

Die Eisverhältnisse der Mur und Drau

Eine kritisch-methodische Untersuchung

Von **Dr. Franz Reymann** (Graz)

(Mit 4 Abbildungen im Texte und 2 Tafeln)

Die mannigfachen Schäden, welche durch die winterlichen Hochfluten beim Eisgange in Flüssen hervorgerufen werden, sowie die steigende Bedeutung der Flußschiffahrt waren es, welche die Aufmerksamkeit auf die Eisverhältnisse der Flüsse in zunehmendem Maße hinlenkten, diesem Phänomen geographisches Interesse aufprägten und die Untersuchungen darüber anregten. Daß in unserer Monarchie die Untersuchung dieser Erscheinungen an der Donau einsetzte, ist aus den genannten Gründen begreiflich genug. Doch bietet die Erforschung der Eisverhältnisse auch an den Flüssen Mur und Drau, wiewohl sie mit Rücksicht auf Schiffahrt und Handel hinter vielen Flüssen weit zurückstehen, manches Interesse und Vorteile, welche eine Untersuchung rechtfertigen und lohnen. Leider liegen die Sachen bei den genannten Flüssen bei weitem nicht so günstig wie bei der Donau und manchen anderen Flüssen; daher war eine Darstellung dieser Verhältnisse erst vom Jahre 1896 tunlich und umfaßt nur ein Jahrzehnt. Bevor ich jedoch auf die Darstellung dieser Verhältnisse an den beiden Flüssen selbst eingehe, will ich einen theoretischen Abschnitt vorausschicken, welcher den ursächlichen Einblick in diese Verhältnisse gewährt, wobei sich zeigen wird, daß dieser Einblick die mehr statistische Darstellung erst recht verstehen läßt, die richtigen Folgerungen erst zu ziehen gestattet und auch von rein praktischer Seite vom größten Nutzen ist.

Vorerst möchte ich mir erlauben, dem Hydrographischen Bureau in Graz als solchem und noch ganz besonders dem Leiter desselben, Herrn k. k. Ingenieur Wilhelm Reitz, für das überaus gütige Entgegenkommen, für die Benützung der Materialien, für das Arbeiten in demselben Bureau und die Förderung in jeder Hinsicht meinen ergebensten Dank abzustatten.

I. Gliederung des Flußeises und die Arten seiner Erscheinungen.

Die bisherigen Ergebnisse der Erforschung der Eisverhältnisse der Flüsse stehen in keinem Verhältnis zu der stark angeschwollenen Zahl der einschlägigen Veröffentlichungen. Das kommt daher, daß viele von vornherein ein mehr beschreibendes Verfahren beobachten, andere wieder das ganze Schwergewicht auf das Tabellenwerk legen und dabei in ein ziemlich mechanisch-statistisches Verarbeiten des vorhandenen Materials verfallen. Daher wandeln wir über die wichtigsten Vorgänge bei der Eisbildung noch ganz im Dunkeln und wird die Sache dabei immer verworrener, worüber berechtigterweise auch anderenorts Klage geführt wird.

So wissen wir über den eigentlichen Kristallisationsprozeß des Flußeises recht wenig, die Grundeisfrage ist noch nicht gelöst, die Abhängigkeit der Eisbildung von der Lufttemperatur wird mehr geahnt als ermittelt, ja nicht einmal über den Ort, an welchem der Eisbildungsprozeß vor sich geht, herrscht Übereinstimmung. Aber gerade diese letzte Frage muß gelöst sein, bevor man eine Gliederung des Flußeises vornimmt. Man findet wohl die Gliederung desselben in Oberflächeneis und Grundeis vor, eine mehr begriffliche als sachliche Unterscheidung; denn man sieht das Oberflächeneis doch meist nur als emporgetauchtes Grundeis an. Nachdem man lange Zeit das Grundeis überhaupt angezweifelt hat, verfällt man jetzt nur zu oft in den anderen extremen Standpunkt, alles Eis der Flüsse als Grundeis anzusehen; diese letzte Ansicht dürfte jetzt die meisten Anhänger zählen und wir werden auch sehen warum. So wird das Treibeis nach Thielemann insgesamt gebildet von Ufereis, von Siggeis und zum größten Teile aus Grundeis.¹⁾ Auch Maas²⁾ spricht nur von Grundeistreiben, das jedem Eisgange vorangeht, und ähnlich Bayer.³⁾ Während Swarowsky⁴⁾ zwei Arten von Flußeis: das Oberflächeneis und

¹⁾ Thielemann Max, Die Eisverhältnisse der Elbe und ihrer Nebenflüsse. Inaugural-Dissertation. Halle-Wittenberg, 1907, S. 30.

²⁾ Maas, Über den Eisgang der Elbe. Zeitschrift f. Bauwesen, 1877, S. 175.

³⁾ Bayer, Ein Eisgang am Oberrhein. Allg. Bauz. 1893. S. 88 u. 99.

⁴⁾ Dr. Anton Swarowsky, Die Eisverhältnisse der Donau in Bayern u. Österreich von 1850—90. Pencks Geogr. Abhandlungen, Bd. V., Heft 1.

das Grundeis unterscheidet, würde nach Lieckfeldt¹⁾ eine solche Unterscheidung ganz unzutreffend sein; nach seiner Ansicht muß sich eine gewisse Menge von Eis bei fortschreitender Abkühlung bilden und dies geschieht durch die ganze gleichmäßig auf 0° abgekühlte Wassermasse; die Ansicht, daß sich das Eis am Grunde gebildet habe, sei unrichtig und gehe wahrscheinlich auf eine mangelhafte Beobachtung zurück, zumal das in das Flußbett eindringende wärmere Grundwasser die Eisbildung am Grunde geradezu verhindere. Eine solche Unterscheidung wäre auch nach der Ansicht aller derjenigen hinfällig, die wie Lieckfeldt die Eisbildung in der ganzen Wassermasse gleichmäßig vor sich gehen lassen. Um allen diesen Ansichten gerecht zu werden, führen Thielemann, Romer und andere noch das Siggeis ein, das diese extremen Standpunkte einigermmaßen zu überbrücken geeignet erscheint. „Dieses bildet sich in der ganzen Wassermasse des Flusses zugleich, hauptsächlich im Wasser selbst, weniger an der Oberfläche“²⁾. Damit wäre eine Bezeichnung für das Eis gefunden, das nach der Theorie von Lieckfeldt für das schwimmende Oberflächeneis der Flüsse ausschließlich in Betracht käme. Daneben hält Thielemann auch an der Bezeichnung Grundeis fest, das sich nach ihm vom Siggeis nur dadurch unterscheidet, daß es eben am Grunde festsetzt.

Gegenüber dieser herrschenden Unsicherheit und dem Mangel an einer einheitlichen Gliederung des Flußeises will ich nun eine mehr sachliche Gliederung desselben vornehmen, die dadurch berechtigt erscheint, daß jede der einzelnen Arten des Flußeises andere Bedingungen für ihr Entstehen und Auftreten hat.

Ich möchte folgende Arten des Flußeises unterscheiden, und zwar nach dem Orte seiner Entstehung zwei Hauptarten: Oberflächeneis und Grundeis. Das Oberflächeneis gliedert sich wieder: a) in Ufer- und Randeis, das, wenn es an Ausdehnung zunimmt, zur teilweisen oder ganzen Eisdecke wird; der Unterschied ist also hier nur ein quantitativer; wenn es sich dagegen vom Ufer oder der Eisdecke loslöst und in den schwimmenden Zustand übergeht, treibendes Ufereis genannt werden soll; b) in Treibeis, das sich auf der Oberfläche der Flüsse bildet und schwimmend gleich weiter treibt. Das Treibeis läßt wieder unterscheiden:

¹⁾ Lieckfeldt, Über Eisbildung. Zentralb. d. Bauverwalt. 1902. S. 139—40.

²⁾ Thielemann, a. a. O., S. 26 ff.

Eisdust, Tost oder Treibschnee von sehr loser Konsistenz, dann Eisschollen von sehr großer Konsistenz; c) in Schneerinnen, das bei starkem Schneefall vorkommt und vielleicht hierher gerechnet werden kann.

Das Phänomen selbst läßt wieder folgende Vorgänge unterscheiden: Eisrinnen, Eisgang, Eisstoß, Eisaufbruch und Eisversetzung. Der Eisstoß schließt zwei Momente in sich: Eisstand und Eisabgang.

Übersichtliche Gliederung der Arten des Flußeises:

A) Oberflächeneis.

B) Grundeis.

- a) Am Rand gebildetes Eis (Randeis, Ufereis):
 - α) landfestes Ufereis,
 - β) Eisdecke,
 - γ) treibendes Ufereis, entstanden aus α) oder β);
- b) in der Strömung gebildetes Eis (eigentliches Treibeis):
 - α) Eisdust, Tost oder Treibschnee,
 - β) Eisschollen;
- c) Schneerinnen.

Das Phänomen gliedert sich in:

1. Eisrinnen,
2. Eisgang,
3. Eisstoß:
 - a) Eisstand,
 - b) Eisabgang,
4. Eisaufbruch,
5. Eisversetzung.

II. Das Oberflächeneis.

a) Die Bildung des Oberflächeneises.

Bei dem Kristallisationsprozeß spielen in der vorhandenen Literatur zwei Fragen eine Hauptrolle: die Frage nach dem Orte, an welchem sich die Eiskristalle bilden, und die Frage nach den Faktoren, welche den Prozeß der Eisbildung bedingen, Fragen, von deren Beantwortung es abhängt, ob man eine Unterscheidung

zwischen Oberflächeneis und Grundeis gelten läßt oder nicht. Bei der ersten Frage spielen rein theoretische Erwägungen mit, bei der zweiten jedoch scheint — soweit in neuere Arbeiten ältere Ansichten nicht einfach herübergenommen werden, was leider nur zu oft der Fall ist — die Eisbildung auf Seen und Teichen auf das Flußeis in irreführender Weise zu stark zurückzuwirken.

Die erste Frage wird in doppelter Weise beantwortet: die einen meinen, die Eisbildung gehe vorwiegend an der Oberfläche des Wassers vor sich, die anderen aber, dieselbe finde in der ganzen Wassermasse gleichmäßig statt. Die günstigen Ansatzpunkte am Boden der Flüsse sollen dann ohneweiters die Entstehung des Grundeises erklären.

Bei der zweiten Frage wird neben der Temperatur das Moment der Ruhe bei der Eisbildung als notwendig betont, Bewegung als hindernder Faktor hingestellt. Das scheint deshalb so einleuchtend, weil man weiß, daß das Eis auf Teichen und Seen früher auftritt als auf Flüssen. Als das das Teicheis fördernde Moment sieht man weit mehr die Ruhe des Wassers als die Dichteverhältnisse des Teichwassers an. Vielleicht liegt aber das Schwergewicht auf dem letzten Faktor; da beim Teicheis keine Durchmischung des Wassers auf 0° stattfindet, so dürfte dieser Umstand die Eisbildung hier mehr fördern als die Ruhe; denn das Teicheis tritt auch auf, wenn das Wasser durch den Wind in Bewegung erhalten wird. Jedenfalls hat das immer stärkere Betonen der Ruhe endlich gänzlich falsche Ansichten über die Eisbildung gezeitigt.

So heißt es bei Romer¹⁾: „Neben der Strahlung als dem schaffenden Moment bei der Eisbildung muß auch der Wasserbewegung, des hemmenden Momentes, gedacht werden. Das Strömen hemmt die Kristallisation des wenn auch überkühlten Wassers, wie dies schon Grotowski, Lindley und Schmied (Wetter, 1880, S. 284) festgestellt haben und wie dies viele andere direkt annehmen. An der Flußsohle ist die Wasserbewegung verzögert, hier muß also die Eisbildung den Anfang nehmen.“ Ihm folgt Thielemann,²⁾ wenn er sagt: „Langsam fließendes Wasser begünstigt die Eisbildung. An der Sohle des Flußbettes ist nun aber die Geschwindigkeit des Wassers am geringsten.“

¹⁾ E. Romer, Grund- und Siggeis. Ann. der Hydrogr., 1894, S. 105.

²⁾ Thielemann, a. a. O., S. 29.

Das alles sind für die Eisbildung äußerst günstige Umstände, die auch die Grundeisbildung völlig erklären“.

Hier führt also die Ruhe des Wassers direkt zur Erklärung des Grundeises, was sich als ganz unrichtig zeigen wird; andererseits gibt sie uns die Erklärung, warum die Ansicht, daß das treibende Flußeis in der Hauptsache emporgetauchtes Grundeis ist, immer mehr Anhänger findet.

Aber schon eine einfache Erwägung und Beobachtung läßt diese Ansicht als völlig unhaltbar erscheinen. Kämen — wie Fänner das will — nur ruhige Stellen der Oberfläche in Betracht, wie sie etwa abseits des Stromstriches vorkommen, dann wäre es ja von vornherein schwer erklärlich, wie solches an ruhigen Stellen des Flusses gebildete Eis denn so rasch an die bewegten Stellen gelangt, was der Fall sein müßte, um die außerordentlich großen Eismengen, die mitten im Flusse weiter treiben, zu erklären. Denn wer den Wellengang des Flusses beobachtet, der sieht, daß die Wellen von der Mitte gegen das Ufer ziehen und daß nur sehr langsam ein schwimmendes Stück Holz von ruhigen Stellen in den Stromstrich gelangt; das wäre aber für die an ruhigen Stellen gebildeten Eiskristalle eine doppelt peinliche Lage; denn sie würden bei der großen Adhäsion von vornherein — namentlich wenn sie sich in großen Mengen bilden — zur Deckenbildung und Ufereis hauptsächlich beitragen, wie das in der Tat auch der Fall ist, und nur sehr wenig käme in den Stromstrich. Dazu kommt, daß die ruhigen Stellen bei einem Flusse, wie z. B. die Mur es ist, in gar keinem Verhältnis zu den rasch bewegten Stellen stehen. Wie aber die Ruhe an der Flußsohle ganz außer Stande ist, das Grundeis zu erklären, ja wie gerade die Bewegung für die Bildung desselben unbedingt notwendig ist, wird bei der Grundeisbildung bewiesen werden.

Daß die Bewegung für die Eisbildung kein Hindernis bildet, geht schon aus dem Experiment hervor, daß überkühltes Wasser erst durch eine Bewegung zu Eis wird. Auf die Bedeutung der Bewegung bei Eisbildung weist nun auch Remus hin. Ich selbst, der ich bereits seit einer Reihe von Jahren die Eisbildung auf der Mur verfolge, konnte beobachten, daß ein zu starkes Betonen der Ruhe, namentlich wenn man den Begriff absolut und damit zu eng faßt, arge Irrtümer herbeiführt. Für das eigentliche Eisrinnen bleibt das Moment der Ruhe ganz außer Betracht: es bildet sich Eis an der Oberfläche des Flusses trotz bedeutender

Bewegung, die daselbst herrscht. Für die Bildung des Oberflächeneises kommen zwei Faktoren in Betracht: 1. die Temperatur, 2. die Strömung. Letzterer Faktor ist abhängig: a) von der Tiefe, b) vom Gefälle. Ist die Tiefe gering, so werden die Wasserteilchen zwischen den Steinen des Flußbettes sich den Weg bahnen müssen, es herrscht eine arge Durchmischung der Wasserteilchen, eine vertikale Wasserströmung, ebenso wie das bei zu starkem Gefälle, bei Stromschnellen und Stromwirbeln der Fall ist, während bei größerer Tiefe und verhältnismäßig geringem Gefälle die Wasserschichten horizontal übereinander hinwegfließen. Es ist nun klar, daß eine vertikale Wasserströmung für die Bildung des Eises an der Oberfläche nicht in Betracht kommt, schon deshalb nicht, weil eben die Wasserteilchen nicht an der Oberfläche bleiben; dagegen sind Stellen mit horizontaler Strömung für die Bildung des Oberflächeneises außerordentlich günstig.

b) Die einzelnen Arten des Flußeises in ihrer Entstehung.

a) Eisdust oder Tost, Eisschollen.

Das Treibeis als Eisdust, Tost oder Treibschnee ist dem äußeren Vorgange seiner Bildung nach bereits von L. Fritsch¹⁾ und G. Fänner²⁾ geschildert. Nach beiden entsteht Tost in folgender Weise³⁾: Auf dem Wasserspiegel lassen sich bei aufmerksamer Beobachtung ebene Flächen wahrnehmen, deren Teilchen durch eine gewisse Zeit unverändert zueinander bleiben. Auf denselben entstehen bei entsprechender Kälte, und sobald das Wasser genügend abgekühlt ist, analog der Bildung des Landeises feine Eisnadeln, die rasch zu längeren Strahlen und Zweigen zusammenschießen. Die kaum Millimeter dicken Eisfäden kreuzen sich in der unregelmäßigsten Weise und bilden schließlich ein verworrenes Gewebe, ein kleines Eistäfelchen. Wenn diese während des Fließens an unruhigere Stellen gelangen, werden sie zerbrochen, übereinander geschoben und vergrößert, indem sich neue Eisnadeln an die Bruchstücke ansetzen oder mehrere zusammenfrieren. Dieser Tost ist ein durchaus lockeres Gefüge von zer-

¹⁾ C. Fritsch, Über die konstanten Verhältnisse des Wasserstandes und der Beeisung der Moldau bei Prag. Sitz.-Ber. d. k. Ak., math.-nat. Kl., Jahrg. 1851.

²⁾ G. Fänner, Der Eisstoß der Donau. Wochenschr. des Österr. Ingenieur- u. Architektenvereins, XIII. Jahrg., Nr. 34.

³⁾ Vergl. Swarowsky, a. a. O., S. 9.

brochenen Eisnadelkristallen und wächst sehr rasch bei anhaltender Kälte; aber nur an ruhigen Stellen des Flusses kommt er zu größerer Entwicklung, rasch fließendes Wasser oder zu geringe Tiefe sind seiner Bildung hinderlich.

Diese Darstellung des Vorganges bei der Tostbildung fand ich im allgemeinen bei meinen Beobachtungen bestätigt, wenn sie auch gerade in den wichtigsten Momenten mannigfach modifiziert werden muß. Es ist selbstverständlich, daß in jedem Flusse Stellen vorkommen, wo auf dem Flußspiegel ebene Flächen wahrgenommen werden können, deren Teilchen durch eine gewisse Zeit unverändert zueinander bleiben; auf solche Stellen im Flusse wird diese Darstellung immer zutreffen. Aber es wäre doch verfehlt, wenn man solche ebene und ruhige Flächen als unbedingt notwendig und als das wichtigste Moment ansprechen wollte. Denn sobald das Wasser genügend durchkühlt ist und die entsprechende Temperatur herrscht, bilden sich Eisnadelkristalle an der ganzen Oberfläche ohne Unterschied, ob dieselbe bewegt oder ruhig ist. Selbst das Ufereis, das noch durch die Leitung begünstigt werden kann, tritt dort, wohin die Eiskristalle aus der Mitte nicht gebracht werden, später auf, als sich solche in der Mitte des Flusses bilden; nur in den günstigsten Fällen und in ganz geschützten Buchten kann es etwas früher entstehen. Jedenfalls geht der Eisbildungsprozeß selbst mitten im Stromstrich vor sich; hier und nicht an ruhigen Stellen des Flusses setzt die Bildung des Tostes am intensivsten ein und nur dieses in der Strömung gebildete Eis kommt überhaupt für das Eisrinnen in Betracht. Typisch für solche intensive Eisbildung sind Stellen mit horizontaler Strömung, während solche mit vertikaler Strömung ungünstig sind. Ein Umstand vermag die Eisbildung im Stromstrich stark zu fördern. An Stellen, wo die Wasserteilchen stark durchmischt werden, also an förmlichen Stromschnellen, entwickelt sich ein weißer Schaum, der auch im Sommer auftritt, bei Minusgraden aber sich leichter zu entwickeln scheint, in großen Mengen auftritt und weit widerstandsfähiger ist, so daß er sich auf weit längere Strecken erhält als sonst; herrscht nun die für die Eisbildung nötige Temperatur und fischt man dann solchen — wie man meint — weißen Schaum, der nur im Stromstrich fließt und von hier an das Ufer gelangen kann, aus dem Wasser, dann sieht man, daß sich über den kleinen Luftbläschen ein oft handtellergroßes, sehr dünnes, kristallreines und vollkommen durch-

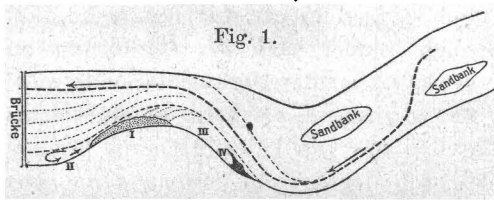
sichtiges Eisscheibchen angesetzt hat. Dieser Schaum spielt aber nur eine vorübergehende Rolle; denn sobald der Tost eine bestimmte Größe und Dicke erreicht, muß das Schäumen aufhören, indem das Eis, das die ganze Oberfläche bedeckt, den Wellengang des Flusses beeinflusst; der Fluß fließt dann, mit Eis beschwert, so ruhig wie Öl dahin. Diese Eiskristalle und Eistäfelchen vereinigen sich zu dem lockeren Gefüge des Tostes. Die Intensität der Tostbildung hängt von dem Verhalten der Temperatur ab; bleibt die Temperatur, bei welcher sich die Eiskristalle bilden, konstant, dann kommt es zu keiner größeren Entwicklung des Tostes. Sinkt aber die Temperatur noch weiter, so nimmt die Intensität der Eisbildung gewaltig zu; innerhalb kurzer Zeit konnte ich tellergroße Stücke wahrnehmen, die allerdings noch sehr dünn waren. An Stellen mit horizontaler Strömung und verhältnismäßig geringer Geschwindigkeit vereinigen sich rasch kleinere Stücke zu großen, indem jedes Stück, sobald es gleiche Geschwindigkeit mit dem benachbarten erreicht, sofort nach der Berührung mit diesem zu einem Stücke verwächst, an der Berührungsstelle einen weißen Eiskranz bildend, was so aussieht, als hätte es auf solchen Tost daraufgeschneit; an Stellen mit vertikaler Strömung löst sich derselbe wieder auf, so daß nach der Art der Strömung der Tost bald in großen Stücken vereinigt, bald wieder in seine Eiskristalle aufgelöst oder in kleinen Stücken weiter treibt. Wie rasch sich solcher Tost auflöst und wieder zu großen Stücken vereinigen kann, das kann man bei einem Wehre sehen; während er über das Wehr treibt, löst er sich vollständig auf, sobald er wieder emporsteigt, vereinigen sich sofort die Eiskristalle wieder zu großen Stücken. Wenn die Temperatur noch weiter fällt und entsprechend anhält, so gewinnt dieses lose Gefüge von Eiskristallen an Festigkeit: es entstehen dann Eisschollen fester Konsistenz, die den eigentlichen Eisgang bilden. Wenn es auf genauere Unterscheidungen nicht ankommt, kann man alles fortschwimmende Eis als Treibeis bezeichnen; doch wird man vom Tost Eisschollen fester Konsistenz unterscheiden müssen, weil beide einen ganz verschiedenen Kältegrad beanspruchen.

β) Das Randeis; die Eisdecke; treibendes Ufereis.

