildete Eisdecke und bringen sie zum Abbruche und Abschwimmen und Eisbrecharbeiten unterstützen diese Wirkung.

Für eine Reihe von Fällen wird dieses Vorgehen schon zum Ziele führen; bei schweren Eisgängen an sinkstoffreichen Strömen können aber diese Bestrebungen nur mehr den Charakter von Versuchen haben, die bleibende Stauspiegelsenkung wird mit ihnen verbunden werden müssen, Wirtschaftsverluste treten ein und diese Opferungen können und werden, wenn auch selten, zur völligen Staubeseitigung führen müssen.

Nicht nur beim Wehr und im Staubereiche desselben werden aber Mittel zur Bekämpfung der Eisgefahren einzusetzen haben.

Gelänge es selbst durch das Zusammenwirken aller Mittel, das Eis über das Wehr hinüber zu bekommen, so dürfen wir nicht vergessen, daß das Eis-

transportvermögen des entlasteten Flusses durch die seitliche Wasserentziehung wesentlich geschmälert wurde und daher auch dieser Flußteil in erhöhtem Maße den Gefahren der Eisversetzung ausgesetzt sein muß, insbesondere im Rückstaubereich der Unterwerkskanals-Mündung.

Die schon zuvor erörterte Stauspiegelsenkung wird auch durch die erhöhte Wassergebung im besagten Flußteil das Eistransportvermögen steigern — bis zu welchem Maße wird eine approximative Berechnung ergeben.

Ist v_1 die Geschwindigkeit, b_1 die Flußbreite, φ_1 das Verhältnis der Breite des zusammengescho- ben gedachten Eisrinnens zur Flußbreite	}	im Flusse vor der Er- bauung des Stauweh- res, bezw. oberhalb des Staubereiches,
---	---	---

und bedeuten v_2 , b_2 und φ_2 die gleichen Größen im entlasteten Stromteil unterhalb des Wehres an der ungünstigsten Stelle, so muß, gleiche Dicke der Eischollen vorausgesetzt, annähernd die Relation bestehen:

$$v_1 b_1 \varphi_1 = v_2 b_2 \varphi_2,$$

wobei sicherheitshalber φ_2 bedeutend kleiner als 1 sein muß; hiebei ist auf eine Reihe von Effektverlusten beim Eisrinnen im Querschnittswechsel noch nicht Bedacht genommen.

Diese Relation wird uns zur Beurteilung dienen, bis zu welcher Intensität des Eisrinnens die Eisabfuhr im entlasteten Flußteile noch ungefährlich sein wird.

Für so manche Wasserkraftanlage im Gebirge wird selbst dann, wenn auch die Eismagazinierung oberhalb des Wehres nicht zulässig sein sollte, der entlastete Gerinnsteil noch die genügende Eisabfuhrkapazität besitzen, besonders wenn das den Turbinen zugeleitete Wasserquantum gegenüber der sekundlichen Wasserspende des Flusses nicht zu bedeutend ist.

Diesem Falle sind dann auch die Einrichtungen im Werkkanale angepaßt; der dient nicht zum direkten Eistransporte, Absperrvorrichtungen, Tauchwände und Schwimmbalken hindern das Treibeis am Eintritte in den Werkkanal.

Das Rinngefälle des Werkkanales ist gering, die dadurch bedingte geringe Geschwindigkeit ($v < 1$ m) ermöglicht die Bildung einer glatten Eisdecke die Erhaltung desselben Stauniveaus begünstigt sie.

So entsteht die Eisdecke im Werkkanal und bildet den Wärmeschutz; kein Grundeis bildet sich mehr unter ihr und das eisfreie Wasser fließt in die Turbine.

Man geht zur Erzielung dieser Wärmeschutz spendenden Decke sogar so weit, daß man zu Tunnelierungen des Werkkanales greift und ihn auch durch provisorische Konstruktionen zur Eiszeit deckt.

Erst zur Zeit des Tauwetters und des Eisaufbruches setzen eine Reihe von Maßnahmen ein, um

das Eis unschädlich aus dem Werkkanal zu entfernen. Diese so wie jene, welche zur steten Eisfreihaltung der Turbinen führen, seien hier als dem Gegenstande dieses Vortrages fernerliegend übergangen. Wenn wir aber an eine Großkraftanlage im sinkstoffreichen Strom denken, so wird die Relation $v_1 b_1 \varphi_1 = v_2 b_2 \varphi_2$ bald zur Überzeugung führen, daß selbst bei partiellen Effektopferungen die genügende Eisabfuhrkapazität im entlasteten Flußteil eben nicht zu erzielen ist.

Für diesen Fall liegen bereits Vorschläge vor, auf die Wärmeschutzdecke des Werkkanales zu verzichten, denselben ebenfalls zum Eistransport heranzuziehen und sowohl durch eigenartige Einrichtungen in den Turbinenkanälen oberhalb der Turbinen dem Eisabgange genügend Wege zu eröffnen, als auch Grundablässe neben den Turbinen in besonderer Weise für den Eisabzug dienstbar zu machen.

Die Schwierigkeiten, welche das Eis der Wasserkraftnutzung an großen Flüssen zurzeit noch entgegengesetzt, werden durch die Fortschritte der Technik gemildert und durch das Zusammenwirken von Hoch- und Niederdruckanlagen allein und in Verbindung mit wärmemotorischen Reserven völlig beseitigt werden.

Und so wird, wie gelegentlich Oberbaurat Erhard bemerkte, die weiße Kohle die Industrie ebenso wieder in unsere schönen Alpenländer zurückführen, welche vor einst die schwarze Kohle in die nördlicheren Kronländer überleitete.

Vor kurzem hat Flamm ein großzügiges Programm entwickelt, wie künstliche Wasserwege und unsere Ströme mithelfen werden, den zentralen Länderkomplex von Antwerpen bis Bagdad zu einem zusammenhängenden Wirtschaftskomplex zu gestalten, gesichert gegen die Brandungen von Neid und Haß in West und Ost.

Fügen wir diesem Gedanken die weitgehendste Nutzung unserer Wasserschätze bei, dann haben wir eines jener vielen Mittel geschaffen, welche in ihrer Verbindung die Edelvölker ehrlicher Arbeit, die ihre Heimat mit dem Blute ungezählter Tausende ihrer tapferen Söhne geschützt und gesichert, einer besseren wirtschaftlichen Zukunft entgegenführen werden.
