

INTERNATIONALER STÄNDIGER VERBAND

DER

SCHIFFAHRTS-KONGRESSE

XI. Kongress - St.-Petersburg - 1908

I. Abteilung : Binnenschifffahrt

1. Frage

ANLAGE VON WEHREN IN FLÜSSEN

mit stark wechselnden Wasserständen und gegebenenfalls mit starker Eisführung, mit Berücksichtigung der Interessen der Schifffahrt und der Industrie.

BERICHT

VON

V. E. von TIMONOFF

Professor am Institut der Wegecommunicationen
in Sankt-Petersburg

UND

M. F. TSIONGLINSKY

Ingenieur der Wasserwegecommunicationen

NAVIGARE



NECESSE

BRÜSSEL

BUCHDRUCKEREI DER ÖFFENTLICHEN ARBEITEN (G. S. M. B. H.)

169, rue de Flandre, 169



W - 354 412

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000317116

Anlage von Wehren in Flüssen mit stark wechselnden Wasserständen und gegebenenfalls mit starker Eisführung, mit Berücksichtigung der Interessen der Schifffahrt und der Industrie.

I. — Einleitung.

Die Aufgabe in Flüssen mit stark wechselnden Wasserständen und heftigem Eisgang Wehre herzustellen, welche den Anforderungen von Schifffahrt und Industrie genügen, hat bedeutendes Interesse für Russland, welches eine grosse Anzahl von Flüssen besitzt, die der angeführten Charakteristik entsprechen. Dahin gehören Dnjepr, Düna, Wolchow, Swir, Narowa, Msta und andere. Diese Flüsse führen grosse Wassermengen und weisen in einigen Teilen ihres Laufes günstige Bedingungen zur Herstellung von Bauten auf, welche eine Ausnützung der Wasserkraft gestatten würden, durch welche aber Schifffahrt und Flösserei nicht beeinträchtigt, sondern im Gegenteil noch erleichtert werden können.

Grosse Schwankungen der in diesen Strömen pro Zeiteinheit durchfliessenden Wassermengen und die gewöhnlich sehr bedeutenden Ueberschwemmungen im Frühjahr schaffen leider ungünstige Verhältnisse für den Bau von Wehren zu industriellen Zwecken.

Diese Verhältnisse bilden natürlich keine ausschliessliche Besonderheit russischer Flüsse und sind öfters behandelt worden, so unter anderem auch in den Berichten der internationalen Schifffahrtskongresse. Das Programm des VII. Kongresses, welcher 1898 in Brüssel stattfand, enthielt die Frage über die Ausnützung der Wehrgefälle zu Kraftzwecken. In dieser Frage, die enger gestellt war als im Programm des XI. Kongresses, sind drei Berichte eingegangen: von F. Hirsch, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées zu Paris, E. D. Marten, Civilingenieur in London und von Roeder, geheimem Baurat in Potsdam.

Diese Berichterstatter kommen zu dem von uns angeführten Satze. So sagt H. Hirsch: « En ce qui concerne les rivières à barrages abattus, il ne semble guère possible, en général, d'uti-

liser économiquement pour la navigation la puissance résultant de la vitesse du courant, toutes réserves étant faites, d'ailleurs, pour certains cas exceptionnels. » H. Marten meint : « A cause de l'irrégularité dans le volume et dans la chute, l'on ne pourra faire que peu d'usage des barrages de navigation pour la production de force utile tant que nos connaissances dans l'art d'emmagasiner l'énergie n'auront pas été grandement développées. » Im Einklang mit diesen Aeusserungen des französischen und des englischen Forschers vom Jahre 1898 ist auch die später geäusserte Meinung des deutschen Spezialisten, H. Prüssmann, welcher sagt : « Die Ausnützung der Flusswasserkraft bei Hochwasser erscheint nach dem heutigen Stand der Apparate für Wasserkraftaufnahme nicht möglich. Die Fassbarkeit der Wasserkraft fällt bei Niederlegung des Wehres weg, und um die Kraft des dann im Flussbett sich bewegenden Hochwassers nutzbar zu machen, würde besonders grosse, in der Breite und Tiefe des Flusses auszudehnende Kraftaufnahmevorrichtungen voraussetzen, deren Anwendung wegen Freihaltung des Flussprofils und Vermeidung der gefährlichen Aufstauungen des Flusses als nicht zulässig zu erachten sind und bei der geringen Zeit ihres Betriebes keinesfalls wirtschaftlich sein könnten. » (1)

Die hohen Wasserstände im Frühjahr veranlassen jedoch nur eine zeitweilige Unterbrechung in der Arbeit des Wehres, welche natürlich vom ökonomischen Standpunkte ungünstig ist, aber bei gehöriger Einrichtung desselben können sie weder dem Bauwerk noch der Umgegend Gefahr bringen. Ein viel wichtigeres Hindernis bei der Verwirklichung der zu Industriezwecken geplanten Wehre an unseren grossen schiffbaren Flüssen bildet der Umstand, dass diese Flüsse für längere Zeit sich mit Eis bedecken, welches nicht nur bei seiner Bildung und beim Aufgehen des Flusses in Bewegung gerät, sondern in grösserem oder geringerem Masse auch innerhalb seines Monate dauernden Bestehens sich verschiebt.

Die bei Bildung der Eisdecke und bei ihren Bewegungen auf den Strömen beobachteten Erscheinungen sind so grossartig und dabei so unvermeidlich, dass sie beim Wehrbau durchaus berücksichtigt werden müssen.

Die Bildung grosser Massen von Eis an in Wasser einge-

(1) PRÜSSMANN, « Ausnützung der Wasserkräfte an den Wehren grösserer kanalisirter Flüsse ». (*Zeitschr. f. Binnenschifffahrt*, Heft 12, 1902).

tauchten Gegenständen, und an solchen, die sich auf dem Flussgrunde befinden, die in grosser Menge und auf langen Strecken stattfindende Ansammlung von aufgetauchtem Grundeis an den engeren Flusstheilen oder bei Verminderung des Gefälles der Wasseroberfläche müssen Berücksichtigung finden bei der Wahl der Bauweise von Wehren, besonders in Flüssen mit grosser Wasserführung, an welchen derartige Wehre, indem sie das Regime des Flusses verändern, nicht nur selbst durch die erwähnten Vorgänge beschädigt werden können, sondern auch deren Intensität bedeutend zu verstärken vermögen, und dadurch grosses Unheil für die Uferbewohner und die anliegenden Fabriken veranlassen können.

Indessen sind selbst die Erscheinungen der Bildung von Eis und seiner Bewegung, welche an Form und Intensität verschiedene, oft aber auch schreckliche Störungen im normalen Regime unserer Flüsse veranlassen, durchaus ungenügend untersucht worden, um daraufhin in jedem einzelnen Falle vollkommen klar die Ergebnisse des gegenseitigen Zusammenwirkens der Eismassen und des in Betracht kommenden Bauwerks, welches im Flussbett zwecks bedeutender und anhaltender Erhöhung des Wasserstandes hergestellt wird, vor auszusehen. Bis zur letzten Zeit beanspruchten diese Erscheinungen, solange die grossen schiffbaren Flüsse nur als Verkehrsweg galten, nur geringes Interesse und die Ingenieure wandten denselben, sowohl in Russland, als auch in anderen Ländern, nur wenig Beachtung zu. Als aber die Uebertragung der Energie auf Entfernungen mittels des electricischen Stroms die kulturelle Bedeutung der Flüsse durchaus veränderte, erhielt die Frage über Erscheinungen bei der Bildung von Eis, bei seiner Bewegung u. s. w. besonders wichtige praktische Bedeutung und wurde Gegenstand von, bisher zwar nicht zahlreichen, Untersuchungen (1).

(1) Unter Forschungen dieser Art sind ausser der in diesem Bericht beschriebenen zu erwähnen die Untersuchungen der Russischen Kaiserlichen Geographischen Gesellschaft betreffend die Bildung der festen Eisdecke auf den Binnengewässern Russlands, die Arbeit einer besonderen Commission, welche auf Veranlassung der St-Petersburger Stadtverwaltung zur Untersuchung des Grundeises im Ladogasee berufen wurde, die Beobachtungen des Gefrierens des Swirflusses von L. L. WLADIMIROFF u. a. Unter den ausländischen Arbeiten verdienen besondere Beachtung die Untersuchungen über das Gefrieren der Canadischen Flüsse von HOWARD T. BARNES. — *Ice formation with special reference to Anchor-Ice and Frazil*, New-York, 1903.

Davon ausgehend, dass die Beantwortung der Frage, welche unser Bericht zum Thema hat, vor Allem auf genauen faktischen Daten aufgebaut werden muss, die sich auf Erscheinungen bei der Bildung und Bewegung des Eises beziehen, und zwar unter Umständen, welche denjenigen möglichst gleich kommen, unter welchen die geplanten Stauwerke sich befinden werden, haben die Berichterstatter es für nützlich befunden zur Aufklärung dieser Frage unter den Verhältnissen des nördlichen Russlands kurze Angaben über die Resultate der in den Jahren 1902-1904 auf der Newa angestellten ausführlichen Untersuchung dieser Vorgänge zu bringen (2). Diese Untersuchung, vorgenommen zwecks Aufklärung der Ursachen der Eissperren auf der Newa und zur Ermittlung der Methode der Bekämpfung, als der erste Berichterstatter Direktor des St. Petersburger Kreises der Wegecommunicationen war, und ausgeführt unter dessen direkter Leitung vom zweiten Berichterstatter, giebt eine Reihe von Fingerzeigen, welche offenbar auch einige allgemeine Sätze zur Frage über Wehrbau an schiffbaren Flüssen mit starkem Eisgang aufzustellen gestatten.