Die Randeisbildung im allgemeinen hängt ab von der Temperatur und wird begünstigt durch die Leitung, die nach der Bodenart verschieden sein kann, und durch die Adhäsion des

Eises. Es kommt am Ufer zu einem Kampf zwischen der Adhäsion und der Stoßkraft des Wassers; es wird sich Randeis erst ansetzen, wenn die Adhäsion die Stoßkraft des Wassers zu überwinden vermag. Da aber der Wellengang und damit die Stoßkraft des Wassers am Ufer nicht überall gleich ist und die Bodenart die Eisbildung mehr oder weniger begünstigen kann, so wird selbst bei gleichen Temperaturverhältnissen der Luft und des Wassers die Entwicklung des Randeises eine sehr mannigfache sein.

Das Randeis läßt im allgemeinen zwei Arten unterscheiden: es besteht entweder aus langen Eisnadeln, die sich in der mannigfachsten Weise kreuzen; sie werden vom Wasser überflutet, so daß sich eine Eisdecke über den Nadeln bildet; diese Art des Randeises hat ein vom Toste wenig verschiedenes Aussehen; oder es ist durchsichtig, glatt, von der Art unseres Teich- und Seees.



Beide Arten verdanken ihr Entstehen verschiedenen Bedingungen. Die erste Art bildet sich bei weit geringeren Kältegraden und für diese Art kommt

dann noch hauptsächlich der Wellengang in Betracht. Die Eisnadeln, aus denen diese Art besteht, bilden sich bereits bei -4° an bewegteren Stellen des Flusses und können durch den Wellengang und die Strömung an das Ufer befördert werden, wo sie bei dem hohen Adhäsionsgrad, der dem Eise zukommt, haften bleiben: es setzt sich Randeis zuerst an jenen Stellen des Ufers an, wohin solche Eisnadeln aus der Mitte des Flusses durch die Strömung gelangen; wo das nicht der Fall ist, findet man keine Spur von Randeis, trotzdem sämtliche anderen Bedingungen die gleichen sein können; selbst in geschützten Buchten, wenn nicht durch Rückstau Eisnadeln in dieselbe befördert wurden, fand ich es später oder mindestens weniger ausgedehnt als an solchen durch die Strömung begünstigten Stellen.

Als Beleg für die Einflußnahme der Strömung auf das Randeis möchte ich eine Stelle an der Mur, und zwar die bei der Weinzödler Brücke anführen (Fig. 1). Dieselbe liegt 5.771 km oberhalb Graz und führt von der Haltestelle Gösting zur kleinen Ortschaft Weinzödl. Die Brücke befindet sich gleich ober-

halb eines Wehres, weshalb oberhalb der Brücke Stauwasser sich befindet und die große Geschwindigkeit des Hauptstromstriches [----], wie sie zwischen den beiden Sandbänken bis zum Knie vorkommt, sich etwas ermäßigt. Vom Hauptstromstrich zweigt sich ein viel schwächerer Nebenstromstrich [----] ab, der an das linke Ufer geht. Er trifft an der mit I. bezeichneten Stelle das linke Ufer und dort setzt sich zuerst Randeis an, ebenso wie an der mit II. bezeichneten Stelle, die eine geschützte Bucht ist, wohin durch Rückstau die Eisnadeln gelangen, während an der mit III. bezeichneten Stelle, wo das Wasser parallel mit dem Ufer floß, wohin also die Eisnadeln aus der Mitte nicht gelangen konnten, keine Spur von Randeis sich vorfand, obwohl diese Stelle ganz in der Nähe der ersten sich befindet; selbstverständlich befand sich keine Grundwasserquelle daselbst, die sonst die Ausnahme erklären könnte. Solche Stellen sind also für die Randeisbildung überaus ungünstig und deshalb kommt das Randeis zwischen regelten, festen Ufern, wo der Stromstrich nicht hin und her pendelt, sondern die ganze Wassermasse in der ganzen Breite des Flußbettes gleichmäßig weiter-



Fig. 2.

fließt — wie das in regulierten Flußbetten der Fall ist —, bei mäßig strengen Frostperioden fast zu keiner Entwicklung. Selbst in der kleinen Bucht [IV], wo kein nennenswerter Rückstau vorhanden war, setzte sich Randeis spärlicher und langsamer an.

Die Strömung in der Form des Rückstaues erklärt auch die Serpentiniform,¹⁾ welche die offene Flußrinne im Winter dann annimmt, wenn hauptsächlich die erste Art des Randeises zur Entwicklung gelangt, was der Fall sein wird, wenn die Frostperiode keine allzu strenge ist und nur Nachtmittel von -4° bis -8° (an der Mur) aufweist (vgl. Fig. 2).

Was die zweite Art des Randeises anbelangt, so ist dieselbe an weit tiefere Temperaturen gebunden; es muß eine Frostperiode vorkommen, die Nachtmittel von -10° aufweist, damit sich solches entwickeln kann; in diesem Fall spielt aber der Wellengang und die Strömung keine besondere Rolle mehr. Das Randeis nimmt

¹⁾ Die Eisbildung bei Frankfurt a. M. am 28. XII. 1890. Zentralb. d. Bauverwaltung, 1891, S. 79.

dann rasch an Ausdehnung zu und nur in der Nähe des Hauptstromstriches kommt noch einmal der Kampf zwischen Adhäsion und der Stoßkraft des Wassers zum Stehen, der, falls die Fröste sich noch strenger gestalten, zu Gunsten der Eisbildung ausfällt: die Eisdecke breitet sich über den ganzen Fluß aus.

Es folgt also, daß auch nach der Art der Frostperioden — ob dieselben um -4° bis -8° im Nachtmittel schwanken oder solche von -10° aufweisen — die Entwicklung des Randeises nach Art und Größe der Ausdehnung eine andere sein wird.

Wenn nun vom Randeis oder der Eisdecke sich Stücke lösen und in den schwimmenden Zustand übergehen, so kann man vom treibenden Ufereis sprechen; dieses mußte noch besonders unterschieden werden, weil sein Auftreten an andere Bedingungen geknüpft ist als das des eigentlichen Treibeises. Er wird auftreten bei Temperaturen, welche das Eis auflösen und sein Auftreten wird begünstigt durch die Hebung des Wasserstandes, welche bei solchen Temperaturen eintritt; es kann tagelang fließen, wenn die Temperaturen nicht zu plötzlich steigen und keine zu hohen Plusgrade erreichen; es kann an einem Tage abfließen, wenn die Temperatur hohe Plusgrade erreicht; natürlich hängt die Dauer des treibenden Ufereises auch von der Mächtigkeit seiner Entwicklung ab.

c) Kristallformen.

Sobald die Eisbildung einsetzt, sieht man auf der Oberfläche des Wassers, wenn man schräg auf dasselbe hinblickt, eine Menge

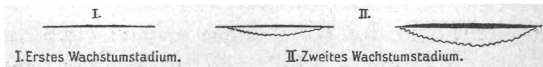


Fig. 3.

von Eisnadeln, was zunächst so aussieht, als ob auf dem Wasserspiegel Ziegenhaare ausgestreut wären. Diese Nadelform ist die einfachste und kommt am häufigsten vor. Sie besitzt oft große Länge, zeigt oben zwei scharfe Kanten, wächst nach unten und zeigt dort einen gezackten Rand (vgl. Fig. 3).

Diese Nadelform ist die einfachste und kommt am häufigsten vor. Sie besitzt oft große Länge, zeigt oben zwei scharfe Kanten, wächst nach unten und zeigt dort einen gezackten Rand (vgl. Fig. 3).

Die zweite Form ist die Plättchenform, die nur Zehntel von Millimeter dick und den Schneekristallen mit gekerbten Rändern ähnlich ist. Die dritte Form sind die biegsamen, dünnen, kristallreinen Scheibchen, die sich über dem weißen Schaum bilden.

Jede dieser Formen scheint einer anderen Temperatur zu entsprechen; bei -4° fand ich die erste, bei -6° die zweite,

aber erst bei -7° die dritte Form. Neben der Temperatur scheint auch der Wellengang eine große Rolle zu spielen; die dritte Form ist auf den Stromstrich, die zweite wahrscheinlich auf ebene, ruhige Flächen beschränkt, die erste kommt an der ganzen Oberfläche vor.

Der Vorgang der Eisbildung und die Formen der Kristalle deuten darauf hin, daß der Kristallisationsprozeß nur an der Oberfläche des Flusses vor sich geht; er wird durch die Strömung und die verschiedenen Temperaturgrade mächtig modifiziert.

d) Das Flußeis in seinen Erscheinungen.¹⁾

Bei mäßig strengen Frostperioden kommt es nur zur Entwicklung des Tostes; man spricht dann vom Eisrinnen. Erst wenn die Frostperioden sich sehr streng gestalten und Nachmittage von -10° aufweisen, kommt es zur Bildung von festen Eisschollen, die den eigentlichen Eisgang herbeiführen. Bei solchen Eisgängen gehören oft nur geringe Ursachen dazu, daß sich der Eisstoß stellt, d. h. daß die Eismassen zum Stillstand kommen und Eisstand eintritt. Solche Ursachen sind: verwilderte Stromstrecken bei geringem Wasserstand, Stellen mit vermindertem Gefälle, scharfe Einengungen der Breite, wenn dabei nicht die Oberflächengeschwindigkeit allzusehr vergrößert wird, Untiefen, scharfe Krümmungen und andere natürliche Hindernisse; bei den deutschen Strömen, die nordwärts fließen, macht sich der Einfluß der Flut und des Stauwassers als Hindernis geltend, indem der Eisstand gewöhnlich an ihrer Mündung ins Meer eintritt; auch Stauwehre auf kanalisierten Strecken bilden solche Ursachen, z. B. das Wehr bei Hameln an der Weser, die Wehre bei Breslau, Ohlau, Brieg an der Oder; an der Donau in Ungarn ist es das geringe Gefälle, bei kleinen Flüssen sind es oft Brücken, welche das Stillstehen des Eisganges verursachen. Indem also mehr Eis ankommt als abgeht, bedeckt sich der ganze Fluß mit Eis; die Schollen schieben sich dabei mehr oder weniger schuppenartig zusammen; bald hört jede Bewegung auf, Eisstand tritt ein und durch neue Eismassen baut der Stoß vor, wodurch der Wasserstand oberhalb desselben steigt. Wie rasch der Stoß vorbaut, kann man

¹⁾ Zu diesem Absatz vgl. R. Jasmund, Fließende Gewässer. § 10. Eisverhältnisse. S. 323 ff. Handb. d. Ingenieurwissenschaften. III. Teil, 1. Bd., 2. Lief. Leipzig 1906. Ferner Swarowsky, a. a. O., S. 11 ff.

bei der Elbe sehen, wo nicht selten in 24 Stunden eine Strecke von 50 km Länge mit Eisstand bedeckt ist, dessen Anblick einem regellos zusammengeschobenen Trümmerfeld gleicht.

Während also der Eisstand kein reines Temperatur-Phänomen ist, ist der Abgang des Eisstoßes wieder ganz von der Temperatur abhängig, die aber hier nicht direkt, sondern indirekt Einfluß auf denselben nimmt. Die wesentlichste Bedingung ist, daß plötzlich Tauwetter eintritt, wodurch sich die Wassermasse mehrt und eine plötzliche Hebung des Wasserstandes eintritt. Zunächst tritt ein Nachschieben des Stoßes ein, bis die angeschwollene Wassermasse Kraft genug gewonnen hat, um den Eisstand zu heben, wodurch dieser seine Stützpunkte am Ufer verliert und sich in Bewegung setzen muß. Die Geschwindigkeit, mit der sich diese Erscheinung fortpflanzt, ist eine sehr beträchtliche und die Wirkungen, die das Eis in dieser Erscheinung zur Folge hat, sind sehr bedeutend; Verschleppungen und Anhäufungen finden statt und das Strombett wird oft ganz von dem abgehenden Stoß umgestaltet. Tritt keine entschiedene Temperaturerhöhung ein, sondern schwankt die Temperatur mehrere Tage um 0°, dann verschwindet der Stoß nach und nach ohne Gewaltigkeit.

Unter Eisaufbruch versteht man die Erscheinung, die eintritt, wenn eine zusammenhängende Eisdecke eines Flusses plötzlich durch Steigen des Wasserspiegels bei Tauwetter aufbricht und zertrümmert wird; es entsteht dann ebenfalls Eisgang.

Wenn ein im vollen Gange befindlicher Eisaufbruch durch ein Hindernis in eine Zusammenschiebung aller aufgebrochenen oberen Eismassen ausläuft, dann nennt man diese Erscheinung Eisversetzung; sie wird wie der Eisstoß durch Umstände bewirkt, durch welche die regelmäßige Fortführung der Eisschollen verhindert wird. Eine solche Eisversetzung ist immer mit Verheerungen verbunden, indem die oberhalb des Stoßes befindliche Stauwelle den abziehenden Eismassen als Hochwasser folgt. Die Eisversetzungen bewirken häufig auch Damnbrüche und damit Überschwemmungen. Bei solchen Verstopfungen kann in Talweiten leicht eine Verlegung des Flußbettes eintreten, wie es im Unterlaufe der Weichsel zu wiederholten Malen der Fall gewesen ist. Die Eismasse, die den Anstoß zu dem Stehenbleiben gegeben hat, nennt man Eisschutz; sie ist bisweilen ein ganz gewaltiger Eisberg.

III. Das Grundeis.

a) Hypothesen über die Entstehung des Grundeises.

Über das Grundeis sind die Meinungen am widerspruchsvollsten und eine voll befriedigende Erklärung liegt noch nicht vor. Wohl hat schon Gintl seinen Aufsatz: „Beobachtungen über das Grundeis der Mur“ mit den Worten geschlossen¹⁾: „Somit glaube ich nicht Unrecht zu haben, wenn ich den Beweis für die Bildung des Eises am Grunde des Wassers als hergestellt und die bisher für problematisch angesehene Theorie der Grundeisbildung für erledigt und abgetan halte“. Aber zur Erklärung dieses Phänomens hat er doch seine Zuflucht zur Hypothese Aragos genommen, der selbst von seiner Hypothese nicht ganz befriedigt zu sein erklärte, andererseits wohl den Beweis geliefert, daß die problematisch angenommene Möglichkeit der Grundeisbildung wirklich stattfindet, hat aber aus seinen Beobachtungen völlig irrige Folgerungen gezogen. Wie manche neuere und neueste Ansicht dahin geht, die Oberflächengeschwindigkeit als ein wesentliches Hindernis für die Eiskristallisation anzusehen, so sah auch Gintl in derselben das Hindernis zur Eisbildung. Wie bereits gezeigt worden ist, ist das durchaus nicht der Fall; es kommt bei der Eisbildung vor allem auf die Art der Strömung an: horizontale Strömung führt zur Bildung des Tostes, vertikale, strudelförmige löst ihn wieder auf.

Durch solche theoretische Erwägungen voreingenommen und durch seinen Beobachtungsort ganz beeinflusst, stellt Gintl die unrichtige Behauptung auf, daß alles Eis auf der Mur Grundeis sei. „Dieses so zahlreich daherschwimmende Eis ist aber kein auf der Oberfläche entstandenes, sondern sogenanntes Grundeis.“²⁾ Und er steht nicht an, auch die weitere Folgerung zu ziehen: daß auch das Ufereis³⁾ nichts sei als Grundeis, „indem es sich an den seichteren Uferstellen zusammenschiebt, die Veranlassung zum Entstehen des sogenannten Ufereises gibt“. Es ist selbstverständlich, daß das eine oder andere Mal Ufereis auf diese Weise entsteht; aber das typische Ufereis hat mit Grundeis nichts zu tun. Daß das vorkommende Eis wahres Grundeis sei, dafür nimmt Gintl zunächst den Augenschein in Anspruch, „da es den all-

¹⁾ W. Gintl, Beobachtungen über das Grundeis der Mur, S. 30.

²⁾ Gintl, a. a. O., S. 2.

³⁾ Ebda., S. 2.

gemeinen Charakter desselben, d. i. das gallertartige Aussehen und das lockere Gefüge nebst den übrigen Kennzeichen des Grundeises besitzt.“¹⁾ Aber immerhin sind beide Arten schon dem Augenscheine nach so verschieden, daß man leicht das Grundeis vom Tost unterscheiden kann, selbst dann, wenn beide bereits zu einem Stücke verschmolzen sind. Denn das Grundeis hat froschlauchartiges Aussehen, ist immer schmutzig, weil es mit Sand und anderen Sinkstoffen erfüllt ist, besitzt eine weit geringere Konsistenz als der Tost und ist ganz mit Wasser erfüllt.

Gintl beruft sich ferner darauf, daß „Müller, Fischer und Fährleute gegen die sonst allgemein verbreitete Meinung, daß das Eis zuerst an der Oberfläche des Wassers entstehe, behaupteten, es kämen vielmehr die Eisschollen, womit sich die Gewässer im Winter bedecken, schon gebildet vom Boden heraufgestiegen.“²⁾ Es kann mit den Erkundigungen Gintls seine Richtigkeit haben; es ist sicher, daß es Stellen gibt, wo sich nur Grundeis bildet, wobei es unter besonders günstigen Umständen auch früher als das Treibeis auftreten kann. Falsch ist eben nur, daß Gintl, dadurch irreführt, meinte, es müsse der Eisbildungsprozeß immer und überall so vor sich gehen. Indem eben einige Erscheinungen, die bald an dem einen, bald an dem anderen Flusse, an der oder jener Stelle besonders augenfällig zutage treten, irriger Weise verallgemeinert werden, kommen große Irrtümer zustande und nur dadurch ist es zu erklären, daß hier wie kaum sonst wo so schroff einander widersprechende Ansichten herrschen: die einen meinen, es gäbe überhaupt kein Grundeis, andere wieder, alles Eis in den Flüssen sei Grundeis. Bei Gintl liegt es wenigstens klar zutage, daß er sich ganz von seinem Beobachtungsorte beeinflussen ließ. Sein Beobachtungsort Graz ist nämlich aus später zu erwähnenden Gründen ein typischer Ort für Grundeisbildung; dadurch verleitet und durch den ähnlichen Augenschein getäuscht, erklärte er alles Eis der Mur für Grundeis.

Den meisten Beifall fand die Hypothese von Arago³⁾, der zwischen stehenden und fließenden Gewässern unterschied; in ersteren würden die tieferen Schichten nicht über das Dichtemaximum hinaus abgekühlt werden können, während Bäche und

¹⁾ Gintl, a. a. O., S. 2.

²⁾ Ebda., S. 3.

³⁾ Arago, *Annuaire pour l'an 1843*, S. 244 ff.

Flüsse einer gründlicheren Durchkältung bis auf den Grund fähig seien, und wenn sich dort Wasser von 0° befinde, so seien bei der Menge dort befindlicher Ansatzpunkte der Kristallisation die günstigsten Bedingungen für das Gerinnen des Wassers gegeben, worauf sich das Eis löse und aufsteige. Ganz befriedigt war er jedoch selbst nicht von seiner Hypothese und das mit Recht; sonst müßte nach dieser Hypothese im ganzen Laufe eines Flusses auf dem Grunde Eis vorhanden sein, während das Grundeis immer ein örtlich beschränktes Phänomen ist.

Die neueren Ansichten über die Entstehung des Grundeises brachten keine Klärung. Es wird sich nun zeigen, wie weit heute noch die Forschung entfernt ist, den Unterschied zwischen Oberflächeneisbildung und Grundeisbildung gelten zu lassen und wie wenig befriedigend und wie widerspruchsvoll noch die Erklärung der Eisbildung ist.

So meint Jasmund¹⁾, daß im Innern des fließenden Wassers, wo sich die einzelnen Atome stetig gegeneinander verschieben, wenn das Wasser rein ist, keine Gelegenheit zur Kristallisation bietet; dazu fehle der feste Ausgangspunkt. An der Wandung des Stromes biete sich dazu eher Gelegenheit wegen der verminderten Geschwindigkeit, die bis auf 0 heruntergeht. In dem Ruhezustand des Wassers an der Wandung schließen sich die nadelförmigen Kristalle, wie solche der Eisbildung entsprechen, von Kies, von den Steinen oder anderen rauhen Flächen ausgehend, eng und enger zusammen, breiten sich als Grundeis weiter aus oder treiben, wegen des geringen spezifischen Gewichtes sich lösend, als Treibeis an die Oberfläche. Das meiste Eis bilde sich aber doch im Strom selbst; die Sinkstoffe müssen daher als der wesentlichste Anlaß zur Grundeisbildung betrachtet werden, die den festen Ausgangspunkt für den Kristallisationsvorgang abgeben. Nach ihm führen trübe Flüsse mehr Eis als solche mit reinem Wasser.

Hier haben wir also wieder eine Theorie, die alles Treibeis als emporgetauchtes Grundeis ansieht und die Sinkstoffe als den „wesentlichsten Anlaß zur Grundeisbildung“ annimmt. Daß diese Ansicht von der Eisbildung unrichtig ist, geht bereits aus der vorhergehenden Darstellung hervor, in welcher dargetan wurde, daß die Bewegung für die Kristallisation durchaus kein Hinder-

¹⁾ Jasmund, a. a. O., S. 323 ff.

nis bietet. Was die Sinkstoffe anbelangt, so können sie schon deshalb nicht den wesentlichsten Anlaß zur Eisbildung geben, weil die feinen Eiskristalle kristallrein und vollkommen durchsichtig sind; selbst das Grundeis, das ganz mit Sand und kleinen Steinchen erfüllt ist, läßt erkennen, daß diese durchaus nicht fest an das Eis angefroren sind; diese Steinchen befinden sich nur lose in demselben wie hineingestreut und fallen ohneweiteres bei genauerem Untersuchen aus demselben heraus.

Diese Ansicht wird deshalb mit Recht von Lieckfeldt und anderen bekämpft. Lieckfeldt¹⁾ bekämpft aber auch die Grundeisbildung durch Unterkühlung, die manche annehmen, weil eine solche nicht stattfinden kann, indem bei niedrigem Wasserstande das wärmere Grundwasser, das durch das Bett in den Strom dringt, die Grundeisbildung geradezu verhindert; er meint vielmehr, daß bei fortschreitender Abkühlung eine gewisse Menge Eis sich bilden muß und dies durch die ganze, gleichmäßig auf 0° abgekühlte Wassermasse geschieht, wobei die Form des Eises verschieden sein kann.

Diese Theorie der Eisbildung übersieht aber dabei das wichtige Moment, daß die Bedingungen für das Gefrieren für alle Wasserteilchen durchaus nicht die gleichen sind und die Teilchen an der Oberfläche ganz anders der Abkühlung ausgesetzt sind als etwa die in der Mitte und am Boden des Flusses.

Auch die Ozeanographen ergriffen zu diesem Phänomen das Wort und Günther formulierte, gestützt auf ihre Untersuchungen, den Prozeß des — wie er meint — irrtümlich so genannten Grundeises wie folgt: „Die Bildung der porösen Eisschollen, welche die Sitte als Grundeis bezeichnet, kann in beliebiger Tiefe unter dem Wasserspiegel erfolgen, falls nur die vertikale Wärmeverteilung der Entstehung einer keilförmigen, zwischen zwei wärmere Schichten sich einschiebenden Zwischenschicht von verhältnismäßig niedriger Temperatur Vorschub leistet.“²⁾

Diese Erklärung der Grundeisbildung ist von vornherein auf das sogenannte Grundeis im Meere und an den Mündungen von Flüssen zugeschnitten und deshalb ist dieser kalte Keil für die Erklärung des Grundeises in Flüssen nicht unangefochten geblieben; schließlich scheint es mir zweifelhaft, daß kein Unterschied zwischen beiden Arten von Grundeis bestehen sollte.

¹⁾ Lieckfeldt, Über Eisbildung, Zentralb. d. Bauverw. 1902, S. 139—140.