II. — Charakteristik der Vorgänge bei Bildung der Eisdecke und bei Eisgang auf den Flüssen nach den Studien der Jahre 1902-1904.

Der Vergleich der Pegelnotirungen an der Newa bei der Landestelle Roshkowo (10 km oberhalb der Alexanderbrücke in St. Petersburg) und beim Dorfe Iwanowskoje (37 km oberhalb derselben Brücke) (1) zeigt, dass alljährlich während der Bildung einer festen Eisdecke im Herbste an diesen Stellen im Flusse eine mehr oder weniger bedeutende Erhöhung des Wasserstandes stattfindet, wobei in einzelnen Jahren der Wasserspiegel gleich nach dem Eisstande bis zum Mittelwasser sinkt, bisweilen aber das Hochwasser bis zum Frühjahrseisgange anhält. Offenbar ist diese Erhöhung durch Eissperren veranlasst, welche bei Bildung der Eisdecke entstanden sind.

(1) Ausführliche Beschreibung dieser Arbeiten siehe in den Berichten des Ingenieurs M. F. TSIONGLINSKI, veröffentlicht in dem *Sbornik Sanct-Peterburgskago Okruga Pute Soobscenija*. (Transcription der Russischen Eigennamen, die von der Kaiserlichen Russischen Akademie der Wissenschaften angenommen ist.)

(2) Die Uebersichtskarte der Newa und Plan von Sanct-Petersburg, mit Angabe aller Brücken, siehe im Bericht von V. E. VON TIMONOFF zum XI. Internationalen Congress, Section II, Frage 2 « Seebinnenhäfen ».

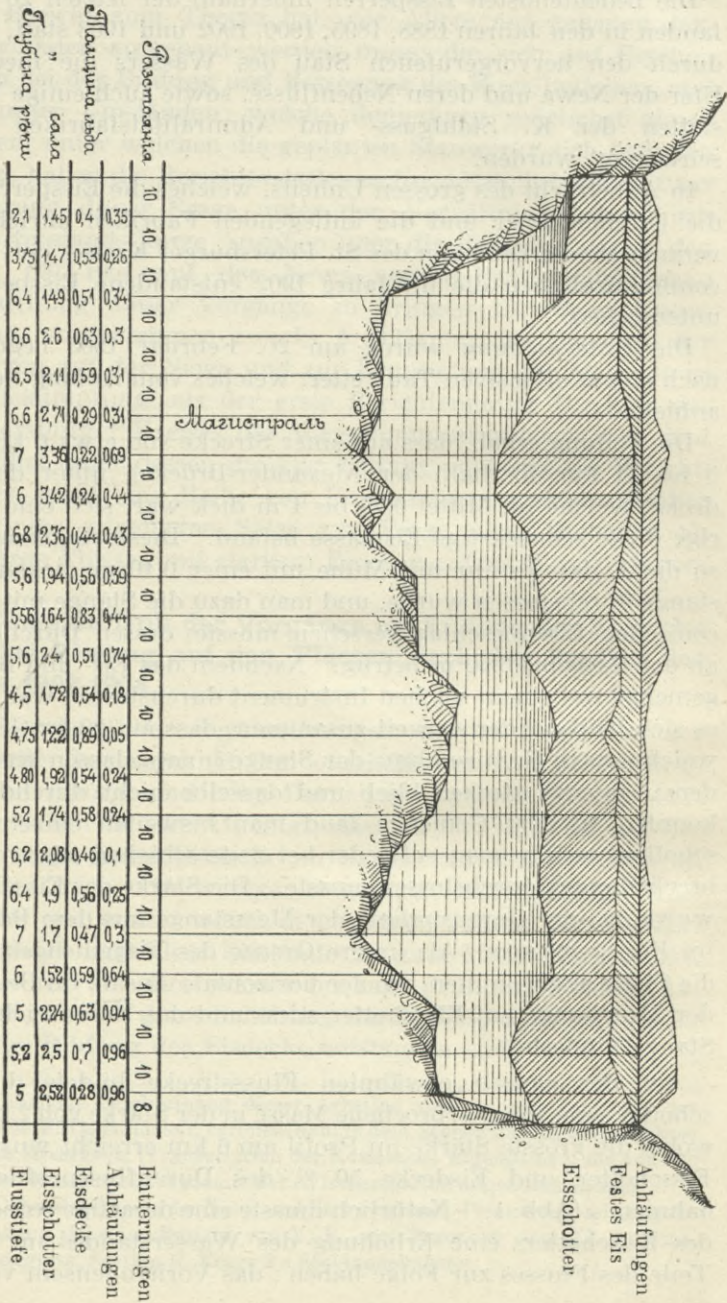
Die bedeutendsten Eissperren innerhalb der letzten 20 Jahre fanden in den Jahren 1888, 1895, 1900, 1902 und 1903 statt, wobei durch den hervorgerufenen Stau des Wassers die niedrigen Ufer der Newa und deren Nebenflüsse, sowie auch einige Werkstätten der K. Stahlguss- und Admiralitätsfabriken überschwemmt wurden.

In Anbetracht des grossen Unheils, welches die Eissperren für die Uferbewohner und die anliegenden Fabriken anrichteten, veranlasste die Direction des St. Petersburger Kreises der Wegecommunicationen die im Jahre 1902 entstandene Eissperre zu untersuchen.

Die Untersuchung wurde am 20. Februar 1903 begonnen, nach einem intensiven Tauwetter, welches vom Anfang Februar anhielt.

Die Peilung ergab, dass auf einer Strecke von etwa 6 km (von 5 bis 11 km oberhalb der Alexander-Brücke), unter der Eisdecke, welche im Mittel 0,75 bis 1 m dick war, sich eine klebrige dicke schneeartige Eismasse befand. Dieses Gemenge war so dicht, dass es nur mit Mühe mit einer 0,10 m dicken Holzstange durchstossen wurde, und man dazu die Stange mit einem conischen Eisenbeschlag versehen musste, dessen Durchmesser an der Basis bis 0,20 m betrug. Nachdem das Eis- und Schneegemenge mit einem solchen Instrument durchstossen war, schob es sich bald wieder so weit zusammen, dass ein 20 kg Gewicht, welches nach Herausnahme der Stange hinabgelassen wurde, in dem Gemenge stecken blieb und dasselbe nicht durchdringen konnte. In dem Gemenge fand man bisweilen einzelne Eisschollen, welche man entweder bei Seite schieben oder mit Eisbrechtstangen durchstossen musste. Die Stärke des Eisschotter wurde bei der Herausnahme der Messstange aus dem Peilloche im Eise gemessen. Als untere Grenze des Eisgemenges wurde die Stelle angenommen, wo der horizontale Ansatz im Beschlage der Messstange auf Eisschotter stiess und das Herausziehen der Stange hinderte.

Auf der ganzen erwähnten Flussstrecke bildete der Eisschotter eine ununterbrochene Masse in der Stärke von 2 bis 7 m, wobei die grösste Stärke im Profil am 6 km erreicht wurde, wo Eisschotter und Eisdecke 50 % des Durchflussprofils einnahmen. (Abb. 1.) Natürlich musste eine derartige Anhäufung des Eisschotter eine Erhöhung des Wasserstandes im oberen Teile des Flusses zur Folge haben; das Vorhandensein von Eis-



Анн. 1. — Querprofil der Newa, aufgenommen im Februar 1903.
(Sashenmass. — 1 Sashen = 2,13 m)

schotter erklärt auch den Umstand, dass das Wasser in der Newa oberhalb der Eissperre den ganzen Winter hindurch bis zum Eintritt des Frühjahrseisganges sich über Mittelwasser hielt.

Die Verteilung des Eisschotters auf der Newa, welcher bei der Februaruntersuchung vorgefunden wurde, ist im Längenprofil des Flusses (Abb. 2) dargestellt.