²⁾ Günther, Handbuch der Geophysik, 2. Aufl., 2. Bd., S. 542 ff.

H. Meier,¹⁾ der seine Beobachtungen über das Grundeis in Hamburg angestellt hat, kommt zum Schlusse, daß sich Grundeis auch auf dem Boden der Gewässer und so auch im fließenden Wasser bilden kann, wobei nur die nötige Kälte die Hauptsache ist; Strahlung, klarer oder bedeckter Himmel, reines oder trübes Wasser seien dabei Nebensache; das Wichtigste ist, daß dem gleichmäßig auf 0° abgekühlten Wasser weitere Wärme entzogen wird, um den Zustand des Siggens zu erzeugen. „Im Winter wirken Luft- und Bodentemperatur in entgegengesetzter Richtung auf das fließende Wasser; beim Überwiegen der Kälte wird allmählich die gesamte Wassermasse auf 0° abgekühlt; beim ferneren Beharren dieses Verhältnisses entsteht demnächst im Wasser der Zustand des Gefrierens oder des Gefrierenwollens, die Gegenerscheinung des Siedens; es bilden sich im Wasser — bei starker Strömung in allen Schichten — kleine Eisflocken, welche vermöge ihrer relativen Leichtigkeit an die Oberfläche steigen.“

Dieser Vorgang des Aufsteigens der Eisflocken wird Sigen genannt und demnach das Eis als Siggeis angesprochen. Das Ansetzen dieser Eisflocken an den Boden der Flüsse oder an andere Gegenstände führt wie Leitung zur Grundeisbildung.

Diese Hypothese kann zur Erklärung des Grundeises in unseren Flüssen nicht herangezogen werden. Der Zustand des Siggens wird sich wohl am besten durch die Annahme eines kalten Keiles, wie ihn Pettersson bewiesen hat, erklären lassen. Ein solcher läßt sich in unseren Flüssen nicht nachweisen und dürfte nur an den Mündungen der Flüsse ins Meer vorkommen. Doch auch nach dieser Hypothese bleibt es unaufgeklärt, warum es an der einen Stelle des Flusses zur Grundeisbildung kommt, an anderen nicht, selbst dann nicht, wenn die Stellen noch durch Leitung und Strahlung ganz besonders begünstigt sind.

Trotzdem ist diese Hypothese von Romer²⁾ zur Erklärung des Grundeises der Weichsel übernommen worden und deshalb spricht auch er von Siggeis und Grundeis. „Als das Weichselwasser in seiner ganzen Mächtigkeit während einer längeren Frostperiode bis nahe zum Nullpunkt sich abgekühlt hatte, entstand in der ganzen Wassersäule eine Masse von Eiskristallen und

¹⁾ Meier, Über Grundeisbildung. *Annalen d. Hydrographie u. maritimen Meteorologie*, 1891, S. 137; 1892, S. 297 ff.

²⁾ Romer, Grund- und Siggeis. *Annalen d. Hydrographie*, 1894 S. 105.

Eisnadeln. Daß das Siggeis sich wirklich in der ganzen Wassermasse zugleich bildete, beweist das Verhalten einer Röhre aus Gummi, die bei den alten Wasserleitungen im Falle einer Verstopfung der Hauptrohre benützt wurde. Mochte die Röhre in jedem möglichen Niveau ins Wasser eingesenkt werden, die Eisnadeln drangen immer in die Pumpen.“

Allein das scheint noch kein Beweis für die Eisbildung in der ganzen Wassermasse. Denn naturgemäß werden die Rohre durch das Einsaugen des Wassers eine gegen sich gerichtete Strömung erzeugen, die die Eisnadeln von der Oberfläche in die Pumpen bringt.

Ist der Nachweis, daß sich das Eis in der ganzen Wassermasse unserer Flüsse bildet, somit die Annahme eines Siggeises nicht erbracht, so kann der Umstand, daß an der Flußsohle die Wasserbewegung verzögert ist und deshalb die Eisbildung hier den Anfang nehmen muß, noch weniger zur Erklärung des Grundeises führen. Selbst wenn Thielemann und andere neben der Verzögerung der Geschwindigkeit an der Sohle noch die Unterkühlung zur Erklärung des Grundeises heranziehen, kommen wir nicht zum Ziele. Eine solche Unterkühlung müßte zunächst durch genaue Messungen als vorhanden und als unbedingt notwendig erwiesen werden; und dann könnte man eine starke vertikale Bewegung zur Erklärung der Entstehung des Grundeises an den einzelnen Stellen nicht entbehren. Denn damit überkühltes Wasser von der Oberfläche an die Sohle des Flußbettes gelangen kann, ist eine bedeutende vertikale Strömung nach abwärts nötig; die Stoßkraft des Wassers erreicht aber an solchen Stellen ihren höchsten Grad; damit ist die Annahme, daß die Verzögerung der Geschwindigkeit an der Flußsohle zur Grundeisbildung führe, völlig hinfällig geworden.

b) Die Entstehung des Grundeises.

a) Das Grundeis der Flüsse.

Alle genannten Theorien beruhen im letzten Ende mehr oder weniger auf der falschen Ansicht, daß die Bewegung an der Oberfläche ein wesentliches Hindernis der Eisbildung sei. Es tritt dabei die herrschende Ansicht zutage, daß das Gefrieren lediglich durch eine hinreichende Wärmeentziehung bewirkt werde und Bewegung ein hinderndes Moment bilde. Demgegenüber weist in

neuester Zeit K. Remus¹⁾ darauf hin, daß Wasser weit unter 0° abgekühlt werden kann, ohne es zum Erstarren zu bringen; erst eine Bewegung bringe diese Wirkung hervor; ebenso weist er auf die weit größere Rolle, die die Adhäsion beim Kristallisationsvorgang, namentlich beim Gefrieren des Wassers spielt, hin.

Bildet schon bei der Tostbildung die Bewegung kein hinderndes Moment, so ist sie für die Grundeisbildung geradezu unerläßlich; wurde bei der Tostbildung die Bedeutung der Strömung festgestellt, so spielt sie auch bei der Grundeisbildung eine wichtige Rolle. Bei der Bildung des Oberflächeneises konnte festgestellt werden, daß horizontale Strömung zur Tostbildung führt, vertikale ihn auflöst; bei der Grundeisbildung dagegen wird horizontale Strömung nicht in Betracht kommen, da die an der Oberfläche gebildeten Eisnadeln gleich weiter treiben, sondern nur die vertikale Strömung, wodurch diese an die Flußsohle gelangen können. Die Berechtigung dieser Annahme und die Richtigkeit dieser Unterscheidung tritt uns in fast sinnfälliger Weise vor Augen, wenn wir die Stellen der Grundeisbildung selbst betrachten. Es muß jedem, der das Grundeis untersucht, auffallen, daß es im Flusse nur stellenweise auftritt, und an dieser Klippe scheiterten alle bisherigen Hypothesen. Warum sich Grundeis an einer Stelle bildet, wenige Schritte davon entfernt keine Spur mehr von solchem auftritt, ließ auch die Strahlung und hinreichende Wärmeentziehung zur Erklärung dieses Phänomens als unzureichend erscheinen. Was einem aufmerksamen Beobachter ebenfalls nicht entgehen kann, ist der Umstand, daß an solchen Stellen der Grundeisbildung von Ruhe nicht die Rede sein kann. So fand ich zum Beispiel Grundeis in einem ausgesprochenen Strudel vor, wo die Wasserbewegung so bedeutend war, daß ich nur mit der allergrößten Anstrengung mein Thermometer im Wasser erhalten konnte, um die Wassertemperatur daselbst zu messen; trotz dieser bedeutenden Bewegung war eine Menge von Grundeis vorhanden, während wenige Schritte davon entfernt trotz horizontaler Strömung, geringer Tiefe, steinigen Bodens keine Spur von solchem sich vorfand, obwohl alle diese Umstände für die Strahlung günstige Bedingungen abgegeben hätten. Es lag nahe, in der Strömung ein wichtiges Moment für die Grundeisbildung zu vermuten; und in der Tat, die

¹⁾ K. Remus. Über Eisbildung. Prometheus, 14, 765—67. Ref. darüber i. d. Fortschr. d. Phys., 1903, 59. Jahrg. (2), S. 547.

Annahme zeigte sich bald als richtig, indem auch die übrigen Stellen des Flusses mit Grundeis sich dadurch erklären ließen und somit das lokale Erscheinen des Grundeises seine Erklärung fand.

Tost und Grundeis scheinen sich also gegenseitig zu ergänzen, so daß es von der Art der Strömung abhängt, ob Tost oder Grundeis zur Entwicklung gelangt: bei horizontaler Strömung entsteht Oberflächeneis, aber kein Grundeis, bei vertikaler vor allem Grundeis, aber kein Oberflächeneis.

Zur Grundeisbildung führen also drei wichtige Faktoren: 1. Wärmeentziehung, die zur Entstehung von Eiskristallen führt, 2. vertikale Strömung, nötig zum Transport der Kristalle nach dem Orte der Grundeisbildung, 3. Adhäsion, zum Ansetzen und Wachstum des Grundeises. Es kommt also zur Bildung von Grundeis, sobald das Wasser gleichmäßig auf 0° abgekühlt ist und die entsprechenden Temperaturen, auf die ich noch zurückkomme, herrschen und anhalten, an jenen Stellen im Flusse, wo durch irgendeinen Umstand die obersten Schichten des Wassers in die Tiefe gelangen müssen; durch diese vertikale Strömung werden die an der Oberfläche gebildeten Eiskristalle mit in die Tiefe gezogen und finden dort — meist am Boden der Flüsse — ihre Stützpunkte. Ob bei dieser Art der Unterkühlung sich am Grunde selbst Eiskristalle bilden können, also nicht immer mitgebracht sein müssen, lasse ich dahingestellt. Falls es mit der Theorie der Siggeisbildung seine Richtigkeit hat, dann dürften sich bei dieser Unterkühlung Eisnadeln am Grunde selbst bilden können; aber auch bei einer Unterkühlung können wir auf die vertikale Strömung nicht verzichten und müssen das Moment der Ruhe, weil an solchen Stellen die Stoßkraft des Wassers ihren höchsten Grad erreicht, als völlig unmöglich zur Erzeugung des Grundeises erkennen. Nun begreifen wir, warum gerade Müller und Fährleute Prof. Gintl ihre besondere Meinung über die Art der Eisbildung mitteilen konnten, ebenso, warum Graz besonders zur Grundeisbildung neigt. Hier herrscht nämlich starke Durchmischung der Wasserteilchen, d. i. eine strudelförmige Strömung, die zur Grundeisbildung führt. Daß es trotz der großen Stoßkraft des Wassers an solchen Stellen zum Ansetzen von Eiskristallen kommt, wird sich daraus erklären, daß der Adhäsionsgrad durch Druck bedeutend erhöht wird.

Um diese Ansicht zu erhärten, will ich drei typische Beispiele anführen. Bei Weinzödl, einem Orte, der sich zur Beob-

achtung der Eisbildung besonders gut eignete, wurde das Wehr hergestellt und dabei der halbe Fluß abgesperrt (vgl. Fig. 4). Auf dem absperrenden Damm konnte man bis zur Flößgasse gelangen; nur hier, wo in einem Winkel vertikale Strömung herrschte, fand sich bei genügender Kälte Grundeis vor, obwohl die Tiefe und Bewegung in diesem Winkel viel bedeutender waren als einige Schritte davon entfernt, wo ausgesprochen horizontale Strömung war.

Eine andere Stelle der Grundeisbildung, die sehr charakteristisch ist, kommt ebenfalls oberhalb Weinzödl vor, wo die Mur eine Sandbank bildet, die sehr steil abbricht; solange die Mur auf dieser Sandbank fließt, ist sie sehr seicht, während sie unterhalb derselben sehr tief ist. Hier also, wo das Wasser in die Tiefe stürzen muß, bildet sich Grundeis in großer Menge.

Dann kommen jene begünstigten Stellen in Betracht, wo die Strömung von der Mitte an das Ufer gelangt und dieses mit Gestrüpp und Weiden geschützt wird; ragt dieses Gestrüpp mit seinen Wurzeln und Ästen ins Wasser, so bildet es die Stützpunkte für die an der Oberfläche gebildeten Eisnadeln.

Diese Ansicht von der Bildung des Grundeises hat übrigens schon Gay-Lussac¹⁾

vertreten, der den wesentlichen Grund der Erstarrung des Wassers am Boden in der Kälte sieht, welche von den kleinen Eisteilchen mitgebracht wird; diese werden an der Oberfläche des Wassers durch Ausstrahlung oder Berührung mit der kalten Luft erzeugt, vom Strome nach unten gerissen und setzen sich am Boden durch das Gefrieren des sie umgebenden Wassers fest.

Diese Hypothese ist vielfach angefochten worden und konnte sich auch nicht durchsetzen, weil ein wichtiger Umstand Gay-Lussac noch verborgen blieb. So ist eingewendet worden,²⁾ daß

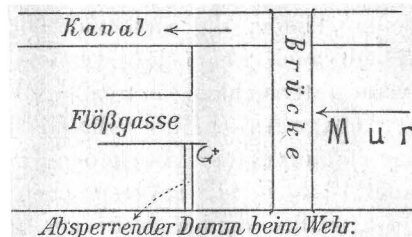


Fig. 4.

+ Nur hier fand sich immer Grundeis im ausgesprochenen Strudel vor.

¹⁾ Gay-Lussac, Sur l'origine de la glace qu'on trouve des rivières. Annales de Chimie et de Physique, LXIII, S. 359 ff.

²⁾ Gintl, a. a. O., S. 19.

während der Grundeisbildung durchaus keine Eisnadeln im Flusse bemerkbar sind. Aber diese Eisnadeln sind, solange sie nicht zu Tost vereinigt sind, kristallrein und gar nicht einmal so leicht wahrnehmbar; denn an solchen Stellen der Grundeisbildung bilden sich nicht leicht Eisnadeln, sondern sie kommen von dieselben begünstigenden anderen Stellen her und werden dann in die Tiefe gewirbelt, wodurch auch die Durchsichtigkeit des Wassers nicht im mindesten beeinträchtigt wird. Aber der wichtigste Einwand bestand darin, daß man erklärte, es sei nicht recht zu begreifen, „wodurch eine solche Eisnadel bis zu einer Tiefe von 6—8 Fuß hinabgeführt werden könnte, da die Bewegung des im ebenen Bette gehenden Flusses bloß in horizontaler Richtung geschieht“. ¹⁾ Aus diesem Einwande erkennt man, daß die Bedeutung der vertikalen Strömung noch nicht erkannt war, die das letzte Glied bei der Grundeisbildung abgibt: die Bewegung an Stellen der Grundeisbildung ist eben nicht horizontal, sondern vertikal. Flüsse mit großen Tiefen, die sich nur horizontal weiter bewegen, haben deshalb auch kaum je Grundeis, was manche, die nur solche Flüsse untersuchten, veranlaßte, überhaupt an solchem zu zweifeln.

Obige Ansicht über die Grundeisbildung wird erhärtet durch die Schilderung, wie sie in den „Fortschritten der Physik“, I. Jahrgang, 1845, S. 119 ausgesprochen ist. „Da nun bekanntlich sich alle kristallisierenden Stoffe am leichtesten an festen Körpern ansetzen, so wird auch in dem fließenden Wasser das bis auf den Grund hin auf 0° abgekühlte Wasser Eis an den festen Körpern absetzen. So ist es schon 1781 Des Marest geglückt, auf künstlichem Wege Grundeis zu erzeugen, als er ein großes, mit Wasser gefülltes Gefäß, auf dessen Boden Nägel und andere Dinge sich befanden, sich abkühlen ließ und dabei die Flüssigkeit in starker Bewegung hielt; es setzte sich Eis an den Nägeln etc. an. Dies war aber niemals der Fall, wenn die Flüssigkeit nicht bewegt wurde.“ Gintl machte dasselbe Experiment, ließ aber das Moment der Bewegung unbeachtet und kam daher zu falschen Schlüssen.

In der letzten Zeit scheint auch Dr. G. Lüscher, Ingenieur in Aarau, zu denselben Ergebnissen über die Grundeisbildung gelangt zu sein.²⁾

¹⁾ Gintl, a. a. O. S. 20 u. 21.

²⁾ Das Grundeis und daherige Störungen an Wasserläufen und Wasserwerken. Von Dr. phil. G. Lüscher, Ingenieur in Aarau. Ich kenne seine Ansicht leider nur aus dem Referate, das Dipl.-Ingenieur R. Hansa in Hamburg

Diese Darstellung von der Bildung des Grundeises möchte ich als die Grundeistheorie des Flußeises bezeichnen und die Bezeichnung auf das in Flüssen auftretende und in dieser Weise gebildete Eis beschränken.

β) Das Siggeis.

Eine andere Art des Grundeises ist das sogenannte Siggeis, das ich wieder auf das Eis im Meere und an den Mündungen der Flüsse in dasselbe beschränken möchte, zumal das Grundeis nur dort den Namen Siggeis führt und eine andere Entstehungsweise hat, die in den Flüssen nicht vorkommt.

Die beste Ansicht über die Entstehung des Siggeises dürfte die von O. Pettersson sein; wir können sie deshalb kurz als Siggeistheorie bezeichnen. Ich folge hier Schott,¹⁾ der lediglich die Ansichten von Pettersson wiedergibt. Letzterer hatte in einem Vortrage ausgeführt: „Wir haben also dreierlei Wasserschichten zu unterscheiden, die sehr mächtige Grundschicht, welche, wie die Beobachtungen von 1879 ergaben, durch relativ sehr warmes und salziges Wasser gebildet wird (Temp. bis $+5.6^{\circ}\text{C}$, Salzgehalt bis über 33‰), dann etwa in 10 m Tiefe eine sehr dünne Zone kältesten und schwachsalzigen Wassers (Temp. -1.4° , Salzgehalt etwa 28‰), darüber bis zu Oberfläche etwas wärmeren, aber sehr leichten Wassers (Temp. -0.8 bis $+0$, Salzgehalt bis unter 22‰). Als nun unter dem Einflusse der strengen Fröste eine neue Zufuhr von zwar nicht ganz so kaltem (Temp. -0.8°), aber doch frischerem, d. h. sehr salzarmem Wasser in Keilform in und über dieses sehr kalte Wasser von -1.4° Temperatur sich ergoß, mußte an der Grenzfläche beider Wasserarten durch die Berührung mit Wasser von -1.4°C eine plötzliche Eisbildung in dem zuletzt hinzugekommenen Wasser stattfinden, da ja für letzteres der Gefrierpunkt höher lag. Das Wasser mit -1.4° Temperatur wirkte dabei auf das darüber lagernde frische Wasser wie ein Kältemagazin, es nahm zugleich seine latende Wärme auf und förderte so die Eisbildung an der Grenzfläche.“

Diese Siggeistheorie ist dann von Günther in der bereits genannten Weise kurz gefaßt.

in der Deutschen Bauzeitung, II. Halbband, 1907: Grundeisbildungen in fließenden Gewässern, S. 695, gibt.

¹⁾ Schott, Grundeis im Seewasser. Ann. d. Hydrogr., 1897, S. 72.

2) Grundeisbildung durch Leitung.

Eine dritte Art der Entstehung des Grundeises ist die, die namentlich auf die Leitung zurückgeht. Bereits H. Meier erwähnt sie, wenn er ausführt: „Gegenstände, die zuerst der Kälte der Luft und Verdunstung direkt ausgesetzt sind, infolgedessen eine Temperatur unter 0° erreichen und später ins Wasser gelangen, entziehen durch ihre Kälte wieder dem Wasser Wärme und bedecken sich dann mit Eis. Ähnlich verhält es sich mit den frei in das Wasser hängenden oder auf dem Wasser schwimmenden Körpern. Die in das Wasser herunterhängenden Ketten, Taue setzen immer, von oben beginnend rund herum gleichmäßig an, bis gewöhnlich in einer bestimmten Tiefe plötzlich jeder Ansatz aufhört. Nur bei anhaltender sehr strenger Kälte können sie bis zu dem Anker fortsetzen.“¹⁾

Dieses so gebildete Eis, das auch eine andere Struktur als das eigentliche Grundeis haben wird, geht also in der Hauptsache auf Leitung zurück. Will man dieses Eis noch als Grundeis bezeichnen, so muß man jedenfalls beachten, daß es auf eine ganz andere Ursache zurückgeht als das früher geschilderte Eis.

Ob sich sämtliches Eis, das man als Grundeis anspricht, auf diese drei Ursachen zurückführen lassen, lasse ich noch dahingestellt. Jedenfalls wird man nicht alles Eis auf eine einheitliche Ursache zurückführen dürfen.

c) Die Temperatur der Grundeisbildung.

Alles Bisherige bezog sich auf den Ort, wo sich Grundeis ansetzen wird. Was nun die Temperatur anbelangt, bei welcher sich das eigentliche Grundeis bilden wird, so geht schon aus dem Vorhergehenden hervor, daß sich ein einheitlicher Temperaturgrad nicht wird bestimmen lassen, da das Grundeis von der Lufttemperatur nicht allein abhängt; Stellen aber mit strudelförmigem Wellengang werden keinen einheitlichen Charakter tragen, bald seichter, bald tiefer sein. Und in der Tat läßt sich für das Grundeis keine allgemein giltige Temperatur angeben, sondern sie muß für jeden Ort, wo es sich bildet, eigens bestimmt werden.

Im allgemeinen wird Grundeis sich ansetzen können, wenn eine Temperatur herrscht, die genügt, daß sich Eiskristalle bilden. Da

¹⁾ H. Meier, Weiteres über Grund- und Siggeis. Ann. d. Hydr. 1892, S. 297 ff.

sich solche bilden können, ohne daß es zu Eisrinnen kommt, so kann sich an besonders günstigen Stellen Grundeis früher ansetzen, als Eisrinnen auftritt. So bildete sich in dem genannten Strudel beim Wehre Grundeis bei -6° , wenn diese Temperatur längere Zeit, etwa 10 Stunden andauerte. Viel später tritt Grundeis im eigentlichen Flußbett in größerer Ausdehnung auf, weil hier die Bodenleitung und das eindringende Grundwasser ein solches Ansetzen erschweren, bisweilen ganz verhindern können. Das meiste Grundeis bildet sich aber gleichzeitig mit dem Tost und bei denselben Temperaturgraden.

Was das Siggen des Grundeises anbelangt, also wenn es sich vom Grunde löst, so kommt namentlich die Zeit von 9—11 Uhr früh an jenen Tagen in Betracht, an welchen die Temperatur in dieser Zeit auf einige Plusgrade hinaufschnellt; die oberste Wasserschichte, die bald eine höhere Temperatur annimmt, wird an solchen Stellen mit vertikaler Strömung in die Tiefe gewirbelt und wirkt dort wie eindringendes Quell- und Grundwasser.

IV. Die Temperatur der Tostbildung.

a) Rückblick auf frühere Methoden.

War schon die Gliederung nach den Arten und Eigenschaften des Flußeises mit erheblichen Schwierigkeiten verbunden, so ist die Frage, wann sich das eigentliche Treibeis bildet — also die Kardinalfrage in physikalischer, geographischer und rein praktischer Beziehung —, noch vollständig ungelöst geblieben, oft kaum angeschnitten worden, wenn es auch an verfehlten Theorien nicht ganz fehlt.