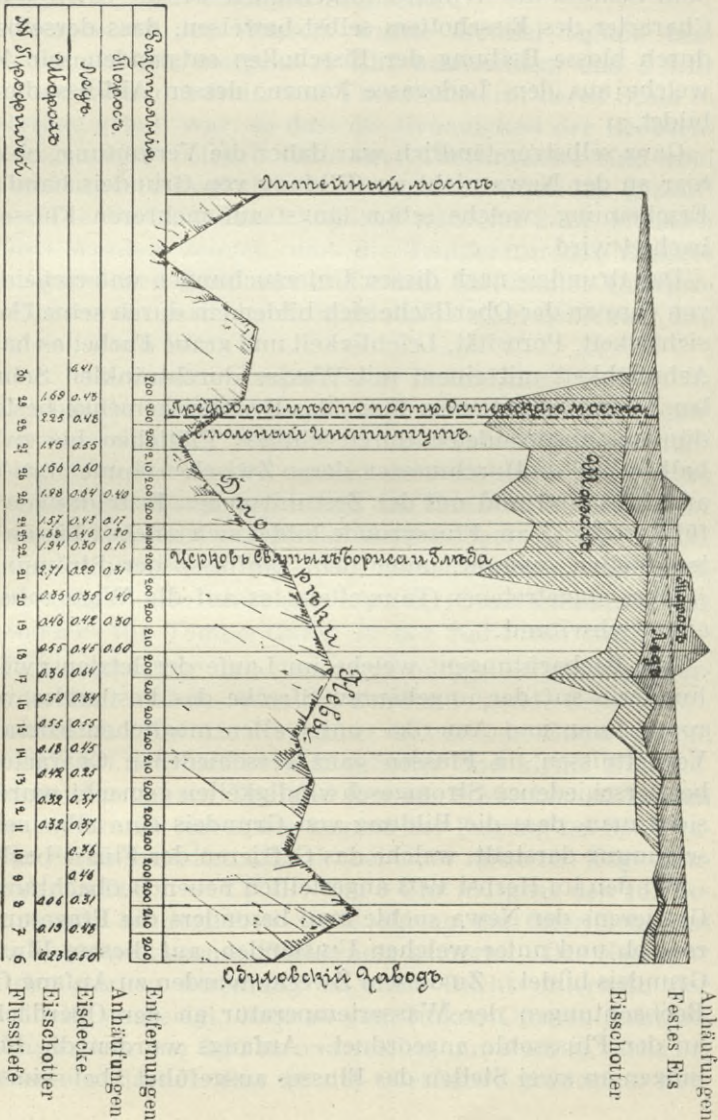


Abb. 2. — Längsprofil der Newa, von 0 bis 13 Kilometer, aufgenommen im Februar 1903.
(Sashenmass. — 1 sashen = 2,13 m

Weitere Untersuchungen wurden im Herbst 1903 angestellt. Die Beobachtungsergebnisse der Ansammlung von Eis sind in den Quer- und Längsprofilen eingetragen, und im Plan die Stärke des angesammelten Eisschotters durch Schichtenlinien dargestellt (Abb. 9, 10 Tafel II, Abb. 11).

Eine ungeheure Menge Eisschotter, welche unter der Eisdecke zum Schluss des Winters vorgefunden wurde, sowie auch der Character des Eisschotters selbst beweisen, dass derselbe nicht durch bloße Reibung der Eisschollen entstanden sein konnte, welche aus dem Ladogasee kamen, dessen Abfluss die Newa bildet.

Ganz selbstverständlich war daher die Vermutung, ob es sich hier an der Newa nicht um Bildung von Grundeis handle, eine Erscheinung, welche schon längst auf mehreren Flüssen beobachtet wird.

Das Grundeis nach diesen Untersuchungen unterscheidet sich von dem an der Oberfläche sich bildenden durch seine Undurchsichtigkeit, Porosität, Leichtigkeit und graue Farbe; es hat mehr Aehnlichkeit mit einem mit Wasser durchtränkten Schneeballen, als mit wirklichem Eise; das Grundeisgemenge besteht aus dünnen, abgerundeten durchsichtigen Plättchen bis zu einem halben Zoll im Durchmesser, deren Zwischenräume mit Wasser angefüllt sind und mit der Zeit mit neuen Eisbildungen ausgefüllt werden; am Flussgrunde bildet sich solches Eis an erhöhten Stellen, worauf, unter dem Einflusse der Strömung oder infolge eingetretenen Tauwetters, es auf die Wasseroberfläche emporschwimmt.

Aus Beobachtungen, welche im Laufe der letzten zwei Jahrhunderte auf der ungeheuren Strecke des Festlandes von Europa, Asien und Amerika, unter allen möglichen klimatischen Verhältnissen, in Flüssen ganz verschiedenen Characters und bei verschiedenen Stromgeschwindigkeiten gemacht wurden, ersieht man, dass die Bildung von Grundeis eine allgemeine Erscheinung darstellt, welche das Gefrieren der Flüsse begleitet.

Bei den im Herbst 1903 angestellten neuen Beobachtungen des Gefrierens der Newa suchte man besonders die Frage aufzuklären, ob und unter welchen Umständen, auf diesem Flusse sich Grundeis bildet. Zu diesem Zwecke wurden zu Anfang Oktober Beobachtungen der Wassertemperatur an der Oberfläche und an der Flusssohle angeordnet. Anfangs wurden die Beobachtungen an zwei Stellen des Flusses ausgeführt: bei seinem Aus-

fluss aus dem Ladogasee bei Schlüsselburg und im Weichbilde der Stadt St. Petersburg am 6 km oberhalb der Alexanderbrücke. Hierauf wurde vom 1. November an ein dritter Beobachtungspunkt an der Stromschnelle am 39 km eingerichtet. Zu gleicher Zeit mit der Temperaturmessung des Wassers wurden bei Schlüsselburg sowohl die Lufttemperatur, als auch sonstige meteorologische Erscheinungen beobachtet.

Die Temperatur des Wassers wurde dreimal täglich beobachtet : um 8 Uhr morgens, 1 Uhr nachmittags und 8 Uhr abends, und zwar mit Hülfe von Thermometern, deren Scala in Zehntelgrade geteilt war, so dass die Genauigkeit der Beobachtungen gegen $0,05^{\circ}$ beträgt. Alle drei Thermometer sind vom St. Petersburger Physikalischen Hauptobservatorium geprüft worden. Die Beobachtungen, welche während $2 \frac{1}{2}$ Monaten ausgeführt wurden, zeigten, dass die Temperatur des Wassers in einem gegebenen Zeitpunkt und einem bestimmten Querprofil des Flusses mit geringen Ausnahmen in allen Schichten desselben gleich gross ist.

In den beiliegenden graphischen Darstellungen (Abb. 3, Tafel I) sind die mittleren Tagestemperaturen (durch 24 Stunden) der Luft und des Wassers für die ganze Beobachtungsdauer angegeben. Aus den graphischen Darstellungen ist zu ersehen, dass auf der ganzen Länge des Flusses die Temperatur des Wassers in jedem gegebenen Moment fast die gleiche ist, wobei der Unterschied der Thermometerangaben an allen 3 Beobachtungsstellen innerhalb etwa $0,1$ Grad schwankt ; das gilt besonders für Temperaturen in der Nähe von Null.

Im Zusammenhange mit den dargestellten Temperaturänderungen der Luft und des Wassers wurden folgende Erscheinungen beobachtet. Am 15. November bei stillem Südwestwind zeigten sich bei Schlüsselburg Eisschotter und kleine Eisschollen, welche den ganzen Tag und den 16. November zu treiben fortführen. Am 15. November begann der Eisgang bei den Iwanowschen Stromschnellen (39 km) bei einer mittleren Tagestemperatur der Luft von $-4,2^{\circ}$ C. Um 8 Uhr morgens den 16. November wurde an derselben Stelle ein an die Oberfläche des Wassers emporgestiegenes Fischernetz bemerkt. Das Netz war abseits der starken Strömung in einer Bucht unterhalb der Stromschnelle ausgelegt, 70-80 m vom linken Ufer entfernt bei einer Wassertiefe von 5,50 m und reichte um $1 \frac{1}{2}$ m nicht bis zur Wasseroberfläche. Das an die Oberfläche gestiegene Netz

war einigemal gefaltet, und das ganze Gewebe war von kleinen, dünnen Eisplatten durchdrungen und umgeben. Dieses im Wasser gebildete Eis hatte die Gestalt dünner, durchsichtiger Platten, in einer scheinbar ungeordneten Lage; beim Herausnehmen aus dem Wasser erstarrte es, nahm eine weissliche Farbe an und hatte das Aussehen einer lockeren Masse.

Am 22. November am Tage wurde der an dem 6 km versenkte Korb bei einer Tiefe von 3 m aus dem Wasser gezogen, wobei sich erwies, dass sowohl der Strick, an welchem der Korb befes-



ABB. 4. — Ein bei 3 m Tiefe in Wasser hinabgelassener Korb mit durchsichtigen Eisplättchen bedeckt.

tigt war, sowie der Korb selbst mit Eiskristallen bedeckt waren. Diese Kristalle waren ganz durchsichtig, so dass der Korb, solange er noch im Wasser sich befand, vollkommen frei von Eis zu sein schien. Das Eis, welches den Korb und den Strick umgab, bestand aus abgesonderten Gruppen von zahlreichen Plättchen, dick wie Papyrospapier und im Durchmesser etwa 0,04 m im Mittel. Die Plättchen bildeten miteinander rechte Winkel. Stellenweise wurde eine einzelne Platte grösseren Durchmessers bemerkt, welche sich in der Normalfläche zur Stricklinie befand und deren Centrum der Strick bildete (Abb. 4).