Forster vermutete, aus der Temperatur der Flüsse eine Art Treibeisprognose zu erhalten, wie das bereits praktisch der Vorsteher des Wasserbauwesens der bayrischen Rheinpfalz verwendet hat, indem er, solange die Temperatur des Rheinwassers nicht auf 0° oder nahezu 0° war, keine Vorkehrungen zum Abfahren der Schiffsbrücken treffen ließ, weil er kein Treibeis befürchtete;¹⁾ Forster gab aber später den Gedanken daran auf, als sich zeigte, daß ein Zusammenhang zwischen Treibeis und Wassertemperatur nicht vorhanden zu sein scheint;²⁾ denn eine Wasser-

¹⁾ Forster, Die Temperatur fließender Gewässer Mitteleuropas. Pencks Geogr. Abhdl. V., Heft 4, S. 334.

²⁾ Forster, a. a. O., S. 399.

temperatur von 0° hat noch keine Eisbildung zur Folge. Es wird sich zeigen, daß es möglich ist, bei der Ermittlung der Temperatur der Tostbildung die Flußtemperatur vernachlässigen zu dürfen.

Seit Rykatschew¹⁾ die 0° -Isotherme im Herbst und Frühjahr für die Abhängigkeit der Eisbildung auf Flüssen verwendet hat, indem er die Frage erörterte, wieviel Zeit vom ersten Auftreten der Temperatur von 0° im Herbst bis zum Zugang der Gewässer verstreicht und analog für das Frühjahr, wieviel Tage nach dem ersten Auftreten jener mittleren Tagestemperatur der Eisgang beginnt, blieb man im Banne dieser Methode, obwohl die kläglichen Resultate zu neueren Untersuchungen direkt herausforderten. So betragen die Grenzen, zwischen denen die Zugangstage in den einzelnen Jahren schwanken, weit über einen Monat und für den Zugang der Gewässer ist ein 50jähriges Mittel nötig! Diese rein mechanische Verarbeitung des Materials nach verkehrten Methoden kann unmöglich irgendwelche brauchbare Resultate zeitigen, schon gar nicht, wenn man damit praktische Zwecke verfolgt. Besonders die russischen Arbeiten sind es, die seinen Bahnen folgen, und noch die letzte Arbeit von N. Maximowitsch²⁾ folgt ihm, indem dieser daran festhält, daß die erste Bedingung für die Eisbildung in Flüssen die Abkühlung der Luft auf 0° sei, was unrichtig ist.

Die Unhaltbarkeit dieser 0° -Isotherme für die Flußeisbildung sah denn auch schon Swarowsky ein, wenn er sich auch noch nicht ganz davon befreien konnte. Er suchte mittels einer verfehlten Frostdauer und eines verfehlten Frostgrades der Treibeisbildung näher zu kommen, indem er von der ersten negativen Tagestemperatur aus, welche in der Frostperiode vor der Eisbildung auftrat, bis zum Eintritt des Eises die Tage zählte, um die Frostdauer vor der Eisbildung zu erhalten; dann ermittelte er für die Frostdauer jedesmal die Durchschnittstemperatur, um den Frostgrad vor der Entstehung des Treibeises zu bekommen. Für das Treibeisphänomen ist aber Frostdauer und Frostgrad,

1) Rykatschew, Über den Auf- und Zugang der Gewässer des Russischen Reiches. St. Petersburg 1887.

2) N. Maximowitsch, Die Bedingungen der Bildung der Eisdecke auf unseren Flüssen, betrachtet im Zusammenhang mit Maßnahmen zur Verminderung der durch das Eis für die Schifffahrt geschaffenen Hindernisse. Zeitschr. des Ministeriums der Kommunikationswege. 3. Heft, St. Petersburg 1901. Vgl. Gravelius, Die Eisverhältnisse des Dnjepr. Zeitschr. f. Gewässerkunde, IV. Bd., 1901, Heft 2.

in dieser Weise bestimmt, belanglos, was schon eine oberflächliche Betrachtung zeigt. Wie sollte auch eine Frostdauer von 15 Tagen mit einem Frostgrad von -2.3° für die Bildung des Treibeises von Wichtigkeit sein?! Der Prozeß kann doch nicht gleich angefangen haben; denn die ersten Eiskristalle wie alle nachfolgenden würden längst nicht mehr bei Wien anzutreffen sein; aber selbst wenn diese Frostdauer mit dem Frostgrad nur auf die Wassertemperatur eingewirkt hätte, wäre das Wasser dieser Periode nicht mehr bei Wien anzutreffen; für die Wassertemperatur und auch für das Treibeis wäre dann nicht die Temperatur von Wien bestimmend gewesen, sondern man hätte das Mittel von allen durchflossenen Stationen nehmen müssen. Schon ein Vergleich einiger Resultate zeigt von großer Willkür in denselben. So wären bei Wien¹⁾ nötig gewesen, im Winter

1851/2	eine Frostdauer von 15 Tagen	und ein Frostgrad von -2.3° ,
1874/5	" " " 7 " " " " "	-2° ,
1862/3	" " " 4 " " " " "	-2.6°

Also sollen einmal 15 Tage mit einem Frostgrad von -2.3° nötig sein, wenn das andere Mal 4 Tage mit einem nur um 0.3 erhöhten Frostgrad genügen! Es kann aber unmöglich bei der Treibeisbildung so willkürlich zugehen, sondern diese muß als Naturphänomen bestimmten Gesetzen unterworfen sein, so daß sie sich bei einem bestimmten Kältegrad unter gleichen Umständen ganz automatisch jedesmal einstellen muß. Daß aber dazu nicht jede mittlere negative Tagestemperatur und noch viel weniger die erste mittlere negative Tagestemperatur im Herbste von Bedeutung ist, dafür spricht in eklatanter Weise, daß sich bei manchen negativen Tagestemperaturen nicht nur kein Eis in Flüssen bildet, sondern das vorhandene sogar aufgeht. Daraus wird klar, daß ein so gebildeter Frostgrad, der auch Temperaturen enthält, bei welchen sich Treibeis nicht bildet, sondern geradezu aufgeht, die wirkliche Temperatur der Eisbildung anzugeben nicht in der Lage sein kann, und zwar um so weniger, je länger die Frostdauer ist. So kann es kommen, daß er direkt irreführt, indem nämlich besonders in langen Frostperioden der Frostgrad, durch unbedeutende negative Tagesmittel sehr verringert, den Schein erweckt, als ob bei der Treibeisbildung die Dauer der Frostperiode die Größe des

¹⁾ Swarowsky, a. a. O., S. 19.

Frostgrades verringern könnte, also ungefähr: je länger die Frostdauer, desto kleiner darf der Frostgrad sein. Diese falsche Folgerung drängt sich in den nach dieser Methode zusammengestellten Tabellen in sehr aufdringlicher Weise auf, wie sich denn Swarowsky selbst von ihr irreleiten ließ. Er sagt: „Die Mitteltemperatur vom 2. bis 13. Jänner beträgt an jedem Tage wenigstens -2° . Diese Temperatur und die Länge der Zeit genügt aber schon zur Eisbildung, wie die vorhergehende Zusammenstellung beweist.“¹⁾ Tatsächlich würde aber eine Temperatur von -2° durch 11 Tage niemals zur Treibeisbildung hinreichen; erst die tiefen Temperaturen, die einige Stunden dem Tost vorangehen, geben das ausschlaggebende Moment in dieser Frostdauer ab. Schließlich bleibt diese Methode ganz resultatlos und nicht einmal für das Erscheinen des nächsten Treibeises in demselben Jahre gibt sie den geringsten Aufschluß. Swarowsky gibt das selbst zu, wenn er sagt: „Wenn nun auch die vorstehenden Zahlen noch zu keinerlei wichtigen physikalischen Schlüssen führen, so können sie doch als ein Maßstab für die Eisbildung auf Flüssen anstatt der bis jetzt gebräuchlichen ungenauen Bezeichnungen wie nach «einigen Tagen mit $10-16^{\circ}$ Kälte tritt Eisbildung ein etc.» betrachtet werden.“²⁾

Andere übergangen diesen Bildungsprozeß obneweiteres; z. B. sagt Geistbeck:³⁾ „Als gegen Ende November 1879 die Temperatur unter -10° sank, zeigte sich in der Isar Grund- und Treibeis“. Und Thielemann sagt: „Wie die Treibeisbildung von der Lufttemperatur abhängt, ist schwer zu sagen. Allgemein gültige Regeln hierfür lassen sich, wie schon Forster, Swarowsky und Bubendy fanden, nicht aufstellen“.

b) Methode zur Ermittlung der für die Treibeisbildung nötigen Temperatur.

Sobald man bei dem Treibeisphänomen zur Beantwortung der wichtigen Frage, wann das eigentliche Treibeis auftreten wird, herantritt, drängen sich einige, wie es scheint, ganz selbstverständliche Dinge auf, die bisher aber nicht im geringsten Berücksichtigung erfahren haben.

¹⁾ Swarowsky, a. a. O., S. 20.

²⁾ Swarowsky, a. a. O., S. 20.

³⁾ A. Geistbeck, Die Eisverhältnisse der Isar und ihrer Nebenflüsse. Jahresbericht d. geogr. Gesellsch. zu München. X. S. 1 ff.

Es wird nämlich nicht selten der Fall eintreten können, daß Eis von oberen, kälteren Teilen des Flusses herabkommt. Zu diesem Ende ist es wichtig, die Geschwindigkeit des Treibeises zu kennen. Ingenieur Wilhelm Reitz hatte die große Güte, dieselbe mir zwischen Bruck und Graz zu ermitteln. Zu diesem Zwecke mußte eine Reduktion der Pegelbeobachtungen vorgenommen werden.

Der Abhandlung zugrunde gelegt wurden die Pegelbeobachtungen an der Pegelstation Graz (Franz-Karl-Brücke, Mur-km 105·519; Seehöhe des Nullpunktes 344·998 m). Dieses Profil ist in ständiger Veränderung begriffen, was zur Folge hat, daß die Wasserstände verschiedener Zeitpunkte nicht direkt miteinander verglichen werden können.

Um vergleichbare Pegelablesungen zu erhalten, wodurch die Übersichtlichkeit wesentlich gefördert wird, wurden die Grazer Wasserstände durch die korrespondierenden Frohnleitner Stände ersetzt. Das Pegelprofil Frohnleiten (Mur-km 136·000, Seehöhe des Pegelnullpunktes 416·742 m) ist vollständig unveränderlich, so daß die Pegelstände selbst größerer Zeiträume unmittelbar verglichen werden können. Bemerket sei, daß die Mur zwischen Frohnleiten und Graz so geringe Zuflüsse erhält, daß diese bei den lediglich in Betracht kommenden Niederwässern füglich vernachlässigt werden können.

Die mittleren Wasserstände, bei welchen in den einzelnen Jahren Eis beobachtet wurde, sind:

	1896/7	1897/8	1898/9	1899 1900	1900/1	1901/2	1902/3	1903/4	1904/5	1905/6
Graz	-105	-133	-118	-130	-140	-143	-153	-150	-155	-183
Frohnleiten	-10	-17	-8	-10	-18	-16	-13	-5	-3	-6

Bildet man aus vorstehenden Wasserständen Frohnleitens das arithmetische Mittel, so erhält man —10 cm, d. h. bei Eistreiben ist der Pegelstand Frohnleiten durchschnittlich —10 cm.

Nun soll ermittelt werden, wie lange eine Eisscholle bei diesem Wasserstande braucht, um von Bruck (Mürzmündung) bis Graz zu gelangen. Aus vier bei Graz durchgeführten Geschwindigkeitsmessungen folgt:

Mittlere Oberflächengeschwindigkeit bei -10 F. P. = 0.94 m/s
 Maximale " " " -10 " " = 1.37 m/s

Diese Geschwindigkeiten können ohne bedeutenden Fehler als die mittleren für die 55,6 km lange Strecke Bruck-Graz angesehen werden. Sieht man also von der Voreilung der Schollen ab, so brauchen die Eisteilchen, um von Bruck nach Graz zu gelangen:

$$\text{im Mittel. } \frac{55.6 \cdot 1000}{0.94 \cdot 3600} = 16,5 \text{ Stunden}$$

$$\text{im günstigsten Falle } \frac{55.6 \cdot 1000}{1.37 \cdot 3600} = 11,5 \text{ Stunden}$$

In Wirklichkeit werden sie jedoch länger brauchen, einerseits weil sich die mit verschiedener Geschwindigkeit schwimmenden Schollen gegenseitig behindern, andererseits weil sie verschiedene Wehre passieren müssen, in deren Staubereiche sie jedesmal den größten Teil ihrer Schnelligkeit einbüßen.¹⁾

Da also der Tost von Bruck bis Graz nur ungefähr 16 Stunden braucht, so ist es klar, daß er von oben unter günstigen Umständen kommen kann; das wird der Fall sein, wenn in Bruck solche Temperaturen herrschen, bei welchen sich Treibeis bilden muß, in Graz aber solche, bei welchen es sich nie bildet und auch nie gemeldet wird, wenn nicht so tiefe Temperaturen in den oberen Gegenden geherrscht haben; in diesem Falle hat sich also das Eis nicht in Graz, sondern in Bruck gebildet und ist in Graz nur aufgetreten. Das führt zu der wichtigen Unterscheidung zwischen Treibeisbildung und Treibeisauftreten.

	7 ^h a.	2 ^h p.	9 ^h p.	M. ²⁾
Graz, 8. Jänner 1905	+1.2	+4.2	-1.4	+1.8
9. " "	-5.0	+3.3	-1.8	-3.2
10. " "	-4.8	+4.0	+1.8	-3.3
11. " "	-2.0	+1.8	-2.0	-0.1
	7 ^h a.	2 ^h p.	9 ^h p.	M.
Bruck, 8. Jänner 1905	-0.4	+2.4	-7.0	+0.5
9. " "	-14.2	-5.8	-14.0	-10.6
10. " "	-9.8	+2.4	-0.1	-11.9
11. " "	-0.1	+4.4	-3.4	-0.1

¹⁾ Diesen Absatz verdanke ich der Güte des Herrn Ing. Wilh. Reitz.

²⁾ M. = Nachtmittel, gebildet aus $\frac{9^{\text{h}} \text{ abend und } 7^{\text{h}} \text{ früh}}{2}$ Temperatur.

In Bruck findet am 9. und 10. Jänner Treibeisbildung statt, in Graz wird Treibeis nur am 10. Jänner gemeldet. Wenn also in Graz bei Temperaturen, wie sie am 10. Jänner herrschen, sonst nie Treibeis gemeldet wird, wenn nicht solche Temperaturen in Bruck herrschen, wie sie am 9. Jänner daselbst vorkommen, so ist es klar, daß das Treibeis, das am 10. Jänner in Graz gemeldet wird, in der Gegend von Bruck sich gebildet hat und in Graz nur aufgetreten ist.

Diese Unterscheidung gewinnt sogleich bei der Frage nach der Temperatur der Tostbildung an Gewicht; hier ist es sofort klar, daß der Prozeß der Eisbildung ganz andere Temperaturen zur Voraussetzung haben wird als das bloße Auftreten des Treibeises. Von methodischer Seite kann dabei wichtig sein, daß man zunächst nicht die Temperaturen untersucht, bei welchen das Treibeis zu fließen beginnt, sondern jene, bei welchen es zu rinnen aufhört. Um das obere Treibeis auszuschließen, sucht man solche Frostperioden aus, bei welchen am Ende derselben in zwei Orten fast dieselben Lufttemperaturen herrschen, und sieht, bei welchen Temperaturen das Treibeis zu rinnen aufhört. Was die Auswahl der beiden Orte anbelangt, so ist wichtig, daß von beiden die täglich dreimaligen Lufttemperaturen bekannt sein müssen, daß sie so weit entfernt sind, daß Treibeis im günstigsten Falle von dem einen Orte zum anderen noch kommen kann und daß beide genügende Temperaturunterschiede aufweisen. Diesen Bedingungen entsprechen Graz und Bruck.

Graz, 21. Jänner 1897	-8·8	-4·2	-2·2 ¹⁾	Treibeis
22. " "	-4·2	+3·0	+0·2	kein Treibeis
Bruck, 21. Jänner 1897	-11·4	-0·4	-2·9	Treibeis
22. " "	-5·1	+4·4	+0·9	kein Treibeis
Graz, 9. Februar 1902	-6·7	-3·6	-4·4	Treibeis
10. " "	-4·4	-2·1	-2·8	kein Treibeis
Bruck, 9. Februar 1902	-6·6	-1·7	-4·2	kein Treibeis
10. " "	-3·6	-2·0	-5·0	kein Treibeis

Das sind einige Fälle, wo nach längeren Frösten mit Treibeis dasselbe plötzlich zu fließen aufhört. Hieraus entnimmt man,

¹⁾ Die Temperaturen folgen immer geordnet nach der Beobachtungszeit: 7^h a., 2^h p., 9^h p.

daß in Graz schon eine Temperatur von -4° , in Bruck eine von -5° bis -6° nicht mehr zur Eisbildung hinreicht, denn sonst müßte sie fortgedauert haben; der Prozeß der Eisbildung wird also noch tiefere Temperaturen fordern. Daraus folgt weiter, daß bei der Ermittlung der kritischen Temperatur alle jene Temperaturen auszuschließen sind, bei welchen keine Eisbildung stattfindet; namentlich werden die fast immer ziemlich hohen Mittagstemperaturen vernachlässigt werden müssen; infolgedessen sind die täglichen Mittel der Temperatur, aus Früh-, Mittags- und Abendtemperatur gebildet, von vornherein nicht geeignet, brauchbare Werte zu liefern.

Bei genauer Betrachtung der Temperaturen, bei welchen Eisrinnen gemeldet wurde, zeigte sich weiter, daß die absoluten Frühtemperaturen doch allein noch keine genügende Erklärung der Eisbildung bieten, indem nämlich Eisrinnen bisweilen schon bei -6° Frühtemperatur gemeldet wird, während es sehr oft bei -6° , -7° , -8° , selbst bei -9° noch nicht gemeldet wurde; die Frühtemperatur als Minimum ist von kurzer Dauer; die kritische Temperatur muß eine gewisse Zeit andauern, wozu sich das Nachtmittel als Behelf darbot; war doch bei dem raschen Lauf der Mur von vornherein zu erwarten, daß die Eisbildung ziemlich plötzlich eintreten müsse und jede längere Dauer auszuschließen wäre; denn es hatte sich bei genauer Untersuchung deutlich gezeigt, daß der Prozeß der Eisbildung an tiefe Temperaturen gebunden war und sofort stille stand, wenn die Temperatur stieg. Diese Ansicht mußte zur Gewißheit werden, als sich typische Beispiele in Menge fanden, die dafür in aufdringlichster Weise den Beweis lieferten.

			7 ^h a.	2 ^h p.	9 ^h p.	
Graz,	1. Jänner	1901	-0.9	-0.8	-6.6	kein Treibeis
	2. „	„	-12.9	-5.8	-11.0	Treibeis
	31. Dezember	1905	-3.0	-2.6	-4.8	kein Treibeis
	1. Jänner	1906	-9.3	-4.0	-9.8	Treibeis
	23. Jänner	1906	-3.8	-1.5	-7.2	kein Treibeis
	24. „	„	-11.1	-2.5	-10.0	Treibeis
	29. November	1896	-2.8	-1.8	-10.5	kein Treibeis
	30. „	„	-12.1	-2.3	-6.4	Treibeis

		7 ^h a.	2 ^h p.	9 ^h p.	
Bruck, 1. Jänner	1901	—0·2	—0·4	—5·4	kein Treibeis
2. „	„	—9·6	—4·6	—9·6	Treibeis
31. Dezember	1905	—4·7	—4·9	—6·0	kein Treibeis
1. Jänner	1906	—14·6	—4·6	—10·5	Treibeis
23. Jänner	1906	—6·3	—2·3	—4·8	kein Treibeis
24. „	„	—10·5	—3·1	—12·0	Treibeis
29. November	1896	—1·8	—3·0	—11·2	kein Treibeis
30. „	„	—11·9	—2·4	—2·2	Treibeis

Das Eis, welches in Graz an den genannten Tagen auftritt, mußte sich zwischen Graz und Bruck gebildet haben und für die Bildung konnten nur die entsprechenden Abendtemperaturen des vorhergehenden Tages und die Frühtemperatur am Tage des Eisrinnens maßgebend gewesen sein, weil die anderen, wie früher nachgewiesen wurde, als zu hoch vernachlässigt werden müssen. Daraus folgt, daß die Zeit von 9 Uhr abends bis 7 Uhr früh, also im Maximum 10 Stunden, und die während dieser Zeit herrschende Temperatur zur Eisbildung genügen; die Beispiele von Bruck bestätigen diese Ansicht.

Sobald festand, daß hauptsächlich die Nachtmittel in Betracht kommen und als Behelf die besten Dienste leisten können, handelte es sich darum, die Minimalgrenze, bei welcher der Bildungsprozeß eintritt, zu ermitteln. Dies ermittelte ich nicht in der Weise, daß ich das Mittel von den verschiedenen Nachtmitteln gezogen hätte, was sicher zu falschen Resultaten hätte führen müssen, sondern ich bildete von allen 10 Jahren für die Wintermonate für jeden Tag das Nachtmittel und untersuchte, bei welchem kleinsten Mittel immer durch alle 10 Jahre Treibeis gemeldet wurde; ich fand es für Graz bei -7° , so daß ich sagen kann, bei einem Nachtmittel von -7° findet Eisbildung statt. War das Mittel kleiner und wurde Eisrinnen gemeldet, so konnte jedesmal festgestellt werden, daß es von Bruck kam, wo die nötige Temperatur herrschte. Mit welcher Exaktheit die Eisbildung vor sich geht und wie automatisch sie sich einstellt, ist aus der graphischen Darstellung (vgl. Taf. XII u. XIII) ersichtlich. Erwähnen möchte ich noch, daß die aus Abend- und Frühtemperatur gewonnenen Mittel weit bessere Werte liefern als die mittels Terminkombination gewonnenen täg-

lichen Temperaturmittel und durchaus richtig und genau die Nachttemperatur wiedergeben.

Neben der graphischen Darstellung werden diese Ergebnisse noch durch die Beobachtungen, die ich von 1907 bis 1910 im Winter machte, erhärtet, die die vollständige Richtigkeit derselben ergaben; ich hatte meine helle Freude daran, als ich diese aus dem Material gewonnenen Ergebnisse vollständig bestätigt sah.

Um zu zeigen, daß die Tostbildung an den Tostbildungsgrad, der sich also aus einem Temperaturmittel und einer Zeitdauer zusammensetzt, gebunden ist und nicht bloß für die Jahre, für welche er ermittelt ist, Geltung hat, sondern bleibenden Wert besitzt, will ich für Graz die Lufttemperatur und das Treibeis vom Januar 1909 anführen und die Wassertemperaturen desselben Monats, gemessen um 7 Uhr früh, hinzufügen.

Graz, Jänner 1909.