Am 29. November fand man, dass der Korb, welcher an derselben Stelle auf eine grössere Tiefe versenkt war, zusammen mit dem darangebundenen Steine an die Oberfläche des Wassers gestiegen war, wobei das ganze Seil 50 m Länge in der Wasseroberfläche ausgestreckt lag und einen schiefen Winkel mit der Richtung der Strömung bildete; das Seil auf der Wasseroberfläche glich einem Steg aus Eis. Beim Herausziehen aus dem Wasser erwies sich, dass das Seil in seiner ganzen Länge mit Eiskristallen besetzt war und wie ein Damenboa aussah. Die Kristalle

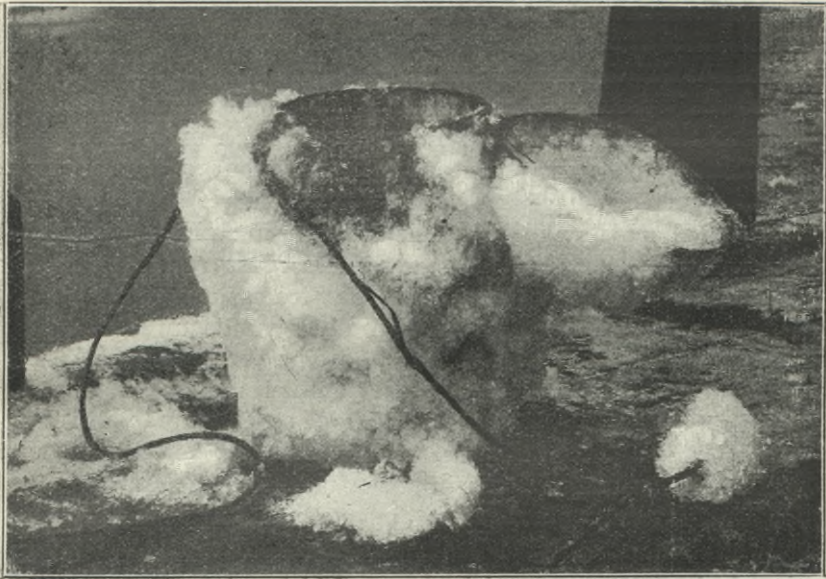


ABB. 4'. — Ein vom Grunde an die Oberfläche des Wassers aufgeschwommener Korb mit Grundeis bedeckt.

hatten denselben Bau wie auch beim ersten Korb, nur waren sie kleiner und erschienen auf den ersten Blick als eine schneeige Masse (Abb. 4'). Mit Kristallen desselben Aussehens war auch der ganze Korb besetzt, wobei eine Menge Grundeis sich auch im Inneren des Korbes vorfand. In beiliegender Photographie ist eine Ansicht des Korbes und des Seiles gleich nach Herausnahme aus dem Wasser dargestellt. Auf dem Bilde erscheint ein Teil des Seiles eisfrei. Solches erklärt sich dadurch, dass das Grundeis sehr locker ist, nicht fest an dem

von ihm umgebenen Gegenstände haftet und bei der leisesten Erschütterung vollständig abfällt, ohne auf dem Gegenstände irgend welche Spuren von sich zu hinterlassen. Die Grundeismasse ist so stark mit Wasser durchzogen, dass nach dem Herausheben an die Luft, trotz der niedrigen Temperatur der letzteren, reichlich Wasser herausfloss, wobei eine Volumverminderung des Eises nicht bemerkt wurde. Nach einigen Minuten war die Eismasse am Korbe und am Seile erstarrt, ohne ihr äusseres Ansehen verändert zu haben.

Beim Ankerstein, an welchem der Korb angehängt war, bemerkte man auch durchsichtige Grundeisplättchen, aber in verhältnismässig geringer Menge.

Dieselbe Art des Auftauchens von Gegenständen an der Oberfläche des Wassers, welche auf den Flussgrund versenkt waren, beobachtete man beim Eintritt der Fröste auch in dem Stromschnellen (am 39 km) ebenso bei Schlüsselburg. Ausser den oben beschriebenen künstlich hervorgerufenen Fällen der Bildung von Grundeis wurden zu gleicher Zeit auch Erscheinungen seines unmittelbaren Entstehens auf dem Flussgrunde beobachtet. Am 22. November wurde bei den Stromschnellen sehr viel Grundeis beobachtet, welches vom Flussgrunde an die Oberfläche des Wassers gehoben war und eine grosse Menge Wasserpflanzen und Gras vom Grunde enthielt; dieses Eis hatte genau denselben Character, wie dasjenige an dem aufgeschwommenen Netze und an den anderen auf den Boden versenkten Gegenständen. Ausser Wasserpflanzen und Gras befand sich in den Eisklumpen, welche oft 0,65 m im Durchmesser erreichten, viel Sand, Kies, einzelne Lehmstücke, etwa 0,04 m im Durchmesser, und auch Steine, welche bis 0,75 kg schwer waren. Das aufgeschwommene Eis erwies sich genau derselben Art, wie das in den versenkten Körben gebildete: einzelne Klumpen bestanden aus verhältnismässig grossen, vollkommen durchsichtigen Plättchen, welche zu einander unter rechtem Winkel gelagert waren, — solche Klumpen zeigten eine ziemlich starre Verbindung der Platten; andere hochgeschwommene Klumpen bildeten eine sehr lockere, vom Wasser durchtränkte, schneeartige Masse.

Aus dem Wasser emporgetauchte Stücke Grundeis sind in beiliegender Photographie dargestellt (Abb. 5); auf diesem Bilde sieht man auch durch das Eis vom Grunde mitgehobene kleine Steinchen und Wasserpflanzen.

Am 30. November gegen Abend kam das Eis auf der Newa an der Alexanderbrücke zum Stehen und zu 3 Uhr Nachmittags am 2. December reichte der Eisstand bis zur Mündung der Slawjanka, so dass von dieser Zeit an die Bildung von Grundeis nur noch in den Iwanowschnellen (39 km) beobachtet werden konnte. Die Beobachtungen wurden dadurch erleichtert, dass zum 2. December der Eisgang vom Ladogasee aus vollständig aufhörte und oberhalb der Iwanow-Schnellen, auf dem 51. Kilometer oberhalb der Alexanderbrücke sich eine feste Eisdecke

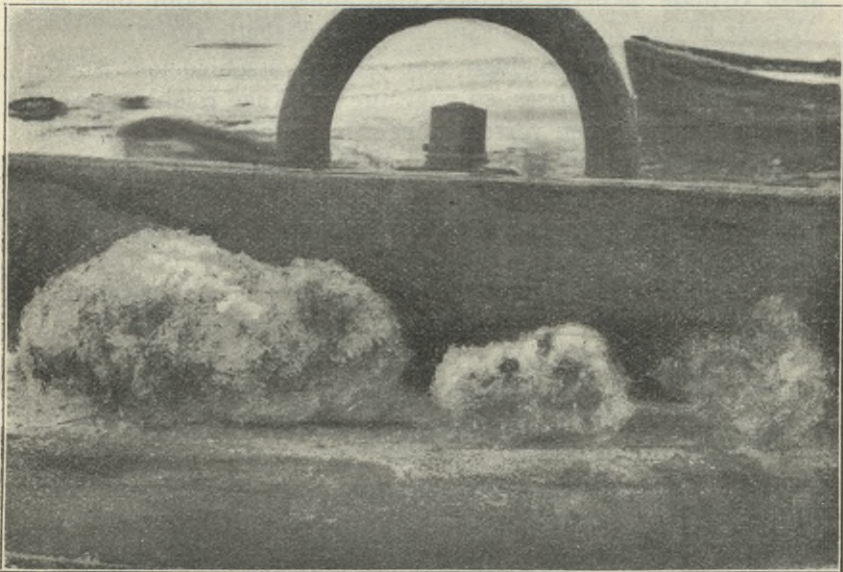


ABB. 5. — An die Oberfläche des Wassers aufgeschwommene Stücke von Grundeis.

bildete, während der Teil des Flusses bis zum 27. Kilometer noch nicht mit Eis bedeckt war.

Die Beobachtungen, welche bei den Stromschnellen den ganzen Dezember hindurch angestellt wurden, haben die früheren Beobachtungen vollständig bestätigt, wobei die Entstehung des Eises an der Flusssohle sich immer intensiver wiederholte.

Am 13. December wurde bemerkt, dass alle Pfähle und horizontale Zangen, welche am linken Ufer in den Schnellen sich befanden und die ganze Zeit über im Wasser waren, sich mit

einer ziemlich dicken Schicht Eis überzogen hatten, welches im Wasser helle Streifen und Flecken zeigten. Solche Streifen und Flecken waren auch am Grunde des Flusses; beim Betasten des Grundes mit einem Enterhaken konnte man fühlen, dass der Boden mit einer Schicht Grundeis bedeckt war, wobei sogar sein charakteristisches Knistern vernehmbar war; es gelang, einzelne Stücke Eis mit dem Enterhaken vom Boden loszureissen und dann tauchten sie mit Geräusch an die Oberfläche des Flusses auf.

Am folgenden Tage wurde eine noch grössere Menge Eis auf dem Grunde bemerkt, so dass man annehmen kann, dass das Wasser zu der Zeit gleichsam in einem Eisbette floss.

An diesem Tage tauchten sehr oft an verschiedenen Stellen vom Grunde des Flusses, so weit nur das Auge reichen konnte, Stücke Grundeis von verschiedener Grösse auf. Einige Stücke hatten ein Volumen von mehreren Kubikmeter; sie sprangen mit solcher Kraft und solchem Geräusch an die Oberfläche, dass sie sogar von ferne die Aufmerksamkeit auf sich zogen; die Eisschollen erhoben sich um 0,35 m über die Wasseroberfläche, wobei sie im Moment des Auftauchens die gelbliche Farbe des Wassers hatten; hierauf aber floss unverzüglich das Wasser, welches die Scholle durchtränkte, ab und die Scholle erhielt in ihrem über Wasser befindlichen Teile das Aussehen einer weissen Schneemasse, kam nach einigen Schwankungen ins Gleichgewicht und trieb weiter.