Datum	Wasser- temp. 7 h	Lufttemperatur			Treibeis	Nacht- mittel	Datum	Wasser- temp. 7 h	Lufttemperatur			Treibeis	Nacht- mittel
		7 h	2 h	9 h					7 h	2 h	9 h		
1.	+0.1	-6.4	-5.4	-9.5	Tr.	-6.5	17.	+1.9	+0.8	+4.0	+1.6		
2.	+0.2	-7.1	-4.7	-10.7	Tr.	-8.3	18.	+0.8	+0.5	+4.2	-3.9		
3.	+0.2	-13.4	-4.4	-10.3	Tr.	-12.0	19.	+0.2	-4.4	+0.1	-0.4		
4.	+0.4	-6.0	-0.9	-4.4	Tr.	-8.1	20.	+0.4	-0.1	+1.4	+0.4		
5.	+0.7	-8.0	+0.9	-2.1			21.	+0.6	-4.1	+0.6	-1.9		
6.	+0.6	-5.2	+1.2	-4.4			22.	+0.4	-6.3	-3.4	-9.2		
7.	+0.2	-5.7	-1.0	-3.6	Tr.		23.	+0.1	-11.9	-4.3	-9.8	Tr.	-10.1
8.	+0.3	-9.5	-3.6	-2.8	Tr.		24.	+0	-12.9	-4.2	-9.9	Tr.	-11.3
9.	+0.6	-1.3	+1.2	-0.6			25.	+0.1	-14.0	-4.8	-10.7	Tr.	-11.9
10.	+0.1	-2.8	+0.3	-4.0			26.	+0.1	-7.3	-1.6	-3.6	Tr.	-9.0
11.	+0.1	-11.7	-3.3	-10.9	Tr.	-7.8	27.	+0.1	-5.8	+0.1	-6.1	Tr.	
12.	+0.1	-10.7	-3.4	-3.6	Tr.	-10.8	28.	+0.1	-11.3	-9.0	-8.6	Tr.	-8.7
13.	+0.2	-6.7	+0.8	-1.5	Tr.		29.	+0.2	-9.6	-8.0	-14.6	Tr.	-9.1
14.	+0.2	-5.2	+1.4	0	Tr.		30.	+0	-17.1	-8.6	-8.6	Tr.	-15.8
15.	+0.3	-1.7	+2.2	-2.0			31.	+0.1	-11.0	-0.3	-6.2	Tr.	-9.6
16.	+0.5	-2.0	+6.8	+3.8									

Es findet an jenen Tagen, welchen die Nachtmittel hinzugefügt sind, Treibeisbildung statt, d. i. 13, resp. 14 mal, da sich das Mittel von 1. Jänner dem verlangten nähert. Das Eis vom 7., 8. und 27. Jänner stammt aus der Gegend von Bruck; an diesen Tagen herrschen in Bruck die Nachtmittel -7.7 , -7.1 ,

—10·8; am 13. und 14. findet Abfließen des Eises aus oberen Teilen des Flusses statt, ein Zustand, wie er nach längeren Frösten stets vorkommt; nach längeren Frösten dauert es stets ein bis zwei Tage, bis das Eis aus den oberen Teilen abfließt; es besteht zumeist aus treibendem Ufereis.

Die Tostbildung ist also in Graz an die Temperatur von -7° gebunden, sie setzt mit dieser Temperatur ein und hört, sobald dieselbe steigt, wieder auf; damit sich die einzelnen Nadeln zu größeren Stücken vereinigen und diese an Festigkeit so viel gewinnen, daß sie auch an für sie ungünstigen Stellen noch beisammen bleiben und als Eisrinnen oder Treibeis von Beobachtern Beachtung finden, sind ungefähr 10 Stunden notwendig. Bleibt die Temperatur konstant bei -7° , dann nimmt die Eisbildung keine großen Dimensionen an; erst wenn die Temperatur tiefer sinkt, geht der Prozeß rascher vor sich und es kann an besonders günstigen Stellen bereits innerhalb einer Stunde zu großen Stücken von Tost kommen, die allerdings noch wenig Festigkeit besitzen und an der nächsten ungünstigen Stelle wieder auseinandergerissen werden, so daß man an solchen Stellen vom Eisrinnen noch nichts wahrnimmt. Aus dem oben Gesagten geht jetzt auch ohne weiteres hervor, daß durchaus nicht das ganze Eis in der Nacht gebildet zu sein braucht; die Eisbildung kann oft erst im Laufe des Vormittags sich einstellen und den ganzen Tag andauern, wenn nur die nötige Temperatur, d. i. -7° , herrscht; man vergleiche die Fälle:

Graz, 31. Dezember 1904	+2·0	+1·7	—3·7	kein Treibeis
1. Jänner 1905	—8·2	—9·5	—11·1	Treibeis
14. „ „	—1·7	—3·8	—5·3	kein Treibeis
15. „ „	—7·3	—7·4	—13·8	Treibeis

In diesen Fällen ist es begreiflich, daß die Nachtmittel nicht maßgebend sind, sondern die später herrschenden Temperaturen; zugleich bestätigen diese Fälle erst recht mein Ergebnis, daß die Eisbildung des Tostes bei -7° eintritt.

Nicht nur für die Bildung des Tostes, sondern auch für sein Auftreten lassen sich sichere Regeln aufstellen, die später folgen werden.

V. Die Flußtemperatur bei der Eisbildung.

Seitdem man zwischen stehendem und fließendem Wasser bei der Eisbildung zu unterscheiden gelernt, wird in der vorhandenen Literatur mit großer Übereinstimmung der Satz vertreten, daß Eisbildung erst möglich sei, wenn die ganze Wassermasse auf 0° abgekühlt ist.

Diese Regel scheint sich bei der Mur und Drau nicht bewahrheiten zu wollen, was umso auffallender ist, als sie bei ihrer doch verhältnismäßig geringen Wassermenge und ihrem raschen Lauf für eine solche Durchkühlung besonders geschaffen scheinen. Nur 48 mal wird in Graz im Laufe von 10 Jahren eine Wassertemperatur von 0° gemeldet, wobei 4 mal gar kein Eis vorhanden war, während solches 176 mal gemeldet wurde. Dabei waren die 0° -Wassertemperaturen verteilt, wie folgt:

	Graz	1896/7	1897/8	1898/9	1899/00	1900/1
Wassertemp. von 0° . . .	—	—	—	1	7	6
Kein Eis bei 0°	—	—	—	—	1	—
Treibeistage	16	22	9	18	39	
bei Wassertemp. zwischen	$0.6-1.5^{\circ}$	$0.2-0.9^{\circ}$	$0-0.7^{\circ}$	$0-0.7^{\circ}$	$0-0.9^{\circ}$	

	Graz	1901/2	1902/3	1903/4	1904/5	1905/6
Wassertemp. von 0° . . .	—	—	2	1	11	9
Kein Eis bei 0°	—	—	—	—	1	2
Treibeistage	2	32	8	19	11	
bei Wassertemp. zwischen	$0.3-0.7^{\circ}$	$0-1.3^{\circ}$	$0-1.1^{\circ}$	$0-0.5^{\circ}$	$0-0.1^{\circ}$	

Ebenso liegen die Verhältnisse an der Drau. Im Jahre 1905 melden folgende Stationen 0° -Wassertemperaturen:

	Steinfeld	Möllbrücke	Villach	Nötsch	Federann	Völkermarkt	Pettau
0° -Wassertemp..	18	3	5	1	2	3	0
Dabei kein Eis .	4	—	—	—	2	—	—
Treibeistage ..	20	16	24	14	—	25	12
bei Wassertemp.	$0-0.5^{\circ}$	$0-0.9^{\circ}$	$0-1.0^{\circ}$	$0-0.7^{\circ}$		$0-0.8^{\circ}$	$0.3-1.0^{\circ}$.

Eine Durchkühlung der ganzen Wassermenge auf 0° im ganzen Flußlaufe scheint nicht einzutreten, zumal es sich zeigt, daß die 0° -Wassertemperaturen an der Drau durchaus nicht auf dieselben Tage fallen. Es wäre somit immerhin doch möglich, daß Eisbildung bei Zehntelgraden über Null stattfindet, wobei nur die-

jenige Wassermenge, die zu der Eisnadel erstarrt, 0° vor dem Gefrieren anzunehmen brauchte.

Trotzdem möchte ich aus der vorhandenen Literatur den genannten Satz herübernehmen; denn die Wassertemperaturen sind an den beiden Flüssen doch nicht ganz einwandfrei; dann werden die Wassertemperaturen in Graz durch das Kanalwasser, Fabrikwasser und das eindringende Grundwasser sehr erhöht; besonders werde ich dazu bewogen durch die eigenen Messungen, die ich in Weinzödl vornahm, wo ich stets bereits vor Eintritt der Eisbildung die gesamte Wassermenge auf 0° abgekühlt vorfand.

Wir können aus obigen Wassertemperaturen nur folgern, daß das Flußwasser schon auf ganz kurze Strecken örtlich große Unterschiede aufweist und eine Durchkühlung der ganzen Wassermasse auf 0° vor Eintritt der Eisbildung nur an einzelnen Stellen, nicht aber im ganzen Flußlaufe stattfindet. Die Unterscheidung zwischen Eisbildung und Eisauftreten bewährt sich somit auch hier: auftreten kann das Eis bereits bei Zehntelgraden über Null, bilden wird es sich aber doch erst bei 0° . Das meiste Eis, das in Graz vermerkt wird, wird aus der Gegend von Weinzödl stammen, wo das Wasser wesentlich kälter ist.

Der Zusammenhang zwischen Flußtemperatur und Eisbildung besteht also darin, daß zuerst die gesamte Wassermenge in einer Gegend auf 0° abgekühlt werden muß; dann muß aber noch weitere Wärme entzogen werden. Die Wärmemenge, welche notwendig ist, um das ganze Wasser auf 0° abzukühlen, konnte bei dem Mangel des nötigen Materials nicht ermittelt werden. Aus graphischen Aufzeichnungen der Flußtemperatur ist die vollständige Abhängigkeit derselben von der Lufttemperatur ersichtlich; die Wassertemperatur macht innerhalb von Stunden die Schwankungen der Lufttemperatur mit. Bei dieser Abhängigkeit wird man vermuten dürfen, daß die Kältesumme, die notwendig ist, um das ganze Wasser auf 0° abzukühlen, bei den verschiedenen hohen Wassertemperaturen eine schwankende Größe sein wird. Es leuchtet aber ohneweiteres ein, daß von 0° -Wassertemperatur an stets dieselbe Wärmesumme genügen wird, um die Eisbildung herbeizuführen.

Ein Umstand vereinfacht aber den Zusammenhang zwischen Flußtemperatur und Eisbildung ganz wesentlich. Die größeren und kleineren Fröste, namentlich die strengen Fröste in den oberen

Teilen des Flußgebietes, die im Laufe der Monate November und Dezember der Eisbildung vorangehen, erniedrigen bereits ganz bedeutend die Flußtemperatur, so daß z. B. in Graz die Wassertemperatur ein bis zwei Tage vor dem Treibeis nur mehr durchschnittlich $+1.5^{\circ}$ beträgt; in Weinzödl, wo eine tiefere Wassertemperatur als in Graz herrscht, kann sie dann nur mehr Zehntelgrade über Null betragen. Es wird also für die Temperaturerniedrigung des Wassers auf 0° nicht mehr viel Kälte notwendig sein, wenigstens nicht so viel, daß die Treibeisbildung dadurch wesentlich beeinflußt werden könnte: es greift die Flußtemperatur in der Regel nicht störend bei der Eisbildung ein. Nur dadurch war die Möglichkeit gegeben, dieselbe bei der Ermittlung des Tostbildungsgrades vernachlässigen zu können.

Störend greift die Wassertemperatur aber doch ein, nämlich von Mitte Februar und im Monate März, und zwar weil die Tage bereits wesentlich länger und die Temperaturen, namentlich die Mittagstemperaturen wesentlich höher sind; die Wassertemperatur ist dann bereits zu hoch und, wenn dann plötzlich ein Nachtmittel von -7° eintritt, dann muß zunächst das Wasser auf 0° abgekühlt werden; dann reicht aber weder die Zeit noch die Kälte mehr für die Tostbildung hin. Auf diese Weise kommt es 9mal im Laufe der 10 Jahre in Graz trotz des vorhandenen Tostbildungsgrades zu keiner Treibeisbildung. Diese 9 Fälle enthalten auch jene, in welchen nur den Pegelbeobachter die Schuld trifft; man darf dabei nicht vergessen, daß das Treibeis ein relativer Begriff ist, wobei die Größe und Menge eine gewisse Rolle spielt. Nicht selten ist weder die Größe noch die Menge dem Pegelbeobachter imponierend genug, um dasselbe zu vermerken.

Die Wassertemperatur ist im allgemeinen während der Eismonate, d. i. Ende November, Dezember, Jänner bis Mitte Februar, in Jahren starker Eisentwicklung eine ungemein gleichmäßige, ohne bedeutende Schwankungen, weil auch das aufgehende Eis und Schnee dieselbe erniedrigen.

VI. Die Wassermenge.

Daß die Wassermenge nicht ohne Einfluß auf die Eisbildung ist, wird aus dem Vorhergehenden ohneweiters einleuchten. Denn einerseits wächst mit der Wassermenge die Geschwindigkeit und damit auch die Stoßkraft der Wellen; andererseits wird

eine größere Wassermenge schwerer auf 0° abgekühlt werden können. Letzteres werden wir bei der Drau sehen; dieselbe hat bei demselben Gefälle wegen ihrer größeren Wassermenge einen größeren Tostbildungsgrad.

Im allgemeinen kann man beobachten, daß die Wasserstände bei Beginn des Eisrinnens sinken, was an und für sich die Eisbildung fördert; beim Abflauen der Frostperiode steigt die Wassermenge und dieses Steigen bewirkt, daß eine Eisdecke aufbricht, das Ufereis seiner Stützpunkte am Ufer beraubt wird und in den schwimmenden Zustand übergehen muß.

Die Wassermenge kann somit hemmend und fördernd bei der Eisbildung mitwirken und man wird in Ausnahmefällen in ihr eine der Ursachen suchen können.

VII. Mur und Drau im besonderen.

Das Eisphänomen der Mur und Drau hält sich in bescheidenen Grenzen und steht an Großartigkeit der Erscheinungen weit hinter manchen Flüssen zurück. Größere Bedeutung hat nur der Tost, weil weniger schon der eigentliche Eisgang, die Zahl der Stöße ist nur gering und besonders an der Mur meist erschlossen; Eisaufbruch gehört schon zu den Seltenheiten und Eisversetzung konnte ich an der Mur nur einmal während 10 Jahren feststellen, was aber auch nur erschlossen ist. Um einigermaßen von den Eisverhältnissen der genannten Flüsse ein Bild zu geben, wurde das vorhandene Material, wie es in den Pegelrapporten und im Jahrbuch des k. k. hydrographischen Zentralbureaus vorliegt, zu einigen Tabellen verarbeitet und dabei der erste und der letzte Termin des Treibeises, die Zahl der Treibeistage und Eisstöße sowie die Eisdecke berücksichtigt.

a) Die Mur.

Charakteristisch für die Mur ist das viele Grundeis und der Tost. Über das Grundeis lassen sich aber keine weiteren Daten aus dem vorhandenen Material geben. Vom Tost wurde gezeigt, daß er an eine bestimmte Temperatur gebunden ist, die aber durchaus nicht für den ganzen Fluß dieselbe ist. Sie wurde für eine Anzahl von Orten, von welchen dreimalige tägliche Lufttemperaturen vorliegen, ermittelt und stellte sich wie folgt.

	Entfernung	in km	Gefälle ‰	Tost- bildungs- grad
Tamsweg.	St. Michael—Tamsweg. . .	15·033	2·20	—6°
Ramingstein. . . .	Tamsweg—Ramingstein . .	7·370	5·38	—9°
	Ramingstein—Murau. . . .	29·620	5·66	
	Murau—Lind	22·290	2·93	
	Lind—St. Georgen	12·105	1·85	
Judenburg.	St. Georgen—Judenburg . .	16·610	1·37	—5°
	Judenburg—St. Lorenzen . .	29·325	2·95	
Leoben.	St. Lorenzen—Leoben . . .	28·790	2·31	—6°
Bruck	Leoben—Bruck	18·985	3·07	—7°
	Bruck—Frohnleiten	26·605	2·17	
	Frohnleiten—Peggau. . . .	9·700	2·25	
	Peggau—Weinzödl	15·010	2·19	
Graz	Weinzödl—Graz	5·771	3·20	—7°
	Graz—Puntigam	4·204	2·29	

Aus dieser Zusammenstellung geht nun deutlich hervor, wie sehr der Tostbildungsgrad vom Gefälle des Flusses abhängig ist, was zur Erklärung der großen Differenzen, wie sie zwei verschiedene, oft selbst benachbarte Orte aufweisen, dient. Vergleichen wir nur die beiden Orte Tamsweg und Ramingstein, so sehen wir sofort, wie ein verschiedener Tostbildungsgrad die Zahl der Treibeistage verändern kann.

Tamsweg, Gefälle 2·20‰, Tostbildungsgrad —6°:

	1901	1902	1903	1904	1905
Treibeistage	13	56	70	57	75

Ramingstein, Gefälle 5·66‰, Tostbildungsgrad —9°:

Treibeistage	0	9	18	14	38
--------------	---	---	----	----	----

Würde schon nach dem Gefälle das Treibeis selbst im Falle, daß die Temperaturen für den ganzen Fluß dieselben wären, für verschiedene Orte verschieden sein, so wird diese Differenz durch andere Momente noch bedeutend vergrößert; einerseits zeigen die Temperaturen an verschiedenen Orten bedeutende Abweichungen, andererseits wird das bloße Auftreten des Treibeises vom Gefälle und den Temperaturen bedingt. Wie solch bloßes Auftreten des Treibeises die Zahl der Treibeistage wesentlich ändern kann, zeigt sich aus folgendem:

	Leoben	1896	1897	1898	1899	1900	1901	1902	1903	1904	1905
Eisbildung . .	0	21	10	16	41	6	30	23	21	16	
Eisauftreten .	0	1	11	1	13	8	6	4	9	9	
	0	22	21	17	54	14	36	27	30	25	
Bruck											
Eisbildung . .	14	19	11	14	30	2	29	12	17	15	
Eisauftreten .	2	0	4	4	6	1	4	2	1	1	
	16	19	15	18	36	3	33	14	18	16	
Graz											
Eisbildung . .	13	13	3	14	30	1	25	3	15	6	
Eisauftreten .	3	9	6	4	9	1	7	5	4	5	
	16	22	9	18	39	2	32	8	19	11	

Aus diesen Daten geht hervor, daß man aus der Zahl der Treibeistage, die von einem Orte gemeldet werden, durchaus nicht immer berechtigt ist, auf entsprechende Kälte zu schließen, indem man kältere Jahre oft für wärmer halten würde und umgekehrt. So ist in Leoben das Jahr 1897 bedeutend kälter gewesen als das Jahr 1898, obwohl die Zahl der Treibeistage fast die gleiche ist, und das Jahr 1899 war kälter als das Jahr 1898, obwohl die Zahl der Treibeistage kleiner ist. Wie wenig man berechtigt ist, aus der bloßen Zahl der Treibeistage auf besondere Kälte zu schließen, möge noch ein Beispiel aus Judenburg beweisen, wo im Dezember 1905 13 Tage nacheinander Treibeis gemeldet wurde, und zwar bei folgenden Temperaturen:

12. Dezember	1905	-1.9	+2.4	-2.8	Treibeis
13.	"	-3.4	+2.6	-2.2	"
14.	"	-4.0	-1.2	0	"
15.	"	-4.2	-1.9	-1.2	"
16.	"	-4.3	-2.6	-2.6	"
17.	"	-4.3	-3.2	-1.6	kein Treibeis
18.	"	-5.0	-2.2	-3.0	Treibeis
19.	"	-5.4	-1.6	-4.4	"
20.	"	-5.4	-0.2	-3.4	"
21.	"	-1.4	+6.3	-2.4	"
22.	"	-2.2	+7.3	+3.2	"
23.	"	-1.6	+5.2	+4.1	"
24.	"	-2.4	+3.2	+1.0	"

Das sind durchaus keine Temperaturen, bei denen sich in Judenburg Eis bildet, wie schon die weit tieferen Temperaturen beweisen mögen, die von 2.—5. Dezember geherrscht haben.

2. Dezember 1905	—6·2	+1·2	—2·4	kein Treibeis
3. „ „	—6·3	—1·0	—3·6	„ „
4. „ „	—7·4	—1·2	—4·6	„ „
5. „ „	—6·0	—0·4	—2·4	„ „

Das sind weit tiefere Temperaturen und doch keine Spur von Treibeis. Das Eis, das von 12.—24. Dezember gemeldet wurde, hat sich auch nicht in Judenburg gebildet, sondern ist von Ramingstein und Murau, wo sehr tiefe Temperaturen herrschten, gekommen und ist somit in Judenburg nur aufgetreten. Daß aber das Eis von Murau bis Judenburg sich erhalten konnte, liegt weniger in der Temperatur als in dem Umstand begründet, daß das Gefälle sich sehr stark verringert und deshalb das Eis nicht so zerstört wird, als das der Fall wäre, wenn das Gefälle sich vergrößern würde. Deshalb dürfen hier die Treibeistage nicht ohne weiteres als Beleg für besondere Kälte angesprochen werden, indem sie hier gerade für das Gegenteil sprechen. In Orten namentlich, die zur Deckenbildung neigen, wird Treibeis eher für Wärme als für Kälte sprechen, so daß Eisdeckenbildung und Treibeis in umgekehrtem Verhältnis stehen können.

So zeigt sich, daß die Unterscheidung zwischen Eisbildung und Eisauftreten von großer Wichtigkeit sein kann, nicht bloß für die Ermittlung des Tostbildungsgrades, sondern auch für die Benützung dieser Daten zur Beantwortung irgendwelcher klimatologischer Fragen. Sie bietet ferner die Möglichkeit, die großen Differenzen, wie sie die verschiedenen Orte nach der Zahl der Treibeistage aufweisen und die sich aus den verschiedenen Tostbildungsgraden allein nicht erklären ließen, restlos zu erklären.

Es ist aber nicht nur möglich, genau zu ermitteln, wann an einem Orte Tostbildung stattfindet, sondern auch, wann Tost nur auftreten wird, was praktisch von Wichtigkeit sein kann. Speziell für Graz gibt es dafür folgende Regeln:

Kommt es nur in Bruck zur Eisbildung und nicht zugleich auch in Graz, dann tritt es in Graz in folgenden Fällen auf:

1. erreicht das Nachtmittel in Bruck nicht -10° , dann kommt nach Graz außer bei Eisauflösung in der Regel kein Eis;
2. übersteigt das Nachtmittel in Bruck -10° , dann tritt Tost in Graz auf:

a) an demselben Tag wie in Bruck, wenn daselbst der Eisbildungsprozeß noch in den Nachmittagsstunden eintritt, am Abend

hier eine Temperatur von -10° herrscht und in Graz am nächsten Tage in der Früh mindestens -4° vorkommt;

b) einen Tag später, wenn in Bruck am Abend vorher keine Temperatur von -10° herrscht;

3. findet in Bruck nach langen und strengen Frösten Eisauflösung statt, dann tritt das Eis, weil widerstandsfähiger geworden, ein bis zwei Tage selbst bei ziemlich hohen Temperaturen in Graz auf; eine Regel ist dabei selbstverständlich unmöglich; je langsamer sich die Eisauflösung vollzieht, desto länger wird in Graz Eis auftreten. Ebenso ist für das Auftreten von treibendem Ufereis das Verhalten der Frostperiode maßgebend: verharrt sie bei einigen Minusgraden, so dauert die Auflösung länger, steigt die Temperatur plötzlich auf einige Plusgrade, so dauert sie viel kürzer.

Folgende Beispiele mögen beweisen, wie automatisch sich nach diesen Regeln Eis einstellt.