An den folgenden Tagen wurden dieselben Erscheinungen der Bildung von Grundeis beobachtet, wobei die Temperatur des Wassers sich auf Null oder etwas unterhalb Null hielt.

Am 27. December bedeckten sich die Schnellen mit Eis.

Es muss darauf aufmerksam gemacht werden, dass in der ganzen Beobachtungszeit kein einziger Schneefall von nennenswerter Menge stattfand, so dass die Möglichkeit irgend welcher Annahmen fortfällt, dass die im Wasser beobachteten schneeartigen Massen aus einer Mischung von Schnee mit Wasser entstanden wären.

Die eben angeführten Beobachtungen beweisen, dass auf der Newa im Herbste beim Eintritt der Fröste eine bedeutende Menge Grundeis sich bildet. Das Grundeis entsteht sowohl in jenen Teilen des Flusses, in welchen die Strömung sehr stark ist, als auch in Flussstrecken mittlerer Geschwindigkeit und

solchen mit sehr geringer Geschwindigkeit. Das sogenannte Grundeis entsteht nicht nur am Grunde des Flusses, sondern auch zwischen dem Grunde und der Oberfläche, sobald irgend ein Gegenstand hinabgelassen wird.

Was den Ort betrifft, an welchem auf der Newa Grundeis sich bildet, so muss man, trotzdem die ausgeführten Beobachtungen bewiesen haben, dass solches sich überall auf der ganzen Strecke des Flusses, wo sich nur passende Verhältnisse dazu vorfinden, bilden kann, dennoch als Hauptquelle der Entstehung von Grundeis die Iwanow-Schnellen ansehen, wo die ganze Zeit über eine Massenentstehung desselben beobachtet wurde.

Die Beobachtungen an den Iwanow-Schnellen wurden auch noch im November und Dezember 1904 angestellt; im allgemeinen erhielt man dasselbe Bild der Entstehung von Grundeis, wie bei den Beobachtungen vom Jahre 1903, wobei einige Bedingungen seiner Bildung etwas ausführlicher aufgeklärt wurden.

Die Temperatur des Wassers wurde mit einem im St.-Petersburger Hauptobservatorium für Physik geprüften Maximalthermometer Celsius No. 34464 gemessen, wobei die Temperaturmessung, ausser den für das Jahr 1903 angegebenen Zeiten, auch noch um 1 Uhr Nachts erfolgte. Durch die Beobachtungen ist festgestellt worden, dass keine Veränderungen der Wassertemperatur zwischen Tag- und Nachtzeit stattfinden; die Temperatur des Wassers schwankt nur innerhalb einiger Hundertstel Grad über und unter Null.

Was die Erscheinungen der Bildung von Grundeis anbetrifft, so hat sich gezeigt, dass sich dasselbe sowohl am Tage als in der Nacht bildet; ein Fichtenzweig, der warm auf den Flussgrund nach Sonnenuntergang versenkt wurde, tauchte an der Oberfläche, gehoben durch die Kraft des anhaftenden Grundeises noch vor Sonnenaufgang am folgenden Tage auf, wobei diese Erscheinung sowohl in klaren und frostigen (vom 2. zum 3. November; Lufttemperatur $-8,0^{\circ}$ R., Wasser an der Oberfläche $-0,02^{\circ}$ C, am Boden $+0,03^{\circ}$ C), als auch in trüben Nächten stattfand, (vom 3. zum 4. November; Lufttemperatur $-7,0^{\circ}$ R., Wasser an der Oberfläche und am Boden $+0,03^{\circ}$ C).

Die Bildung von Grundeis wurde an verschiedensten Materialien welche auf den Boden versenkt wurden, und zwar: an Steinen, Ziegeln, Heede, Holz, Wasserpflanzen, Glas und Metallen beobachtet, wobei die schnellste Bildung von Grundeis am weis-

sen Zinkeimer constatirt wurde : die Eisbildung an einem solchen Eimer wurde zu der Zeit bemerkt, wo an dem Seile, an welchem der Eimer ins Wasser gelassen, noch gar keine Anzeichen von Grundeisbildung waren.

Steine, mit denen das Bett der Newa bei den Iwanow-Schnellen besäet ist, überziehen sich erst mit Grundeis von der Seite der Strömung, sodann wächst das Grundeis immer weiter an, indem es sich auch auf den oberen Teil der Steine verbreitet und auf diesen eine Art Mütze bildet, welche in der Stromrichtung geneigt ist ; zuweilen erhebt sich das Grundeis von selbst bis zur Oberfläche des Wassers und bildet auf diese Weise eine Eisinsel im Flusse ; die Seite der Steine, welche stromabwärts gekehrt ist, bedeckt sich nicht mit Eis ; natürlich wurde das nur an grossen Steinen beobachtet, kleine Steine aber überziehen sich vollständig mit Eis.

Der mit Wasserpflanzen bewachsene Flussboden befördert durchaus eine reichliche Bildung von Grundeis, welches in zusammenhängender Masse den ganzen Boden überzieht, indem es sich ziemlich bedeutend über die Wasserpflanzen erhebt.

Zur vollständigeren Aufklärung der Frage über die Bildung von Grundeis wird es nicht überflüssig sein, hier eine Erscheinung zu erwähnen, welche an dem Ladogakanal Kaiser Alexander III beobachtet wurde. Auf dem 26. km dieses Kanales, war eine Strecke für die Beobachtungen der Probeschleppschiffahrt an den Ladogakanälen hergerichtet (1), auf einer solchen Probestrecke wurde periodisch der Boden des Kanals abnivellirt. Ein solches Nivellement wurde nach dem 20. October 1904 ausgeführt, wobei es Fröste bis -8° R. gab. Der Kanal war in dieser Zeit mit Eisschollen bedeckt, überzog sich aber nicht mit einer zusammenhängenden Eisdecke, da ihn daran die Schleppdampfer, welche das Eis brachen, verhinderten. Als während des Nivellements am 24. und 25. October (Lufttemperatur -8° R.; Wassertemperatur $+0,07^{\circ}$ C) eine 6 m lange Latte auf den Grund gesetzt wurde, fühlte man, dass sie etwas durchsties, später aber ohne Hindernis durch eine Schicht Schlamm ging und zuletzt den festen Kanalgrund erreichte ; dabei bemerkte man wie vom Grunde Eisplättchen mit Schlamm und Schmutz

(1) S. Mitteilung von Ing M. F. TSONGLINSKI und A. M. RUNDO : « Wirtschaftliche, technische und gesetzgeberische Untersuchung über den mechanische Schiffszug auf Flüssen, Kanälen und Seen. Schleppzug-Monopol. »

aufschwammen. Als der Kanal sich mit einer zusammenhängenden Decke von 0,04 m dickem Eis bedeckte, wurde die oben erwähnte Erscheinung nicht bemerkt.

Das Faktum der Eisbildung am Grunde des Kanals ist um so bemerkenswerter, als im Kanal keine Strömung existirt; die Tiefe des Kanals beträgt etwa 3 m.

Sehr interessant sind auch die Angaben, welche von Fischern des Ladogasees, über das am Grunde des Sees entstandene Eis gemacht wurden.

Nach Aussagen der Fischer erhebt sich das Grundeis vom Grunde vor den Augen der Beobachter in der Zeit der ersten starken Fröste und sein Aufschwimmen bemerkt man bis zur Bildung einer festen Eisdecke. Grundeis taucht sehr oft an der Oberfläche an Stellen auf welche vollkommen frei von Oberflächeneis sind und hauptsächlich dort, wo der Grund mit Steinen besät ist; ein sandiger Boden ist für die Grundeisbildung nicht so förderlich; — die Fischer weisen auf das Faktum hin, das an Stellen am See, wo der Grund sandig ist, das Eis im Winter verhältnismässig sehr dünn bleibt und nicht selten dort eisfreie Stellen sich bilden.

Nach Angabe der Fischer giebt es zweierlei Arten von Grundeis: entweder erhebt es sich in grossen Ballen, welche gleichsam eine Verbindung kleiner Eisstückchen vorstellen, die mit Wasser durchtränkt und mit Sand, Schlamm und kleinen Steinchen gemischt sind, oder es taucht in Form von einzelnen Eisteilchen, sehr dünnen Schuppen oder länglichen, sehr dünnen Kristallen auf, ebenfalls mit Beimischung von Grundpartikeln. Fischnetze und Körbe, welche von den Fischern auf eine Tiefe von 10-14 m gestellt werden, bedecken sich in dieser Zeit reichlich mit Grundeissschuppen. Dieser Umstand zwingt die Fischer jahraus jahrein die Erscheinung des Grundeises zu beobachten, wenn sie ihr Netzwerk nicht einbüssen oder sie verderben lassen wollen, da Fälle nicht selten sind, dass beim Heben die Netze rissen, weil sie der Schwere des anhaftenden Grundeises nicht widerstehen konnten.