Graz,	8. Februar	1906			+0.9	Mittel	
"	9.	"	"	-6.1	-0.6	-3.3	-2.6 kein Eis
"	10.	"	"	-1.6	+1.9	-4.8	-2.5 Eisauftr.
"	11.	"	"	-10.0	-0.7	-1.0	-7.4 Eisbildung
"	12.	"	"	-2.0	+1.0	-0.9	-1.5 Eisauftr.
Bruck,	8. Februar	1906			-6.6	Mittel	
"	9.	"	"	-15.8	-5.1	-1.4	-11.2 Eisbildung
"	10.	"	"	-2.4	-0.2	-12.5	-1.9 kein Eis
"	11.	"	"	-20.6	-7.0	-1.4	-16.6 Eisbildung
"	12.	"	"	-4.1	+1.3	-5.0	-2.8 kein Eis

Also am 9. Februar ist in Graz kein Eis, weil der Eisbildungsprozeß in Bruck zu spät eintritt und am Abend nicht -10° herrscht; am 10. Februar ist in Bruck kein Eis, aber in Graz tritt es auf, weil tags vorher das Nachtmittel von Bruck -10° überstieg; am 11. Februar findet in beiden Orten Eisbildung statt; am 12. Februar ist kein Eis in Bruck, in Graz wieder Eisauftreten.

Ganz allgemein ergibt sich aus den Tabellen, daß das Eisphänomen an der Mur großen Schwankungen unterworfen ist. Besonders viel Eis weisen die Jahre 1900/1 und 1902/3 auf, besonders wenig die Jahre 1901/2 und 1903/4; dabei brauchen sich die großen Schwankungen durchaus nicht im ganzen Laufe der

Mur geltend zu machen. Bis Leoben tritt das Eisphänomen stärker in die Erscheinung als im weiteren Laufe der Mur; das Treibeis stellt sich bis dahin früher ein, dauert länger, die Zahl der Treibeistage und die der Eisstöße ist größer, die Eisdecke häufiger.

b) Die Drau.

Der Tostbildungsgrad beträgt für einzelne Stationen folgende Werte:

	Entfernung	in km	Ge- fälle ‰	Tost- bildungs- grad
Sillian	Innichen—Vierschach	4·900	10·62	·
	Vierschach—Sillian	6·740	7·10	— 11°
Lienz	Sillian—Gassenbach	3·560	3·61	} Bei diesem Ge- fälle findet keine Tostbil- dung statt.
	Gassenbach—Brugger-Häuser .	13·735	16·09	
	Brugger-Häuser—Thal	2·365	13·75	
	Thal—Lienz	11·200	11·57	
	Lienz—Lavant	7·070	3·72	
Oberdrauburg .	Lavant—Nikolsdorf	4·530	2·19	} — 8°
	Nikolsdorf—Oberpirkach	2·480	3·13	
	Oberpirkach—Oberdrauburg . .	5·250	2·02	
	Oberdrauburg—Dellach	8·880	1·95	
	Dellach—Altenmarkt	4·130	1·65	
	Altenmarkt—Bruggen	5·180	1·66	
Sachsenburg . .	Bruggen—Steinfeld	6·400	1·24	} — 7°
	Steinfeld—Kleblach	7·250	1·47	
	Kleblach—Sachsenburg	8·150	1·58	
	Sachsenburg—Schwaig	12·570	1·57	
Villach	Schwaig—Mauthbrücken	11·330	1·67	} — 7°
	Mauthbrücken—Feistritz	7·730	0·92	
	Feistritz—Villach	21·100	0·94	
	Villach—Wernberg	7·660	0·89	
	Wernberg—Föderlach	5·760	1·14	
Annabrücke . .	Föderlach—Rosegg	4·930	1·19	} — 8°
	Rosegg—Hollenburg	26·270	1·59	
	Hollenburg—Annabrücke	20·050	1·62	
Völkermarkt . .	Annabrücke—Neubrücke	7·150	1·20	} — 7°
	Neubrücke—Völkermarkt	7·350	1·08	
Unterdrauburg .	Völkermarkt—Lippitzbach . . .	14·450	1·18	} — 7°
	Lippitzbach—Lavamünd	16·850	1·10	
	Lavamünd—Unterdrauburg . . .	10·310	1·15	
Marburg	Unterdrauburg—Saldenhofen . .	12·440	1·09	} — 7°
	Saldenhofen—St. Lorenzen . . .	26·368	1·50	
	St. Lorenzen—Marburg	24·832	1·13	— 7°

Bei einem Vergleich mit den Daten an der Mur geht aus dieser Zusammenstellung hervor, daß neben dem Gefälle die Wassermenge eines Flusses den Tostbildungsgrad verändert.

Im allgemeinen kann man sagen, daß das Eisphänomen an der Drau größere Dimensionen annimmt als an der Mur; die Zahl der Eisstöße und der Treibeistage ist größer, die Schwankungen sind die gleichen und ebenso bedeutend.

VIII. Schlußbetrachtung.

Das Eisphänomen der Flüsse — mag es die Wasserwege in die Fesseln des Eises schlagen und die Binnenschifffahrt für kürzere oder längere Zeit unterbinden, mag es in gewaltigen Eisgängen und Eisstößen von vernichtenden Folgen begleitet sein, mag es sich in den bescheidenen Grenzen von Tostrinnen bewegen — ist immer bestimmten erforschbaren Gesetzen unterworfen, die — so modifiziert sie im einzelnen sein mögen — doch automatisch dasselbe bedingen.

Es hat sich gezeigt, daß die eigentliche Eisbildung an der ganzen Oberfläche der Flüsse vor sich geht und durch die Strömung modifiziert wird. Für das schwimmend weiter treibende Oberflächeneis, Tost oder Treibschnee genannt, sind drei Faktoren von Wichtigkeit: Lufttemperatur, Gefälle nebst horizontaler Strömung und Wassermenge. Für die Grundeisbildung kommt neben Lufttemperatur hauptsächlich vertikale Strömung in Betracht; ob dabei die an der Oberfläche gebildeten Eisnadeln unbedingt notwendig oder ob diese Art der Unterkühlung allein schon genügt, bleibt dahingestellt. Die Eisbildung setzt ferner an einem bestimmten Orte immer bei dem gleichen Temperaturgrade ein, der nach dem Gefälle an demselben Flusse und nach der Wassermenge bei verschiedenen Flüssen verschieden sein wird. Damit sich der Tost erhalte, ist eine längere Dauer — ungefähr 10 Stunden — notwendig, die aber nach dem Gefälle und nach der Art der Strömung nicht immer gleich sein wird; im allgemeinen geben die Nachtmittel recht gute Anhaltspunkte und sichere Werte für die Kontrolle und die Voraussage des Treibeises. Daraus ergibt sich auch schon die Antwort auf die Frage, ob man das erste Erscheinen des Treibeises für längere Zeit voraussagen kann, was für die Schifffahrt von großem Nutzen wäre. Verlangt man mit dieser Frage zugleich auch das betreffende Datum, so muß die

Antwort verneinend lauten, da wir eine bestimmte Temperatur noch nicht voraussagen können; wir kennen die Wettervoraussagen aus schlechter Erfahrung und mit Mitteln, rein idealen Terminen, ist praktisch so wenig anzufangen, wie deren Wert für rein theoretische Fragen sehr zweifelhafter Natur ist. Swarowsky¹⁾ vermag mit seinem 40jährigen Mittel nicht einmal für das nächste Treibeis die geringsten Anhaltspunkte zu bieten. Auch die mühevollen und sorgfältigen Mittel nach Rykatschew sind ergebnislos geblieben und, wenn C. Hahn²⁾ nach längeren Mitteln fand, daß die Wolga um den 8. November verschlossen und am 10. April wieder frei werden soll, dabei aber Schwankungen des Termines von \pm einem Monat stattfinden, so kann von einem praktischen Werte dieser Zahlen keine Rede sein. Wenn Maximowitsch für die Jahre 1877—1897 als mittleren Termin des beginnenden Eisstandes den 27. November bestimmt, für das erste Auftreten des Ssalo, das vollkommen unserem Toste entsprechen dürfte, als mittleren Termin den 6. November, für das letzte Ssalo, an das sich dann der Eisstand anschloß, den 17. November findet, das Intervall bis zum Eisstande also 21, respektive 10 Tage beträgt, so ist doch mit solchen idealen Mittelwerten praktisch nichts anzufangen, — das wissen die Schiffer auf dem Dnjepr besser, die fast immer von einer Art Panik ergriffen werden und nach dem erstbesten Zufluchtsorte eilen, sobald sich das erste Ssalo einstellt, worüber sich Maximowitsch mit Unrecht verwundert; weniger die leichte Bauart ihrer Fahrzeuge als die Erfahrung, welche schwankende Größe dieses Intervall ist, ferner die Überzeugung, daß sie vor dem Einfrieren mitten im Strome nicht ein mittlerer Termin des Eisstandes — aus verfrühten und verspäteten Daten gewonnen — bewahrt und daß das Ssalo wie der Eisstand ganz plötzlich zur vollen Ausbildung gelangen kann, erklärt zur Genüge ihr Verhalten. Das einzige, womit die Wissenschaft in den Dienst des praktischen Lebens hier treten kann, ist, solange die Wetterkunde keine weiteren Fortschritte gemacht hat, daß sie den braven Schiffern die Temperaturen ermittelt, die ihm und seinem Fahrzeuge Gefahr drohen, damit sie an der Hand des Thermometers dieselben herausfinden können; damit würden sie sich in der Lage befinden, mit Sicherheit zu erkennen, wann

¹⁾ Swarowsky, a. a. O., S. 21.

²⁾ C. Hahn. Die Wolga. „Ausland“, Bd. 63, S. 955.

ihnen Gefahr droht und wann nicht. Ein Eiswachdienst,¹⁾ wie er bereits in Preußen seit 1889 in Übung ist, müßte sie dann auch über das Eis in den oberen Teilen des Flusses unterrichten, was ja auch nur in kritischen Tagen in Betracht käme. Da aber die Temperatur nicht urplötzlich so sinkt, daß sie die Gefahr im höchsten Maße gleich mit sich bringt, und selbst dann noch immer das Eis längere Zeit zu seiner Entwicklung braucht, so können die Schiffer selbst im ungünstigsten Falle ungefährdet an einem sicheren Orte Zuflucht nehmen.

So ist denn ein weiteres, besser gesagt, das wichtigste Ergebnis vorliegender Untersuchung, dargetan zu haben, daß weniger ein rein statistisches Verarbeiten des vorhandenen Materials als vielmehr ein Eindringen in das ursächliche Verhältnis dieses Phänomens einzig und allein geeignet ist, für wissenschaftliche Verwertung wie für das praktische Leben brauchbare Resultate zu liefern.

¹⁾ Die Überwachung der Ströme in Preußen. „Zentralb. der Bauverwaltung“, 1889, S. 33, 34 und 41.

Mur.

1. Tabelle.

Übersicht über die Pegelstationen, die spätestens im Jahre 1895 errichtet wurden.

Pegelstationen	Land	Fluß	Regelmäßig beobachtet seit dem Jahre	Entfernung zwischen 2 benachbarten Orten	Gefälle ‰
1. St. Michael	Salzburg	Mur	1881	. .	. .
2. Tamsweg	"	"	1895	15·033	2·20
3. Ramingstein	"	"	"	7·370	5·38
4. Murau	Steiermark	"	"	29·620	5·66
5. Lind	"	"	"	22·290	2·93
6. St. Georgen	"	"	1889	12·105	1·85
7. Judenburg	"	"	1851	16·610	1·37
8. St. Lorenzen	"	"	1891	29·325	2·95
9. Leoben	"	"	1851	28·790	2·31
10. Bruck	"	"	"	18·985	3·07
11. Frohnleiten	"	"	"	26·605	2·17
12. Peggau	"	"	"	9·700	2·25
13. Weinzödl	"	"	"	15·010	2·19
14. Graz	"	"	1850	5·771	3·20
15. Puntigam	"	"	1876	4·204	2·29
16. Kalsdorf	"	"	1873	8·061	2·56
17. Wilden	"	"	1850	11·114	2·00
18. Lebring	"	"	1877	3·985	2·49
19. Landscha	"	"	1855	11·126	1·80

Pegelstationen	Land	Fluß	Regelmäßig beobachtet seit dem Jahre	Entfernung zwischen 2 benachbarten Orten	Gefälle ‰
20. Ehrenhausen	Steiermark	Mur	1877	4·759	1·71
21. Spielfeld	"	"	1851	4·324	1·53
22. Mureck	"	"	1876	12·376	1·33
23. Radkersburg	"	"	1850	17·138	1·47
24. Wernsee	"	"	1881	12·982	1·08
An den Nebenflüssen der Mur:					
1. Mauterndorf	Salzburg	Taurach	1879	. .	. .
2. Aichdorf	Steiermark	Pöls	1895	. .	. .
3. Madstein	"	Liesing	"	. .	. .
4. Neuwald	Nied.-Österr.	Stille Mürz	"	. .	. .
5. Mürzzuschlag	Steiermark	Mürz	"	. .	. .
6. Wartberg	"	"	"	21·225	3·99
7. Diembach	"	"	"	23·550	3·50
8. Krottendorf	"	Kainach	"	. .	. .
9. Zwaring	"	"	"	47·643	1·85
10. Wildon	"	"	"	13·909	1·09
11. Groß-Mantrach	"	Sulm	"	. .	. .
12. Heimschuh	"	"	"	13·307	1·19
13. Frauental	"	Niedere Laßnitz	"	} 8·860	0·91
14. Grötsch	"	Laßnitz	"		
15. Leibnitz	"	Sulm	"		
16. Luttenberg	"	Stainz	"	. .	. .

Die Stationen: St. Michael, Neuwald, Wartberg, Diembach, Grötsch, Leibnitz, Groß-Mantrach und Heimschuh kommen nicht weiter in Betracht, indem hier entweder keine oder ungenügende Eisbeobachtungen gemacht worden sind. In Tamsweg wird das Eis erst seit dem Jahre 1898, in Ramingstein seit 1889 beobachtet; im letzten Orte fehlt das Jahr 1901 ganz und noch sonst manche Monate.

2. Tabelle.

Erster Termin des Treibeises.

	1896/7	1897/8	1898/9	$\frac{1899}{1900}$	1900/1	1901/2	1902/3	1903/4	1904/5	1905/6
Tamsweg . . . . .	. .	9. I.	21. XII.	18. XI.	4. XII.	28. XI.	15. XI.	16. XII.	20. XI.	19. XI.
Ramingstein . . . . .	. .	. .	. .	1. XII.	10. XII.	. .	17. XI.	30. XII.	20. XII.	19. XII.
Murau	27. I.	26. XI.	. .	. .	. .	29. XI.	17. XI.	1. I.	10. XII.	14. XII.
Lind	30. XI.	12. XI.	22. XII.	18. XI.	4. XII.	28. XI.	16. XI.	17. XII.	28. XI.	26. XI.
St. Georgen	27. XI.	12. XI.	22. XII.	18. XI.	4. XII.	28. XI.	18. XI.	17. XII.	28. XI.	26. XI.
Judenburg	30. XI.	12. XI.	22. XII.	18. XI.	4. XII.	28. XI.	16. XI.	17. XII.	28. XI.	12. XII.
St. Lorenzen	2. XII.	11. XI.	22. XII.	9. XII.	10. XII.	28. XI.	19. XI.	22. XII.	29. XI.	13. XII.
Leoben	30. XI.	22. I.	22. XII.	9. XII.	10. XII.	28. XI.	22. XI.	19. XII.	22. XII.	13. XII.
Bruck	30. XI.	27. XI.	22. XII.	11. XII.	21. XII.	7. XII.	12. XII.	29. XII.	22. XII.	28. XII.
Frohnleiten	30. XI.	27. XI.	21. XII.	10. XII.	1. I.	7. XII.	23. XI.	30. XII.	29. XII.	20. XII.
Peggau	29. XI.	28. XI.	26. XII.	10. XII.	1. I.	7. XII.	23. XI.	30. XII.	1. I.	20. XII.
Weinzödl	30. XI.	27. XI.	26. XII.	10. XII.	3. I.	6. II.	23. XI.	30. XII.	29. XII.	1. I.
Graz	30. XI.	27. XI.	26. XII.	10. XII.	2. I.	6. II.	23. XI.	30. XII.	29. XII.	1. I.
Puntigam . . . . .	. .	. .	5. II.	10. XII.	2. I.	. .	23. XI.	28. I.	1. I.	1. I.
Kalsdorf . . . . .	. .	. .	26. XII.	10. XII.	3. I.	6. II.	23. XI.	29. I.	2. I.	2. I.
Wildon . . . . .	. .	27. XI.	25. XII.	10. XII.	2. I.	. .	23. XI.	28. I.	1. I.	1. I.
Lebring	26. I.	27. XI.	1. XII.	11. XII.	3. I.	6. II.	24. XI.	29. I.	29. XII.	1. I.
Landscha	25. I.	25. XI.	26. XII.	9. XII.	2. I.	6. II.	24. XI.	31. XII.	29. XII.	1. I.
Ehrenhausen	26. I.	27. XI.	26. XII.	10. XII.	2. I.	. .	20. XI.	. .	29. XII.	21. XII.
Spielfeld	26. I.	20. XII.	26. XII.	10. XII.	3. I.	6. II.	23. XI.	31. XII.	29. XII.	21. XII.
Mureck	26. I.	27. XI.	26. XII.	10. XII.	2. I.	6. II.	7. XII.	30. XII.	29. XII.	1. I.
Radkersburg	26. I.	27. XI.	26. XII.	10. XII.	3. I.	. .	24. XI.	29. I.	29. XII.	1. I.
Wernsee	26. I.	22. XII.	11. XI.	9. XII.	3. I.	. .	24. XI.	31. XII.	29. XII.	1. I.

	1896/7	1897/8	1898/9	1899 1900	1900/1	1901/2	1902/3	1903/4	1904/5	1905/6
An den Nebenflüssen:										
Mauterndorf	6. I.	26. XI.	22. XII.	8. XII.	9. XII.	16. XII.	4. XII.	3. I.	23. XII.	14. XII.
Aichdorf . . . . .	. .	. .	22. XII.	8. XII.	4. XII.	5. XII.	24. XI.	29. XII.	22. XII.	20. XII.
Madstein . . . . .	. .	. .	22. XII.	9. XII.	10. XII.	28. XI.	19. XI.	30. XII.	28. XII.	13. XII.
Mürzzuschlag . . . . .	. .	. .	9. I.	9. XII.	1. I.	7. XII.	20. XI.	25. I.	1. I.	. .
Krottendorf . . . . .	. .	. .	5. II.	10. XII.	2. I.	6. II.	23. XI.	25. I.	1. I.	1. I.
Zwaring	30. XI.	. .	26. XII.	4. XII.	2. I.	6. II.	23. XI.	3. I.	28. XII.	1. I.
Wildon . . . . .	. .	21. XII.	26. XII.	10. XII.	2. I.	. .	23. XI.	. .	28. XII.	1. I.
Frauental	1. II.	21. XII.	1. I.	17. XII.	14. I.	6. II.	23. XI.	. .	2. I.	8. II.
Lutterberg	28. I.	27. I.	25. XII.	11. XII.	2. I.	. .	9. XII.	. .	1. I.	. .

3. Tabelle.

Letzter Termin des Treibeises.

	1896/7	1897/8	1898/9	1899 1900	1900/1	1901/2	1902/3	1903/4	1904/5	1905/6
Tamsweg . . . . .	. .	22. II.	26. III.	5. IV.	31. III.	27. III.	18. II.	4. III.	10. IV.	31. III.
Ramingstein . . . . .	. .	. .	. .	4. IV.	28. III.	. .	22. XII.	27. II.	10. I.	29. III.
Murau	1. II.	22. I.	. .	. .	. .	28. I.	15. II.	28. II.	17. II.	31. XII.
Lind	10. II.	22. II.	26. III.	10. III.	30. III.	15. III.	26. II.	29. II.	18. II.	17. III.
St. Georgen	10. II.	22. II.	26. III.	7. III.	30. III.	15. III.	26. II.	29. II.	14. II.	26. II.
Judenburg	29. II.	26. XI.	26. III.	7. III.	30. III.	25. II.	9. XII.	29. II.	22. XII.	31. XII.
St. Lorenzen	10. II.	7. II.	28. II.	5. III.	28. II.	6. II.	18. II.	26. II.	17. II.	25. II.
Leoben . . . . .	. .	7. II.	28. II.	5. III.	24. II.	7. II.	17. II.	20. II.	15. II.	11. II.

	1896/7	1897/8	1898/9	1899 1900	1900/1	1901/2	1902/3	1903/4	1904/5	1905/6
Bruck	31. I.	21. I.	6. II.	5. III.	26. II.	8. II.	1. II.	29. I.	25. I.	1. I.
Frohnleiten	1. II.	21. I.	27. II.	5. III.	24. II.	7. II.	1. II.	30. I.	11. II.	12. II.
Peggau	1. II.	19. I.	28. II.	5. III.	25. II.	8. II.	31. I.	31. I.	25. I.	11. II.
Weinzödl	1. II.	22. I.	6. II.	16. I.	25. II.	7. II.	30. I.	30. I.	15. II.	11. II.
Graz	1. II.	21. I.	6. II.	16. I.	27. II.	7. II.	1. II.	30. I.	15. II.	12. II.
Puntigam . . . . .	. .	. .	6. II.	17. I.	25. II.	. .	25. I.	30. I.	28. I.	12. II.
Kalsdorf . . . . .	. .	. .	6. II.	28. XII.	26. II.	7. II.	1. II.	30. I.	25. I.	11. II.
Wildon . . . . .	. .	11. II.	29. XII.	29. XII.	27. II.	. .	3. II.	31. I.	28. I.	11. II.
Lebring	2. II.	9. II.	7. II.	17. I.	26. II.	6. II.	28. I.	30. I.	15. II.	11. II.
Landscha	1. II.	11. II.	6. II.	17. I.	25. II.	6. II.	2. II.	30. I.	15. II.	11. II.
Ehrenhausen	2. II.	27. I.	6. II.	5. III.	24. II.	. .	18. II.	. .	15. II.	10. II.
Spielfeld	2. II.	29. I.	28. II.	5. III.	28. II.	7. II.	19. II.	30. I.	15. II.	11. II.
Mureck	1. II.	13. II.	28. II.	5. III.	28. II.	7. II.	1. II.	31. XII.	15. II.	12. II.
Radkersburg	1. II.	11. II.	7. II.	17. I.	3. III.	. .	1. II.	29. I.	15. II.	11. II.
Wernsee	1. II.	28. I.	7. II.	18. I.	28. II.	. .	18. II.	12. I.	19. II.	11. II.
An den Nebenflüssen:										
Mauterndorf	7. I.	4. III.	23. III.	5. IV.	28. II.	16. III.	21. II.	29. II.	19. II.	4. IV.
Aichdorf . . . . .	. .	. .	31. XII.	1. II.	23. II.	11. XII.	25. I.	2. II.	17. II.	11. II.
Madstein . . . . .	. .	. .	23. III.	4. IV.	30. III.	11. III.	18. II.	27. II.	11. II.	12. II.
Mürzschlag . . . . .	. .	. .	26. III.	10. III.	27. II.	8. XII.	17. I.	29. I.	26. I.	11. II.
Krottendorf . . . . .	. .	. .	26. III.	5. III.	27. II.	6. II.	18. II.	25. I.	15. II.	14. II.
Zwaring	17. II.	. .	27. III.	5. III.	14. II.	6. II.	18. II.	3. I.	27. I.	29. I.
Wildon . . . . .	. .	8. II.	28. XII.	17. I.	22. II.	6. II.	30. I.	. .	5. I.	. .
Fraumental	2. II.	4. I.	2. I.	30. XII.	27. II.	6. II.	20. II.	. .	13. II.	12. II.
Luttenberg . . . . .	. .	14. II.	25. XII.	31. XII.	12. II.	. .	11. II.	. .	2. III.	. .