Nachdem der See sich mit Eis bedeckt hat, stellen die Fischer ruhig ihre Netze auf, unbesorgt um die schädliche Wirkung des Grundeises, dessen Bildung sie nicht bemerken.

Die Frage über die Ursache der Bildung von Grundeis ist noch bei weitem nicht aufgeklärt. Einige Gelehrte und Beobachter

erklärten seine Bildung durch die Wärmeleitung der Erde, in Folge deren die strenge Winterkälte durch den Boden sich dem Grunde des Flusses übergiebt, wo unter Beiwirkung der gewöhnlichen Wärmeausstrahlung das Wasser sogleich die erraticen Blöcke mit kristallischen Plättchen umgiebt. Diese Erklärung lässt sich nicht auf die Erscheinungen anwenden, die auf der Newa beobachtet wurden, da während der ganzen Dauer der Beobachtungen der Bildung von Grundeis die Temperatur der Erde schon in einer Tiefe von 0,50 m nicht unter Null sank.

Dass der Boden des Flussgrundes keine Temperatur unter Null hat, beweist noch der Umstand, dass mitten in den Grundeisballen, welche soeben an die Oberfläche des Wassers sich erhoben hatten, vollständig weiche Stücke von Sand und Lehm gefunden wurden, ohne jegliches Anzeichen des Gefrierens, wobei das Grundeis sie nur mechanisch umschloss, ohne mit ihnen ein Ganzes zu bilden.

Im Jahre 1833 veröffentlichte Arago seine Beobachtungen über die Entstehung des Eises auf dem Grunde der Flüsse. In den Schlüssen aus diesen Beobachtungen drückt er die Vermutung aus, dass, wenn die ganze Wassermasse die allgemeine Temperatur Null erreicht, das unter dem Wasser befindliche Steingeröll und Gras das Gefrieren des Wassers an der Oberfläche verursachen ähnlich wie ein scharfer oder rauher Körper, in eine Salzlösung getaucht, die Bildung und das Ansetzen der Kristalle an seinen Spitzen beschleunigt.

Gay-Lussac (1) widerlegt diese Annahme durch den Beweis, dass die Ausscheidung der Kristalle nicht in einer gesättigten, sondern aus einer übersättigten Lösung erfolgen könnte, mit welcher man das Flusswasser vergleichen kann, wenn seine Temperatur überall unter Null wäre. Nach der Meinung Gay-Lussacs könnte dieser Fall nicht eintreten (2) und daher schlägt er eine andere Theorie der Bildung von Grundeis in Flüssen

(1) *Annales de Chimie et de Physique*, décembre 1836.

(2) Unmittelbare Temperaturbeobachtungen des Wassers bestätigen diese Meinung nicht: wie in der Newa in den Jahren 1903 und 1904, so wurde auch von SCHWARZ 1856 in der *Angara* (Ausgabe der Russischen Geographischen Gesellschaft, 1857, B. 5) und von H. J. BARNES auf dem St-Lorenzostrom die Temperatur des Wassers unter Null gefunden. (*Ice formation with special reference to Anchor-ice and Frazil*, Montréal, 1906).

vor, wonach den Anfang des Eises, welches am Grunde der Flüsse mit starker Strömung entsteht, die auf der Oberfläche bei Frost entstehenden Nadeln bilden, deren Oberflächentemperatur infolge Berührung mit der Luft unter Null liegt.

Werden diese Nadeln durch die Kraft der Strömung ins Wasser getaucht, so kommen sie miteinander und mit den Hindernissen am Grunde des Flusses in Berührung, und indem sie der Fläche des getroffenen Körpers ihre kältere, unter Null abgekühlte Seite zukehren, bringen sie eine sehr dünne Schicht Wasser zwischen dem Eisteilchen und der getroffenen Fläche zum Frieren und auf diese Weise frieren sie aneinander und an den Flussgrund und bilden so das Grundeis.

Indessen giebt keine der bestehenden Theorien eine zufriedenstellende Erklärung dieser Erscheinung. Es zeigen alle Daten, welche bis jetzt aus den Beobachtungen erhalten wurden, dass an den Stellen, wo das Eis schon eine feste Decke gebildet, die Bildung von Grundeis aufhört. Körbe, welche man unter dem Eise auf den Boden versenkte, wurden nach einiger Zeit vollständig eisfrei hinaufgezogen; sogar verschiedene Gegenstände, welche in der Bucht beim 38. km auf den Grund gelassen waren, als dieselbe mit Eis bedeckt war, wenngleich nicht weit von dem Rande der Eisdecke, zeigten kein Anzeichen des Befrierens, während ganz gleichartige Gegenstände, welche in der Strömung ohne Eisdecke versenkt waren, in derselben Zeit reichlich mit Grundeis besetzt wurden. Dasselbe Faktum des Aufhörens der Bildung von Grundeis nach dem Eisstand beweisen die obenangeführten Beobachtungen im Kanale Kaiser Alexander III und die Angaben der Fischer vom Ladogasee.

Auf diese Weise berechtigen die Beobachtungen der Bildung von Grundeis zu folgenden Behauptungen.

1. Durchaus erforderlich für die Bildung von Grundeis ist die Temperaturabnahme des Wassers bis Null Grad; bei allen Fällen der von uns beobachteten Erscheinungen der Bildung von Grundeis zeigt das Thermometer einige Hundertstel Grad über oder unter Null.

2. Zur Bildung von Grundeis ist eine offene Wasserfläche ohne Eisdecke erforderlich.

3. Das Grundeis kann sich sowohl in der Nacht, als auch am Tage bilden.

Im Zusammenhange mit der Beobachtung der Grundeisbil-

dung wurde auch dessen Anteil an der Bildung der Eissperren auf der Newa klargestellt.

Zur ausführlichen Untersuchung der Frage über die Bildung der Eissperren und zwar zur Auffindung des Ortes ihres Entstehens, als auch zur Bestimmung der Erhöhung des Wasserspiegels unter dem Einflusse der Eissperren sind auf der Strecke von der Alexanderbrücke bis zu den Iwanowschnellen 30 zeitweilige Pegel aufgestellt worden, an deren Latten dreimal täglich der Wasserstand abgelesen wurde; um 8 Uhr morgens, 1 Uhr mittags und 8 Uhr abends.

Die allmähliche Bildung der Eissperre und die Höhe der Wassererhebung sind aus der graphischen Darstellung der Pegelangaben für die Zeit vom 31. November bis zum 14. December 1903 (Abb. 6, Tafel I) sehr deutlich zu ersehen. Gleichzeitig mit der Bildung der festen Eisdecke war schon am 30. November abends eine Erhöhung des Wasserstandes in der Newa bei der Alexanderbrücke bemerkbar, offenbar durch eine Eissperre hervorgerufen, welche unterhalb der Brücke entstanden war; zum 1. December um 8 Uhr morgens bildet sich eine neue Eissperre zwischen den Pegeln No. 5 und No. 6, wobei das Gefälle des Wasserspiegels an dem genannten Orte von Null, am 30. November früh bis zu 0,00024 anwächst; hierauf verbreitert sich die Eissperre allmählich flussaufwärts, den Wasserspiegel erhöhend, und am 2. December früh zwischen den Pegeln No. 7 und No. 10 auf einer Strecke von 2 937 m betrug das Gefälle 0,000375 statt des normalen 0,000029.

Bei näherer Untersuchung der Eisdecke auf der genannten Strecke des Flusses erwies sich, dass zwischen der Troitzky und Alexanderbrücke in St. Petersburg auf der ganzen Strecke unter der dünnen Schicht harten, durchsichtigen Eises eine eben solche dicke, breiartige Masse von kleinen Eiskristallen sich befand, wie solche unter dem Eise im Frühjahr 1903 gefunden wurde und deren im Anfang dieser Abhandlung erwähnt worden ist, wobei der Eisbrei 18 % des Flussquerprofils einnahm.

Oberhalb der Alexanderbrücke wurde auf einer gegen 3,2 km langen Strecke unter der oberen Eisschicht nur eine geringe Menge von See-eisschollen gefunden, wobei die Anwesenheit des Eisschotters nur gegenüber den Brücken constatirt wurde. Vom Pegel No. 3 wurde wieder eine Ansammlung von Eisschotter entdeckt, dessen Mächtigkeit flussaufwärts immer mehr zunahm und ihr Maximum am Pegel No. 8 erreichte, wo die

von dem Eisschotter eingenommene Fläche 42 % des Durchflussprofils betrug.

Weiter stromaufwärts nahm die Dicke der Eisschotterschicht allmählich ab, bis er am Pegel No. 11 aufhörte, so dass der Eisschotter in dem Flusse eine Strecke von 5,3 km einnahm.

An der Stelle der grössten Ansammlung von Eisschotter (am 8. km) auf einer Strecke von einigen Kilometern fand man eine Auftürmung der Schollen über die Wasseroberfläche hinaus (siehe



Abb. 7. — Anhäufungen von Eisschollen die sich auf der Oberfläche des Flusses bildeten.

Abb. 7). Die Dicke der Eisschollen war unbedeutend, von 0,04 bis 0,10 m, die Schollen selbst bestanden offenbar aus Oberflächeneis, welches vom Ladogasee zugebracht war.

Wenn wir uns erinnern, dass zu Anfang des Eisstandes die Bildung einer bedeutenden Menge Grundeis bei den Iwanow-Schnellen bemerkbar war, so wird es leicht, sich den ganzen Prozess der Bildung der Eissperre vorzustellen.