4. Tabelle.

Dauer des Treibeises in Tagen.

	1896/7	1897/8	1898/9	$\frac{1899}{1900}$	1900/1	1901/2	1902/3	1903/4	1904/5	1905/6
Tamsweg . . . . .	. .	24	39	37	30	13	56	70	57	75
Ramingstein . . . . .	. .	. .	. .	12	6	. .	9	18	14	38
Murau	6	29	. .	. .	. .	55	47	40	35	18
Lind	25	39	29	34	42	36	46	39	30	31
St. Georgen	38	29	41	34	27	32	50	38	39	57
Judenburg	9	4	31	11	4	23	8	14	8	19
St. Lorenzen	32	22	25	16	65	13	46	7	34	28
Leoben . . . . .	. .	22	24	17	54	14	36	27	30	25
Bruck	16	19	15	18	36	3	33	14	18	16
Föhnleiten	15	24	12	15	35	3	23	11	18	14
Peggau	22	29	11	4	36	4	23	7	14	9
Weinzödl	9	20	8	12	43	2	29	6	18	12
Graz	16	22	9	18	39	2	32	8	19	11
Puntigam . . . . .	. .	. .	2	12	33	. .	23	3	17	9
Kalsdorf . . . . .	. .	. .	6	14	31	2	29	2	11	3
Wildon . . . . .	. .	26	5	16	35	. .	33	4	18	13
Lebring	12	24	9	17	32	1	29	2	19	10
Landscha	14	27	6	18	32	1	28	3	17	13
Ehrenhausen	9	20	6	14	38	. .	33	. .	23	14
Spielfeld	8	21	8	18	37	2	36	4	24	15
Mureck	7	29	8	24	43	2	22	2	32	13
Radkersburg	8	16	7	14	14	. .	22	1	21	14
Wernsee	7	17	7	14	11	. .	24	2	13	14

	1896/7	1897/8	1898/9	$\frac{1899}{1900}$	1900/1	1901/2	1902/3	1903/4	1904/5	1905/6
An den Nebenflüssen:										
Mauterdorf	2	32	15	27	65	21	32	54	54	58
Aichdorf . . . . .	. .	. .	10	14	20	4	21	20	33	32
Madstein . . . . .	. .	. .	30	27	28	9	18	13	23	19
Mürzzuschlag . . . . .	. .	. .	17	24	36	2	11	5	11	. .
Krottendorf . . . . .	. .	. .	10	16	36	1	28	1	15	10
Zwaring	17	. .	7	12	4	1	18	1	15	13
Wildon . . . . .	. .	8	3	14	19	. .	20	. .	9	5
Frauental	2	13	2	10	23	1	70	. .	13	5
Latterberg . . . . .	. .	10	1	8	12	. .	21	. .	18	. .

5. Tabelle.

Zahl und Dauer der Eisstöße.

	1896/7	1897/8	1898/9	$\frac{1899}{1900}$	1900/1	1901/2	1902/3	1903/4	1904/5	1905/6
Tamsweg	I, 5	.	.	.
Ramingstein	I, 1	.	.	.	.	.
Murau	IV, 6	.	.	.
Lind				I, 2	I, 1	.	.	.	.	I, 1
Judenburg	I, 1	I, 1	III, 9	I, 1	I, 1	.
Leoben	III, 7	I, 1	.	.
Frohnleiten	I, 2	.	II, 2	.	.	.
Peggau	I, 1	.	.	.
Weinzödl				I, 2	.	.	I, 1	.	.	.
Kalsdorf	I, 2	.	.	.
Spielfeld	I, 4	.	I, 2	.	.	.
Mureck	I, 4	.	I, 2	.	.	.
Wernsee				I, 1	I, 2	.	II, 2	.	II, 2	.
An den Nebenflüssen:										
Aichdorf		I, 2	.	.	.	.	.	.
Madstein	IV, 8	.	IV, 8	.	I, 1	.
Mürzzuschlag		I, 1	V, 7	.	I, 1	.	.	.
Zwaring		I, 4	I, 1	.	I, 2	.	.	.
Frauental	III, 11	.	.	.	I, 1	.
Lutterberg	IV, 10	.	.	.	.	.

Die römische Zahl zeigt die Zahl, die arabische die Dauer der Eisstöße an.

6. Tabelle.

Eisdecke.

	1896/7	1897/8	1898/9	$\frac{1899}{1900}$	1900/1	1901/2	1902/3	1903/4	1904/5	1905/6
Tamsweg	31 g	9 g, 15 t	. .	. .	. .	. .
Ramingstein	4 g	2 g	. .	30 g, 66 t	1 g	. .	. .
Murau	29 g	. .	61 g	. .	19 g,	2 g	. .	31 g
Lind	1 g	1 g	. .	. .	. .	2 g	11 g
St. Georgen	1 4 g	. .	. .	58 g	. .	. .	. .	. .	. .
Judenburg	1 g	. .	1 g	2 g	4 g	. .	6 g	2 g	. .	28 g, 1 t
Leoben	1 g	. .	. .
Bruck	4 g	. .	. .	. .
Frohnleiten	1 g	. .	. .	. .
Kalsdorf	8 t	. .	. .	. .
Spielfeld	15 t	. .	. .	. .	. .	. .
Radkersburg	5 g	36 t	. .	9 g	. .	. .	. .
Wernsee	6 g	45 g	. .	11 g	. .	2 g	. .
In den Nebenflüssen:										
Mauterndorf	2 g	58 t	12 g	9 g, 38 t	. .	. .	. .
Aichdorf	8 g	31 g	. .	. .	. .	. .	. .
Madstein	7 g	. .	19 g	. .	. .	. .
Neuwald	37 g	24 g	25 g	11 g	3 g	3 g	56 g	. .	. .	. .
Mürzzuschlag	2 g	2 g	. .	. .
Zwaring	3 g	8 g	60 g	. .	13 g, 23 t	. .	. .	5 g
Frauental	4 g	41 t	. .	2 g	. .	. .	22 g
Lutterberg	2 g	. .	39 g	. .	26 g	. .	43 g	. .

g = ganz zugefroren, t = teilweise Decke.

Drau.

1. Tabelle.

Übersicht über die in Betracht kommenden Pegelstationen.

Pegelstationen	Land	Gewässer	Regelmäßig beobachtet seit	Entfernung zwischen 2 benachbarten Orten	Gefälle ‰
1. Innichen	Tirol	Drau	1895	. .	. .
2. Vierschach	"	"	1890	4·900	10·62
3. Sillian	"	"	"	6·740	7·10
4. Tassenbach	"	"	"	3·560	3·61
5. Brugger-Häuser	"	"	"	13·735	16·09
6. Thal	"	"	"	2·365	13·75
7. Lienz	"	"	1895	11·200	11·57
8. Lavant	"	"	1890	7·020	3·72
9. Nikolsdorf	"	"	1890	4·530	2·19
10. Oberpirkach	Kärnten	"	1887	2·480	3·13
11. Oberdrauburg	"	"	1852	5·250	2·02
12. Dellach	"	"	1886	8·880	1·95
13. Altenmarkt	"	"	"	4·130	1·65
14. Bruggen	"	"	"	5·180	1·66
15. Steinfeld	"	"	1890	6·400	1·24
16. Klebach	"	"	1886	7·250	1·47
17. Sachsenburg	"	"	"	8·150	1·58

Pegelstationen	Land	Gewässer	Regelmäßig beobachtet seit	Entfernung zwischen 2 benachbarten Orten	Gefälle ‰
18. Schwaig	Kärnten	Drau	1886	12·570	1·57
19. Mauthbrücken	"	"	"	11·330	1·67
20. Feistritz	"	"	"	7·730	0·92
21. Villach	"	"	1852	21·100	0·94
22. Wernberg	"	"	1886	7·660	0·89
23. Föderlach	"	"	"	5·760	1·14
24. Resegg	"	"	"	4·930	1·19
25. Hollenburg	"	"	1852	26·270	1·59
26. Annabrücke	"	"	1886	20·050	1·62
27. Neubrücke b. Stein	"	"	"	7·150	1·20
28. Völkermarkt	"	"	1852	7·350	1·08
29. Lippitzbach	"	"	1895	14·450	1·18
30. Lavamünd	"	"	"	16·850	1·10
31. Unterdrauburg	"	"	1852	10·310	1·15
32. Saldenhofen	Steiermark	"	1895	12·440	1·09
33. St. Lorenzen	"	"	"	26·368	1·50
34. Marburg	"	"	1850	24·832	1·13
35. Obertäubing	"	"	1895	9·920	0·98
36. Pettau	"	"	1850	19·160	1·03
37. Ankenstein	"	"	1894	15·300	0·94
38. Friedau	"	"	"	16·220	0·94
An den Nebenflüssen:					
1. St. Johann im Walde	Tirol	Isel	1895	. .	. .
2. Lienz	"	"	1899	15·150	3·72
3. Obervellach	Kärnten	Möll	1894	. .	. .

Pegelstationen	Land	Gewässer	Regelmäßig beobachtet seit	Entfernung zwischen 2 benachbarten Orten	Gefälle ‰
4. Kolbnitz	Kärnten	Möll	1894	9·780	6·01
5. Möllbrücke	"	"	1877	7·840	6·30
6. Mauthen	"	Gail	1891	. .	. .
7. Dellach	"	"	1888	6·200	7·21
8. Möderndorf . . . . .	"	"	"	. .	. .
9. Mellach	"	"	"	3·800	4·73
10. Vorderberg	"	"	1882	9·710	0·11
11. Nötsch	"	"	1891	8·240	0·26
12. Arnoldstein	"	Gailitz	1895	41·150	2·89
13. Federaun	"	Gail	1877	. .	. .
14. Maria Gail	"	"	1888	16·393	2·16
15. Wolfsberg	"	Lavant	1856	. .	. .
16. Lavamünd	"	"	"	102·714	3·21

2. Tabelle.

Erster Termin des Treibeises.

	1896/7	1897/8	1898/9	$\frac{1899}{1900}$	1900/1	1901/2	1902/3	1903/4	1904/5	1905/6
Sillian	27. XII.	B. f. v. 1.—22. XII.	. .	. .	. .	19. XI.	19. I.	20. XII.	12. XII.
Tassenbach	25. XII.	10. XII.	3. I.	. .	20. XI.	20. II.	. .	. .
Brugger-Häuser	10. XII.	11. I.	6. II.	19. XI.	. .	15. I.	. .

	1896/7	1897/8	1898/9	$\frac{1899}{1900}$	1900/1	1901/2	1902/3	1903/4	1904/5	1905/6
Thal . . . . .	. .	. .	. .	8. XII.	2. I.	6. II.	12. XI.	. .	15. I.	. .
Lienz a. d. D.	17. XII.	B. f.	25. I.	4. XII.	3. I.	15. I.	24. XI.	27. II.	30. XI.	8. I.
St. Johann i. W.	3. I.	B. f.	22. I.	11. XI.	5. XII.	13. XII.	24. XI.	B. f.	B. f.	15. I.
Lienz a. d. J.	1. I.	27. XI.	22. XII.	10. XII.	24. XII.	26. XI.	22. XI.	20. XII.	28. XI.	20. XII.
Lavant a. d. D. . . . .	. .	. .	22. XII.	18. XI.	3. XI.	6. XII.	21. XI.	7. I.	26. XI.	26. XI.
Nikolsdorf	1. XII.	10. XII.	22. XII.	17. XI.	4. XII.	28. XI.	19. XI.	22. XII.	27. XI.	26. XI.
Oberpirkach	27. XII.	11. XII.	22. XII.	1. XII.	28. XI.	7. XII.	20. XI.	21. XII.	17. XI.	19. XII.
Oberdrauburg . . . . .	. .	. .	. .	. .	1. I.	. .	18. I.	. .	22. XII.	12. XII.
Dellach	17. XII.	27. XI.	22. XII.	12. XII.	4. XII.	. .	9. XII.	24. I.	22. XII.	1. I.
Altenmarkt	28. I.	27. XI.	25. I.	7. XII.	3. I.	16. I.	9. XII.	7. XII.	22. XII.	1. I.
Bruggen	17. XII.	27. XI.	30. I.	12. XII.	3. I.	. .	12. XII.	21. XII.	19. XII.	1. I.
Steinfeld	17. XII.	27. XI.	30. I.	9. XII.	21. XII.	10. I.	25. XI.	8. I.	22. XII.	26. XII.
Kleblach	30. XII.	11. XII.	. .	7. XII.	7. I.	7. XII.	8. XII.	8. I.	27. XII.	1. I.
Sachsenburg	17. XII.	27. XI.	25. XII.	27. XI.	9. XII.	10. I.	22. XI.	8. I.	22. XII.	1. I.
Obervellach	17. XII.	27. XI.	22. XII.	18. XI.	4. XII.	28. XII.	19. XI.	30. XII.	27. XII.	12. XII.
Kolbnitz	4. I.	27. XI.	22. XII.	5. XII.	6. I.	29. XII.	22. XI.	B. f.	17. XII.	1. I.
Möllbrücke	17. XII.	27. XI.	5. II.	27. XI.	2. I.	7. XII.	19. XI.	21. XII.	29. XI.	1. I.
Schwaig	17. XII.	1. XII.	24. XII.	5. XII.	10. XII.	6. XII.	9. XII.	3. I.	29. XI.	13. XII.
Gmünd a. d. L.	1. I.	1. XII.	21. XII.	16. I.	4. XII.	28. XI.	9. XII.	15. XII.	27. XI.	19. XII.
Mauthbrücke	30. XII.	18. XII.	25. XII.	18. XII.	23. XII.	10. I.	12. XII.	25. I.	22. XII.	1. I.
Feistritz	30. XII.	27. XI.	24. XII.	9. XII.	13. XII.	12. I.	9. XII.	29. XII.	22. XII.	26. XII.
Villach	17. XII.	27. XI.	24. XII.	5. XII.	13. XII.	7. XII.	25. XI.	3. I.	22. XII.	26. XII.
Mauthen	5. I.	25. XII.	28. XII.	14. XII.	10. XII.	7. XII.	12. XII.	3. II.	29. XII.	29. XII.
Dellach	15. XII.	25. III.	22. XII.	10. XI.	30. XI.	28. XI.	18. XI.	6. XII.	23. XI.	31. XII.
Möderndorf . . . . .	. .	22. XII.	5. II.	14. XII.	5. I.	. .	19. I.	. .	16. I.	24. I.
Mellach . . . . .	. .	21. XII.	5. II.	12. XII.	3. I.	. .	13. XII.	. .	23. I.	24. I.

	1896/7	1897/8	1898/9	$\frac{1899}{1900}$	1900/1	1901/2	1902/3	1903/4	1904/5	1905/6
Vorderberg	29. I.	20. XII.	5. II.	12. XII.	3. I.	. .	13. XII.	26. I.	2. I.	24. I.
Nötsch	29. I.	19. XII.	5. II.	12. XII.	3. I.	. .	9. XII.	25. I.	23. XII.	1. I.
Arnoldstein . . . . .	. .	22. XII.	5. II.	23. XII.	14. I.	. .	19. I.	. .	16. I.	24. I.
Federaun . . . . .	. .	21. XII.	5. II.	12. XII.	3. I.	. .	14. XII.	. .	. .	. .
Maria Gail . . . . .	. .	14. XII.	5. II.	11. XII.	3. I.	. .	13. XII.	. .	16. I.	2. I.
Wernberg	30. XII.	19. XII.	5. II.	9. XII.	2. I.	16. I.	13. XII.	9. I.	23. XII.	1. I.
Föderlach . . . . .	. .	19. XII.	26. XII.	6. XII.	19. XII.	16. I.	2. I.	9. I.	23. XII.	1. I.
Rosegg	18. XII.	19. XII.	27. XII.	10. XII.	3. I.	. .	14. XII.	9. I.	23. XII.	1. I.
Hollenburg	3. I.	16. XII.	25. XII.	11. XII.	3. I.	. .	13. XII.	25. I.	1. I.	1. I.
Annabrücke	18. XII.	15. XII.	26. XII.	12. XII.	3. I.	. .	14. XII.	26. I.	24. XII.	1. I.
Neubrücke	18. XII.	15. XII.	28. XII.	10. XII.	3. I.	. .	14. XII.	26. I.	2. I.	1. I.
Völkermarkt	18. XII.	2. XII.	5. II.	10. XII.	2. I.	16. I.	14. XII.	26. I.	29. XII.	1. I.
Lippitzbach	6. I.	15. XII.	27. XII.	9. XII.	1. I.	. .	14. XII.	26. I.	29. XII.	1. I.
Lavamünd a. d. D.	6. I.	1. I.	28. XII.	10. XII.	3. I.	. .	15. XII.	27. I.	29. XII.	1. I.
Wolfsberg	1. XII.	1. XII.	22. XII.	3. XII.	9. XII.	28. XI.	19. XII.	. .	22. XII.	21. XII.
Krottendorf	1. XII.	1. I.	22. XII.	12. XII.	16. XII.	10. XII.	10. XII.	. .	1. I.	13. XII.
Unterdrauburg	18. XII.	1. XII.	27. XII.	6. XII.	2. I.	. .	15. XII.	27. I.	1. I.	1. I.
Saldenhofen . . . . .	. .	15. XII.	27. XII.	19. XII.	13. XII.	. .	18. I.	27. I.	29. XII.	2. I.
St. Lorenzen . . . . .	. .	22. XII.	27. XII.	20. XII.	3. I.	. .	15. XII.	27. I.	28. XII.	B. f.
Marburg	1. II.	4. XII.	27. XII.	9. XII.	2. I.	. .	13. XII.	28. I.	28. XII.	2. I.
Pettau	27. I.	20. XII.	27. XII.	29. XII.	20. II.	. .	20. I.	28. I.	28. XII.	2. I.
Ankenstein	1. XII.	21. XII.	27. XII.	8. XII.	10. I.	. .	24. XI.	28. I.	28. XII.	2. I.
Friedau	26. I.	22. XII.	27. XII.	8. XII.	1. I.	. .	24. XI.	12. I.	28. XII.	2. I.

B. f. = Beobachtungen fehlen.

Letzter Termin des Treibeises.

	1896/7	1897/8	1898/9	$\frac{1899}{1900}$	1900/1	1901/2	1902/3	1903/4	1904/5	1905/6
Sillian . . . . .	. .	27. XII.	. .	. .	. .	. .	26. I.	27. I.	21. I.	12. II.
Tassenbach . . . . .	. .	. .	31. XII.	24. XII.	23. II.	. .	21. I.	21. II.	. .	. .
Brugger-Häuser . . . . .	. .	. .	. .	22. XII.	11. I.	6. II.	24. I.	. .	17. I.	. .
Thal . . . . .	. .	. .	. .	23. XII.	15. II.	6. II.	23. I.	. .	14. II.	. .
Lienz	29. XII.	. .	26. III.	26. XII.	16. II.	15. I.	20. I.	28. II.	12. I.	28. I.
St. Johann i. V.	31. I.	. .	26. III.	21. II.	24. III.	23. II.	16. II.	. .	. .	19. I.
Lienz	1. II.	22. I.	23. III.	23. III.	5. III.	26. II.	6. II.	8. II.	29. I.	25. I.
Lavant . . . . .	. .	. .	28. III.	4. III.	23. II.	26. II.	18. II.	28. II.	12. II.	. .
Nikolsdorf	9. I.	24. I.	26. III.	15. III.	30. III.	21. III.	19. II.	27. II.	16. II.	. .
Oberpirkach	31. XII.	4. III.	26. III.	10. III.	30. III.	13. III.	20. II.	27. II.	30. XI.	13. II.
Oberdrauburg . . . . .	. .	. .	. .	. .	31. I.	. .	31. I.	. .	24. I.	28. I.
Dellach	31. I.	27. I.	26. III.	1. II.	23. II.	. .	18. II.	28. I.	14. II.	12. II.
Altenmarkt	30. I.	11. II.	26. III.	22. I.	24. II.	16. I.	18. II.	29. I.	14. II.	12. II.
Bruggen	1. II.	23. I.	26. III.	22. I.	28. II.	. .	18. II.	29. I.	14. II.	13. II.
Steinfeld	1. II.	11. II.	26. III.	21. I.	28. II.	16. I.	18. II.	29. I.	15. II.	12. II.
Kleblach	31. I.	13. II.	. .	16. I.	24. II.	12. I.	11. II.	29. I.	13. II.	11. II.
Sachsenburg	31. I.	7. II.	27. II.	17. I.	15. II.	16. I.	8. II.	29. I.	15. II.	11. II.
Obervellach	1. II.	14. II.	26. III.	10. III.	30. III.	13. III.	7. II.	2. I.	15. II.	12. II.
Kolbnitz	30. I.	27. I.	8. III.	1. II.	23. II.	2. I.	31. I.	B. f.	14. II.	12. II.
Möllbrücke	30. I.	9. II.	26. III.	7. III.	30. III.	6. II.	18. II.	31. I.	15. II.	25. II.
Schwaig	31. I.	29. I.	26. III.	22. I.	9. II.	16. I.	17. II.	29. I.	14. II.	14. II.
Gmünd a. L.	31. I.	4. III.	22. III.	21. I.	31. III.	15. III.	25. I.	29. II.	11. II.	14. II.

	1896/7	1897/8	1898/9	$\frac{1899}{1900}$	1900/1	1901/2	1902/3	1903/4	1904/5	1905/6
Mauthbrücken	31. I.	24. II.	8. II.	22. I.	14. II.	16. I.	10. II.	31. ?	15. II.	12. II.
Feistritz	2. II.	11. II.	7. II.	1. II.	28. II.	3. II.	31. II.	31. I.	15. II.	12. II.
Villach	1. II.	16. II.	9. I.	23. I.	27. II.	13. I.	8. II.	29. I.	15. II.	12. II.
Mauthen	29. I.	29. I.	26. III.	8. III.	17. II.	4. II.	13. II.	3. II.	24. II.	14. II.
Dellach	23. II.	26. III.	27. III.	31. III.	4. I.	14. III.	2. II.	22. II.	29. II.	10. III.
Möderndorf . . . . .	. .	29. XII.	5. II.	23. XII.	24. II.	. .	23. I.	. .	14. II.	11. II.
Mellach . . . . .	. .	20. I.	6. II.	24. XII.	25. II.	. .	23. I.	. .	14. II.	11. II.
Vorderberg	1. II.	10. II.	6. II.	26. XII.	25. II.	. .	25. I.	28. I.	14. II.	11. II.
Nötsch	30. I.	8. II.	6. II.	16. I.	1. III.	. .	7. II.	29. I.	15. II.	12. II.
Arnoldstein . . . . .	. .	11. II.	5. II.	24. XII.	18. II.	. .	23. I.	. .	10. II.	25. I.
Federau . . . . .	. .	11. II.	6. II.	25. XII.	26. II.	. .	26. I.	. .	. .	. .
Maria Gail . . . . .	. .	11. II.	7. II.	25. XII.	27. II.	. .	24. I.	. .	15. II.	11. II.
Wernberg	1. II.	11. II.	6. II.	17. I.	28. II.	16. I.	8. II.	29. I.	15. II.	12. II.
Föderlach . . . . .	. .	11. II.	27. II.	18. I.	26. II.	3. II.	8. II.	29. I.	15. II.	12. II.
Rosegg	1. II.	11. II.	6. II.	17. I.	28. II.	. .	8. II.	29. I.	15. II.	12. II.
Hollenburg	31. I.	13. II.	7. II.	26. XII.	28. II.	. .	31. I.	29. I.	14. II.	12. II.
Annabrücke	1. II.	13. II.	7. II.	17. I.	28. II.	. .	10. II.	3. II.	14. II.	12. II.
Neubücke	31. I.	13. II.	5. II.	17. I.	28. II.	. .	27. I.	30. I.	15. II.	11. II.
Völkermarkt	2. II.	13. II.	7. II.	17. I.	28. II.	16. I.	8. II.	31. I.	15. II.	12. II.
Lippitzbach	31. I.	15. II.	7. II.	24. XII.	28. II.	. .	7. II.	31. I.	15. II.	12. II.
Lavamünd a. D.	2. II.	25. I.	7. II.	31. XII.	4. III.	. .	11. II.	1. II.	14. II.	12. II.
Wolfsberg	14. II.	22. II.	27. III.	31. XII.	30. III.	15. III.	18. II.	. .	15. II.	12. II.
Lavamünd a. L.	2. II.	24. II.	27. III.	5. III.	26. II.	7. II.	4. II.	. .	13. II.	26. I.
Unterdrauburg	1. II.	13. II.	7. II.	29. XII.	5. I.	. .	31. I.	31. I.	25. I.	12. II.
Saldenhofen	1. II.	13. II.	7. II.	16. I.	27. III.	. .	8. II.	31. I.	16. II.	31. I.
St. Lorenzen . . . . .	. .	18. II.	7. II.	28. XII.	15. II.	. .	4. II.	31. I.	15. II.	12. II.

	1896/7	1897/8	1898/9	$\frac{1899}{1900}$	1900/1	1901/2	1902/3	1903/4	1904/5	1905/6
Marburg	1. II.	30. I.	28. XII.	17. I.	28. II.		8. II.	31. I.	17. II.	12. II.
Pettau	31. I.	20. XII.	28. XII.	2. I.	27. II.		3. II.	31. I.	15. II.	12. II.
Ankenstein.	31. I.	15. II.	7. II.	17. I.	2. II.		1. II.	31. I.	15. II.	12. II.
Friedau.	31. I.	12. II.	7. II.	16. I.	26. II.		31. I.	12. I.	14. II.	12. II.

4. Tabelle.

Dauer des Treibeises in Tagen.

	1896/7	1897/8	1898/9	$\frac{1899}{1900}$	1900/1	1901/2	1902/3	1903/4	1904/5	1905/6
Sillian . . . . .	. .	1	. .	. .	. .	. .	21	4	13	11
Tassenbach . . . . .	. .	. .	7	8	18	. .	11	2	. .	. .
Brugger-Häuser . . . . .	. .	. .	. .	9	1	1	11	. .	3	. .
Thal . . . . .	. .	. .	. .	7	4	1	10	. .	5	. .
Lienz	3	. .	5	9	5	1	8	2	5	10
St. Johann i. V.	10	. .	19	36	53	9	30	. .	. .	5
Lienz a. I.	12	8	17	20	30	11	33	19	12	27
Lavant . . . . .	. .	. .	25	42	49	17	36	13	26	16
Nikolsdorf	38	33	24	44	73	28	49	22	34	14
Oberpirkach	5	33	26	36	70	20	55	33	12	34
Oberdrauburg . . . . .	. .	. .	. .	. .	31	. .	14	. .	7	21
Dellach	14	24	13	10	35	. .	15	5	14	7

	1896/7	1897/8	1898/9	$\frac{1899}{1900}$	1900/1	1901/2	1902/3	1903/4	1904/5	1905/6
Altenmarkt	3	30	10	17	30	1	19	6	12	12
Bruggen	17	27	7	10	40	.	22	6	35	19
Steinfeld	15	37	5	12	43	4	30	8	22	20
Kleblach	15	35	.	18	29	4	27	7	26	27
Sachsenburg	15	27	7	16	47	4	30	7	27	19
Obervellach	17	33	15	28	59	21	34	3	29	22
Kolbnitz	6	13	12	16	28	5	23	9	17	11
Möllbrücke	16	31	7	30	39	6	29	16	30	16
Schwaig	23	38	13	22	33	9	20	7	15	16
Gmund a. L.	12	30	25	2	26	24	18	20	18	46
Mauthbrücken	13	23	11	10	14	7	24	6	27	15
Feistritz	14	37	12	12	31	9	33	13	35	24
Villach	16	44	7	21	65	6	33	10	37	24
Mauthen	6	14	7	14	23	6	19	1	13	15
Dellach	36	2	45	60	28	40	52	32	53	35
Möderndorf . . . . .	.	8	1	2	15	.	5	.	3	3
Mellach . . . . .	.	13	2	2	20	.	8	.	4	2
Vorderberg	3	22	2	8	13	.	13	3	8	5
Nötsch	2	13	2	4	8	.	18	5	13	14
Arnoldstein . . . . .	.	6	1	2	10	.	5	.	7	2
Federau . . . . .	.	22	2	7	23	.	13	.	.	.
Marie Gail . . . . .	.	26	3	7	30	.	22	.	9	9
Wernberg	11	24	2	18	39	1	22	7	24	22
Föderlach . . . . .	.	23	8	17	40	2	20	8	27	20
Rosegg	12	25	4	15	35	.	24	5	24	21
Hollenburg	11	28	7	11	40	.	18	5	20	19

	1896/7	1897/8	1898/9	$\frac{1899}{1900}$	1900/1	1901/2	1902/3	1903/4	1904/5	1905/6
Annabrücke	10	29	6	11	42	. .	27	9	35	20
Neubrücke	10	28	4	14	37	. .	20	5	27	17
Völkermarkt	13	36	3	18	33	1	23	6	31	25
Lippitzbach	8	26	6	12	31	. .	19	6	30	25
Lavamünd a. D.	10	16	4	20	55	. .	34	6	28	21
Wolfsberg	17	34	25	34	30	17	27	. .	32	29
Lavamünd a. L.	13	6	8	23	54	5	26	. .	27	10
Unterdrauburg	11	34	5	20	57		24	5	10	18
Saldenhofen	9	31	6	10	51		22	4	33	15
St. Lorenzen . . . . .	. .	29	4	9	18		11	4	31	. .
Marburg	1	26	2	22	58		26	4	29	19
Pettau	5	1	2	5	8		15	4	28	12
Andenstein	8	4	4	23	24		11	4	28	11
Friedau	6	26	3	21	41		31	1	29	16

5. Tabelle.

Zahl und Dauer der Eisstöße.

	1896/7	1897/8	1898/9	$\frac{1899}{1900}$	1900/1	1901/2	1902/3	1903/4	1904/5	1905/6
Innichen	II, 8	. .	. .	. .		. .		II, 2	. .
Sillian		I, 1		. .	I, 1
Tassenbach		I, 1		. .	. .
Brugger-Häuser	I, 2	. .	. .	. .		I, 1		. .	. .
St. Johann i. V.	I, 1	III, 3	. .		II, 2		. .	. .
Lienz	I, 1	. .	I, 2	I, 1		. .		. .	. .
Lavant		II, 2		. .	. .
Oberpirkach	I, 1	III, 4	V, 9	II, 3		. .		. .	. .
Oberdrauburg	I, 1	. .	I, 1	. .		. .		. .	. .
Dellach	I, 1	. .		. .		. .	. .
Altenmarkt	I, 1	. .	. .	I, 1		. .		. .	. .
Bruggen	I, 1	. .	. .	. .		. .		. .	. .
Steinfeld	I, 1	. .	. .	. .		. .		. .	. .
Sachsenburg	I, 2	. .	. .	I, 1		. .		. .	. .
Obervellach	II, 2	. .	I, 1	I, 1		I, 1		I, 1	. .
Kolbnitz	I, 1	. .	. .	. .		. .		. .	. .
Möllbrücke	I, 1	. .	. .	I, 3		. .		. .	. .
Schwaig	I, 2	I, 1		I, 1		III, 3	. .
Gmünd a. L.	I, 1	. .	. .	. .		. .		. .	. .
Spittal	II, 2	. .	. .	. .		I, 1		. .	. .
Mauthbrücken	I, 4	III, 20	I, 2	V, 27	. .		I, 1		. .	. .
Feistritz	I, 9	. .	I, 18	I, 1		. .		. .	. .
Mauthen	I, 1	II, 14	. .	. .	III, 3		I, 1		II, 2	. .

	1896/7	1897/8	1898/9	$\frac{1899}{1900}$	1900/1	1901/2	1902/3	1903/4	1904/5	1905/6
Dellach a. G.	II, 2	.	.	II, 3	I, 1	II, 2	V, 5	.	IV, 7	I, 1
Möderndorf	I, 2	.	.	.	.	.	.
Mellach	II, 5	.	.	.	.	.	.
Nötsch	I, 11	.	I, 16	.	I, 4	.	.	.	.
Wernberg	I, 1	.	.	I, 1
Föderlach	III, 10	.	III, 8	.	.	.	.	.	.
Rosegg	I, 9	.	.	.	.	.	.
Hollenburg	I, 2	.	I, 4	I, 2	.	.	.	.	.
Annabrücke	I, 1	.	.	I, 5	.	.
Neubücke	I, 2	.	.	.	.	.	.	.	.
Völkermarkt	I, 2	.	.	.	.	.	.	I, 1	I, 2
Lippitzbach	II, 4	.	.	II, 3	.	.	.	.	.
Lavamünd a. D.	I, 1	.	.	.	.	.	.
Wolfsberg	I, 1	.	I, 1	.	I, 1	II, 2	.	.	.
Lavamünd a. S.	II, 3	I, 1	.	II, 9	.	.	.
Unterdrauburg	I, 3	.	I, 1	II, 2	.	IV, 4	.	.	.
Saldenhofen	I, 2	.	IV, 7	.	.	.	.	.	.
St. Lorenzen	II, 4	.	I, 7	II, 24	.	.	.	.	.
Marburg	I, 4	.	.	.	.	.	.
Pettau
Ankenstein	I, 1	.	.	I, 4	.	.	.
Friedau	I, 3	.	.	.	.	.	.

Die römische Zahl zeigt die Zahl, die arabische die Dauer der Eisstöße an.

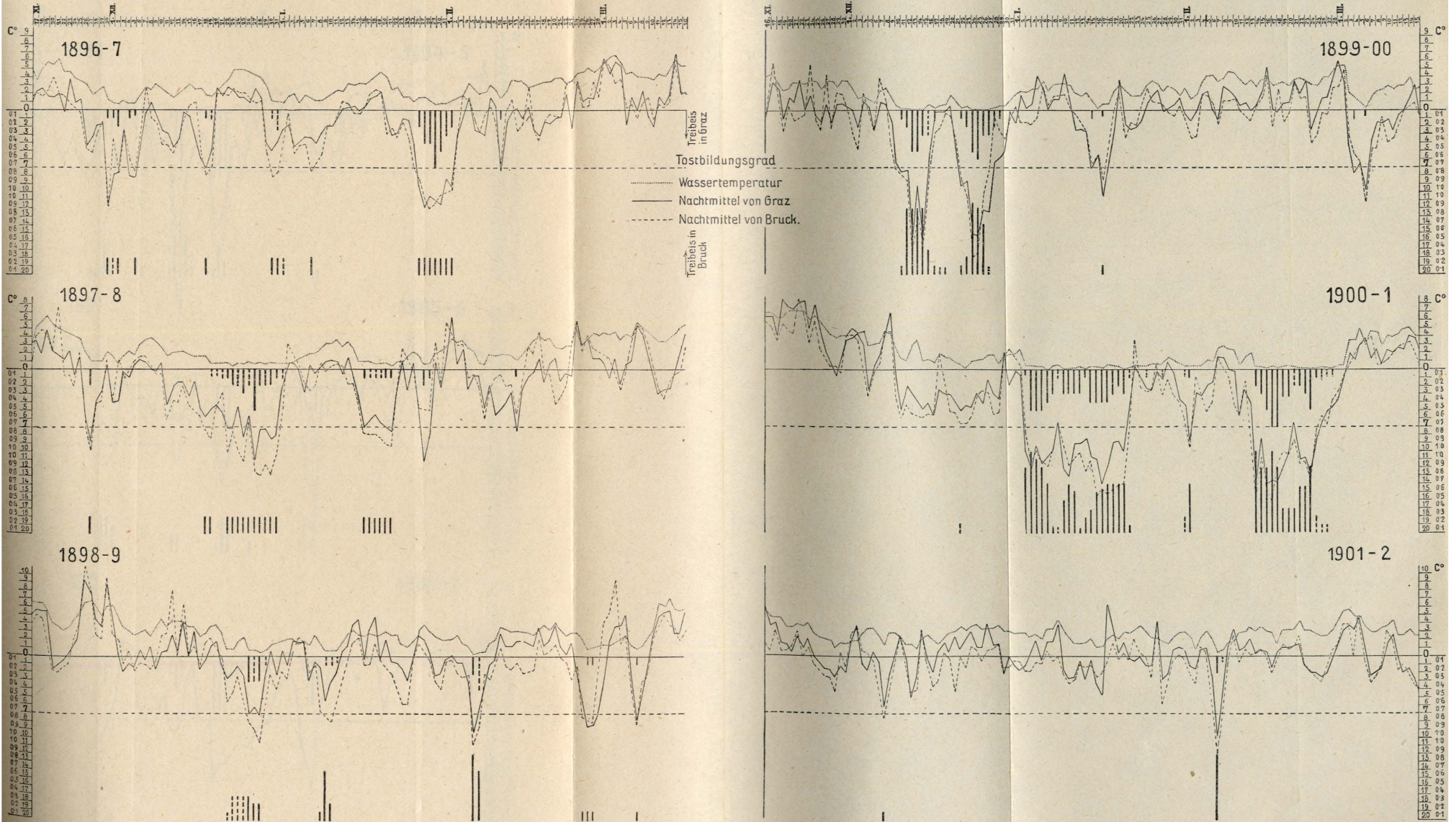
Erläuterungen zur graphischen Darstellung.

Dieselbe bringt die Eisverhältnisse der Mur in den Orten Graz und Bruck während der Jahre 1896/7—1905/6 und die der Drau in Villach während der Jahre 1904/5—1905/6 zur Darstellung; sie beweist, daß der Tostbildungsprozeß an den Tostbildungsgrad gebunden ist.

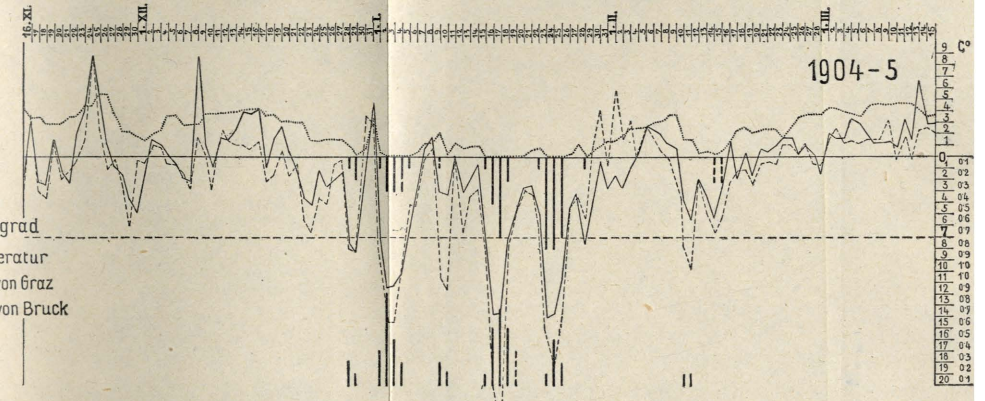
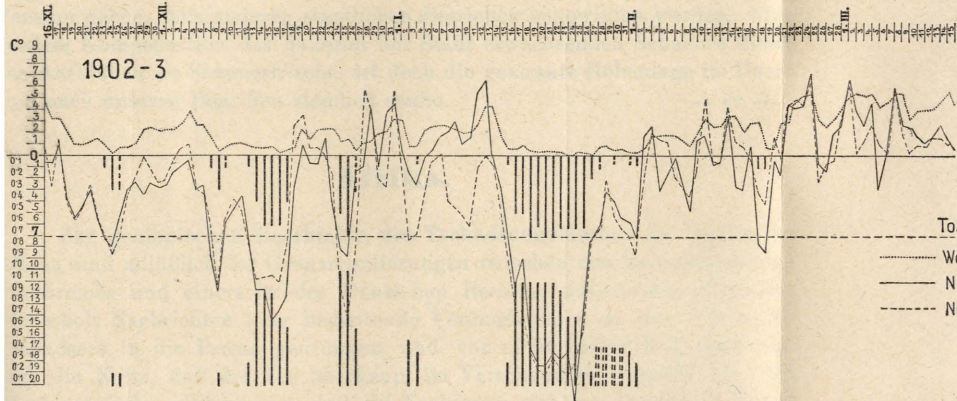
Auf der Abszisse ist die Zeit, auf der Ordinate die Luft- und Wassertemperatur wie die Eismenge in Zehntel der Strombreite dargestellt. Die Linie ——— gibt die Nachttemperatur von Graz, die Linie - - - - die von Bruck im Mittel wieder. Die —7° Linie (— - - -) bezeichnet den Tostbildungsgrad, der für beide Orte derselbe ist. Die punktierte Linie gibt die Wassertemperatur der Mur in Graz von 7^h früh wieder. Das Treibeis von Graz geben die Striche von oben nach unten, das von Bruck die von unten nach oben an in Zehntel der Strombreite; in Bruck beginnen die Zehntelangaben erst von 1898/9. Die dicken Striche sprechen immer für Eisbildung, die Striche ∴ für Eisauftreten. Das Zeichen | zeigt an, daß Eis nach der Lufttemperatur zu erwarten war, das aber nicht gemeldet wurde; das kommt während des Jahrzehnt in Graz neunmal, in Bruck sechsmal vor. Die Erklärung dazu bieten die hohen Wassertemperaturen. Das Zeichen | bezeichnet treibendes Ufereis oder Abfließen des oberen Eises nach längeren Frostperioden. Das Zeichen || bezeichnet Eisstoß.

Ebenso liegen die Verhältnisse an der Drau bei Villach, die zum Beweise angeführt wurden, daß der Tostbildungsprozeß an der Drau derselben Gesetzmäßigkeit unterworfen ist wie an der Mur.

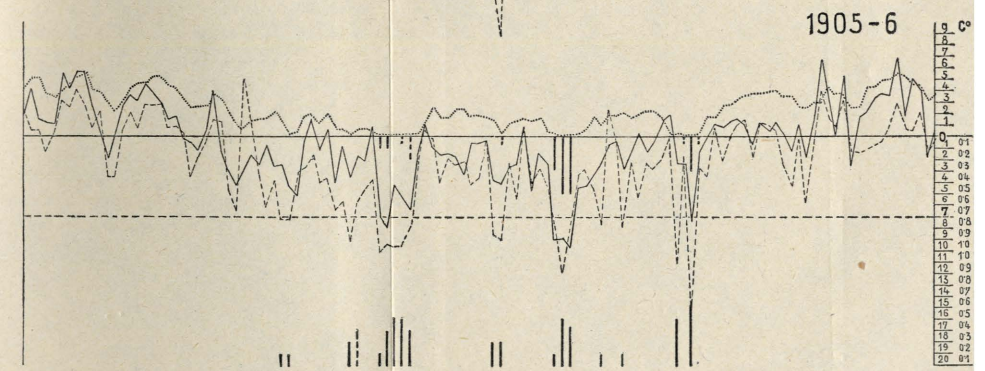
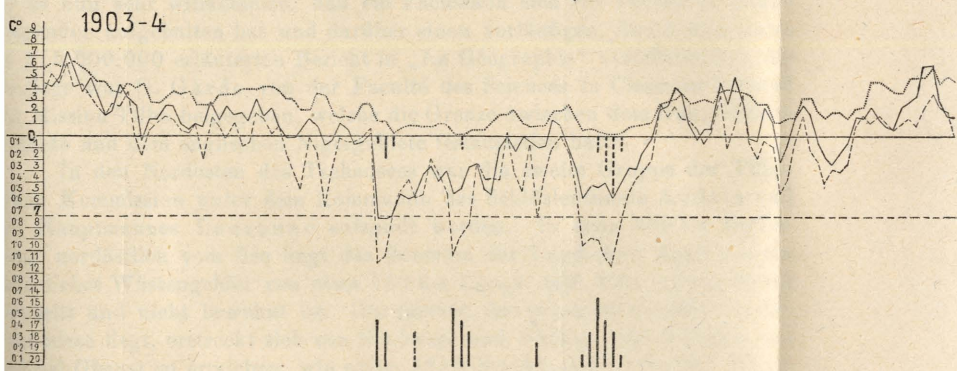
Die Eisverhältnisse der Mur.



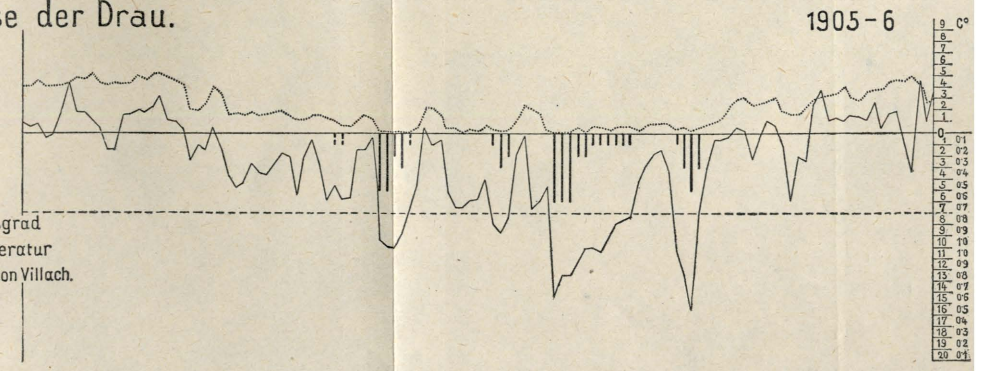
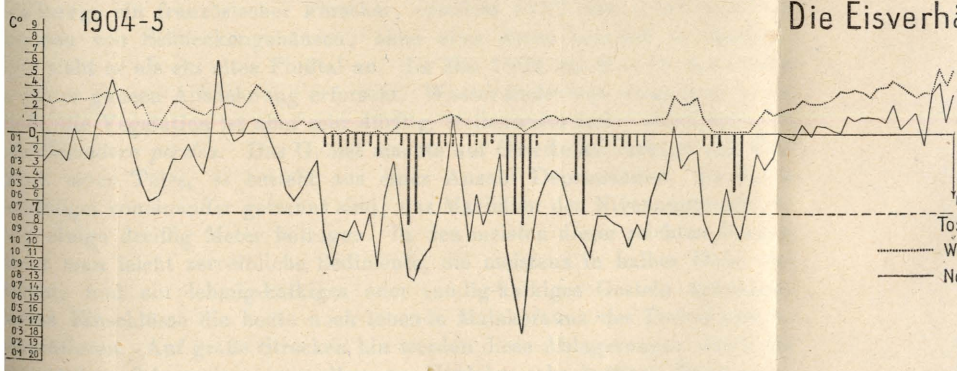
Die Eisverhältnisse der Mur.



Tostbildungsgrad
 — Wassertemperatur
 - - - - - Nachtmittel von Graz
 ······ Nachtmittel von Bruck



Die Eisverhältnisse der Drau.



Trostbildung in Villach
 Tostbildungsgrad
 — Wassertemperatur
 - - - - - Nachtmittel von Villach