Am Tage, den 30. November, bildeten die Ladogaschollen eine

Sperre innerhalb der Stadt dank den Pfeilern der Nikolai- und der Troitzky-Brücken, als auch infolge der Gefällverminderung an der Mündung und es entstand eine feste Eisdecke oberhalb der Troitzky-Brücke. Das auf dem Oberlauf mit dem Ladoga-eis zugebrachte Grundeis örtlichen Ursprungs wurde, da es auf seinem Wege auf Widerstand stiess, durch die Strömung unter die Eisdecke gezogen, wo es sich ansammelte und infolge seiner Leichtigkeit an der unteren Fläche der Eisdecke haften blieb, dadurch das Durchflussprofil einengte und einen Aufstau des Wassers hervorrief. Unterdessen verbreitete sich der Eisstand rasch flussaufwärts und reichte um 3 Uhr Morgens am 1. December bis zum 6. km von der Alexanderbrücke.

Das in immer grösserer Menge herbeitreibende Grundeis fand zwischen den Pegeln No. 3 und No. 5, passende Bedingungen zur Ansammlung, und zwar eine scharfe Krümmung des Flusses, Wassergefälle gleich Null, unbedeutende Stromgeschwindigkeit und Einengung des Bettes im Vergleich zu dem obengelegenen Teile des Flusses.

Die Ansammlung des Eisschotters rief einen bedeutenden Stau zwischen den Pegeln No. 5 und No. 6 hervor und fing an, zusammen mit dem Eisstande sich flussaufwärts auszudehnen, den Spiegel des Wassers erhöhend, dessen Aufstau endlich solche Dimensionen annahm, dass seine Kraft grösser wurde, als die des von dem Wasser auf seinem Wege gefundenen Hindernisses; die ganze Sperre rückte unter dem Drucke dieser Kraft flussabwärts, brach das Oberflächeneis und türmte grosse Eisschollen eine auf die andere auf; zugleich wurde der früher unter dem Eise angesammelte Schotter zusammengedrückt und nach unten gepresst, bis zuletzt seine Ansammlung eine solche Grösse erreichte, dass er der Kraft des Stauens widerstehen konnte. Zu der Zeit hob sich bedeutend der Wasserspiegel, dank der starken Einengung des Durchflussprofils.

Die soeben beschriebene Erscheinung der Entstehung einer Eissperre wiederholte sich gleich darauf in dem oberen Teil des Flusses und zwar bei einer Flusskrümmung am 23-25. km. Der Unterschied in den Erscheinungen ist nur der, dass die neue Eissperre sich ohne Teilnahme des Ladoga-Sees bildete, welches am 2. December Morgens auf dem See zu treiben aufhörte. An diesem Tage begann die Nawa oberhalb der Mündung der Slawjanka sich bei starkem Frost mit einer dünnen, glatten Eisschicht zu bedecken, welche sich am Orte auf der Oberfläche

bildete. Zum Morgen des 3. December wurde zwischen den Pegeln No. 6 und No. 7 ein bedeutendes Steigen des Wassers bemerkt, wobei gleichzeitig an der Stelle der früheren Eissperre am 8. km der Wasserspiegel sich senkte. Obgleich es nicht gelungen ist, die neue Eissperre genauer zu untersuchen, so kann man sich doch aus den Veränderungen des Wasserspiegels den Gang der Erscheinung reconstruieren.

Die Ansammlung von Grundeis begann zwischen den Pegeln No. 5 und No. 7, infolge der scharfen Krümmung des Flusses an jener Stelle, der Einengung des Bettes im Vergleich mit dem höher gelegenen Teil des Flusses, als auch infolge schroffer Verminderung des Gefälles, welche auch eine Verminderung der Stromgeschwindigkeit veranlasste; das von oben zutreibende Grundeis verstopfte immer mehr das Durchflussprofil, erhöhte dabei den Stau des Wassers, unter dessen Druck die Eissperre flussabwärts vorrückte und über der Oberfläche des Wassers die ungeheueren Eisschollen auftürmte. Diese Eisschollen unterschieden sich ihrem Charakter nach durchaus von denen, welche beim 8. km beobachtet wurden, — sie bestanden aus Anhäufungen von ganz trockenem Eisschotter, welcher in unförmliche Massen zusammengedrängt war; der Schotter war schmutzig, stellenweise in ihm Wasserpflanzen und Sand sichtbar, was auf seinen Ursprung vom Flussgrunde hinwies. Auf der Photographie (Abb. 8) ist eine am meisten charakteristische Anhäufung von Eisschollen an dieser Stelle aufgenommen. Neben ihr ist eine 2,25 m lange Nivellirelatte aufgestellt, zur deutlicheren Vorstellung der Höhe. Diese Eissperre rief im oberhalb der Sperre befindlichen Teile des Flusses ein so grosses Steigen des Wassers hervor, dass der ganze Quai an der Ishora mit allen darauf befindlichen Wohngebäuden und anderen Bauten, als auch viele Werkstätten der Admiralitätsfabriken vom Wasser überschwemmt wurden.

Den 7. December um 8 Uhr abends wurde die grösste Einengung des Bettes zwischen den Pegeln No. 8' und No. 10' bemerkt, wobei nach der Ablesung des Pegels No. 10' der Wasserspiegel zu dieser Zeit um 2,50 m höher war, als der Wasserstand am 30. November, und das Gefälle des Wassers zwischen den angegebenen Pegeln 0,00051 erreichte, statt der normalen Grösse 0,000073. Gegen 11 Uhr abends desselben Tages stieg das Wasser am Pegel No. 10' um weitere 0,70 m, infolge verstärkten Eisganges von den Iwanow-Schnellen her, die Eissperre hielt den

Stau nicht aus und die ganze Wassermasse von gegen 3 m Höhe rückte als zusammenhängender Wall flussabwärts, drängte die Eissperre vor sich und brach im unteren Flusslauf die Eisdecke, welche unter der Einwirkung der Fröste in den letzten Tagen eine Dicke von etwa 0,10 m erreicht hatte. Die Bewegung vollzieht sich auf einer Strecke von 11 km während einiger Stunden und um 3 Uhr morgens, den 8. December, hält die Eissperre zwischen den Pegeln No. 13 und No. 0' an, indem sie unterhalb

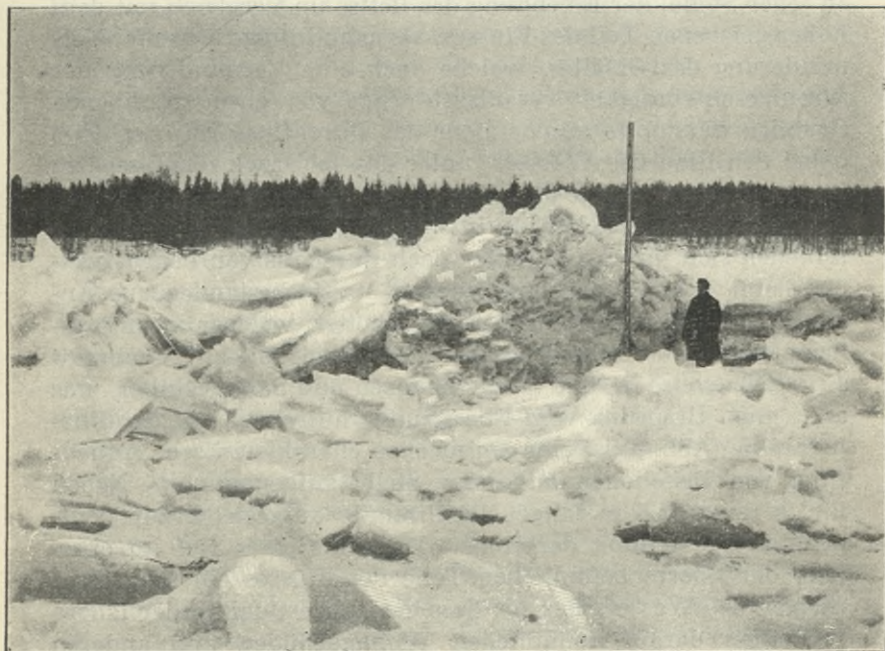


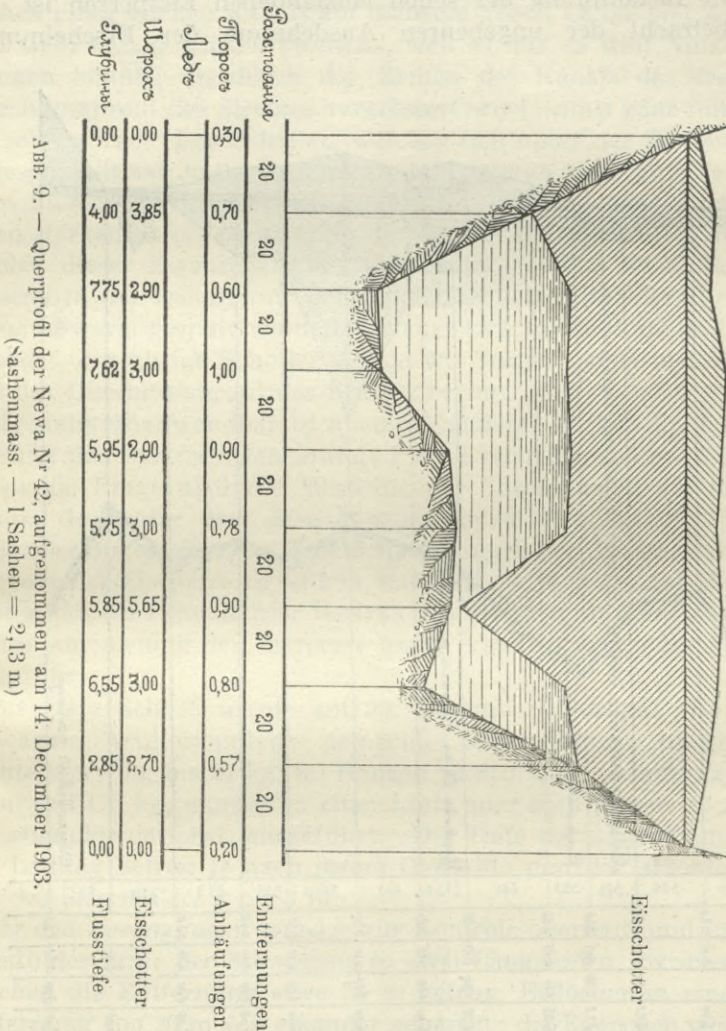
ABB. 8. — Anhäufungen von Grundeis.

der Obuchowschen Fabrik einen bedeutenden Aufstau des Wassers bildet, durch welchen alle Räumlichkeiten der Obuchowschen Fabrik, sowie nahegelegene Dörfer überschwemmt wurden.

Zum 14. December bildete sich in der Krümmung 23-25 km eine neue Eissperre ganz derselben Art wie die Sperre vom 8. December, wobei die Einengung des Bettes bis 56,6 % betrug (Abb. 9).

Die oben angeführten Beobachtungsergebnisse, in Verbindung

mit den Ergebnissen der Beobachtungen, welche im Februar 1903 angestellt waren, beweisen : 1) dass es auf der Newa zwischen der Alexanderbrücke und der Mündung der Ishora (am 27 km)



zwei Stellen giebt, wo die Bildung der Eissperren nicht nur möglich, sondern fast unvermeidlich ist, es sind die grossen Krümmungen des Flusses am 3-8. km und am 23-25. km; 2) dass

die Eissperren ihr Entstehen der Ansammlung von Grundeis an den genannten Stellen verdanken, welches hauptsächlich in den Iwanow-Schnellen und anderen Flussstrecken mit steinigem und unebenem Grunde sich bildet.

Die Bekämpfung der schon entstandenen Eissperren ist, in Anbetracht der ungeheuren Ausdehnung der Erscheinung,

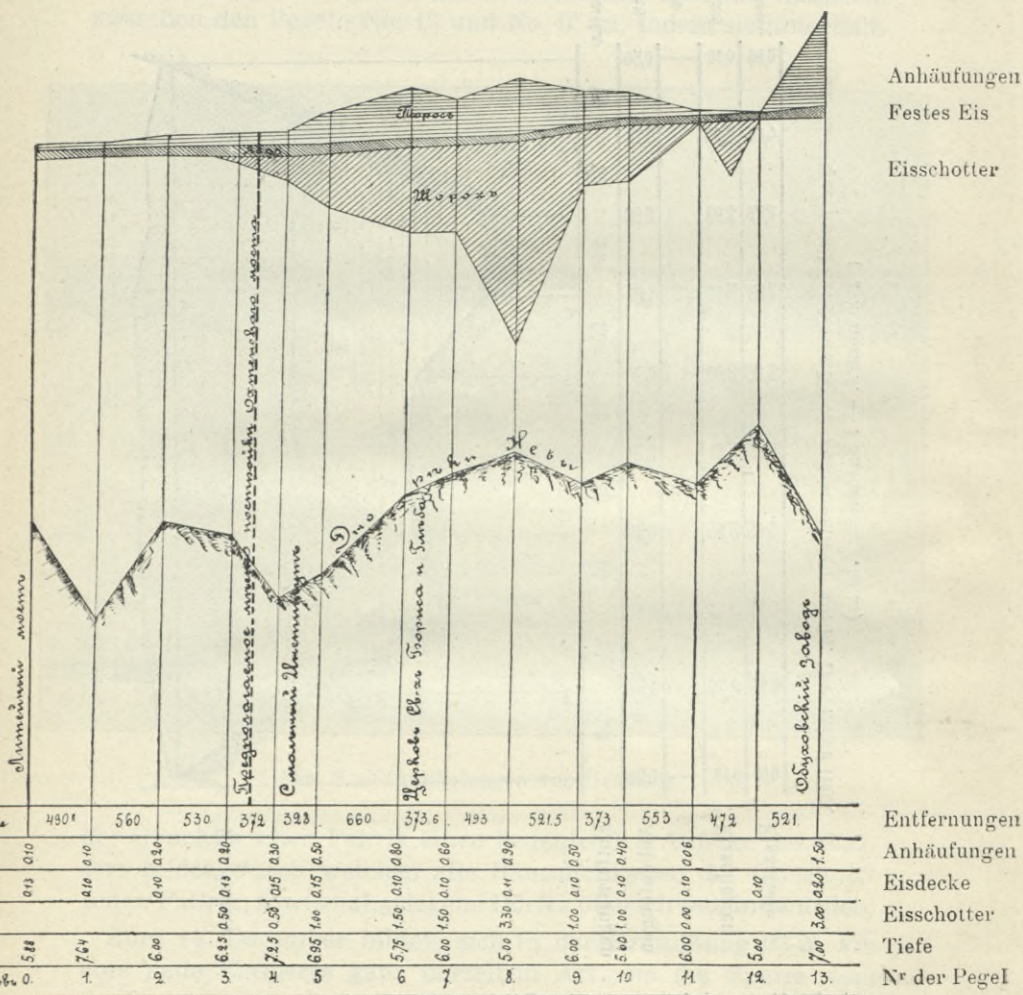


ABB. 11. — Längeprofil der Neva, von 0 bis 13 Kilometer, aufgenommen im December 1903.
(Sashenmass. — 1 Sashen = 2,13 m)

durchaus unmöglich. Das gewöhnlich in solchen Fällen vorgeschlagene Ziehen eines Längskanals im Eise, um den Abfluss des Wassers zu erleichtern und seinen Aufstau zu vermindern, ist in dem gegebenen Falle nicht anwendbar, erstens, weil das Ziehen eines solchen Kanals auf mehrere Werst Länge viel Zeit und Geld kosten würde, zweitens, weil es nur so weit Nutzen bringen könnte, als durch das Ziehen des Kanals das freie Durchflussprofil des Stromes vergrößert wird, somit ganz nutzlos sein würde. Der Schotter, welcher sich unter der Eisdecke angesammelt hat, haftet so stark an der letzteren, und seine Teilchen bilden eine so innige Verbindung, dass er sogar durch einen starken Strom nicht unter der Eisdecke weggespült wird. Infolge dieser Eigenschaft des Eisschotters könnte nach dem Ausgraben des Kanals nur derjenige Eisschotter mit der Strömung abwärts gespült werden, welcher sich in der Kanalmitte befindet, der übrige Schotter würde wie früher liegen bleiben, und das Durchflussprofil des Flusses beengen.

Ebenfalls unanwendbar ist auch ein anderes Mittel, die Ausführung der Sprengungen mittels Pulver oder Pyroxilin.

Um die Frage über die Wirkung der Sprengungen auf die teilung des unter dem Eise angesammelten Eisschotters, als auch über die Möglichkeit durch Sprengungen den Wasserstand oberhalb der Eissperre zu senken, aufzuklären, wurden auf Verfügung des St. Petersburger Bezirks der Wegcommunicationen gerade am Anfang der Eissperre am 4. km Probesprengungen ausgeführt.

Der erste Schuss wurde am 29. December 1903 mit Hülfe schwarzen Artilleriepulvers gemacht. Die Ladungen im Gewichte von 8 kg bis 24 kg, im Ganzen 12 Stück im Gesamtgewicht von 175 kg, wurden in einer Linie quer zum Flusse, 16 m von einander entfernt, ausgeführt. Die Tiefe der angenommenen Ladung betrug je nach ihrem Gewichte und der Mächtigkeit des Eisschotters 2 bis 3 m.

Vor den Sprengungen wurden zur Kontrolle oberhalb und unterhalb der Linie der Sprengung in zwei Längslinien, zwischen welchen die Entfernung etwa 55 m betrug, Eislöcher in einer Entfernung von 20 m von einander gehauen; die Eislöcher wurden vollständig von Eis und Schotter gereinigt; ausserdem wurden längs dem rechten Ufer Eislöcher ausgehauen, in welchen beim ersten Ertönen des Signalhornes Pflöcke bis zum Wasserspiegel geschlagen wurden.

Die Sprengung wurde in zwei Teilen mit Hilfe einer elektrischen Batterie ausgeführt. Im Moment des Schusses wurden in der Linie der Ladungen Eis, Wasser und Schotter herausgeschleudert und bildeten gleichsam eine bis zu 8 m hohe Fontaine, wobei in jenem Augenblick auf dem Flussufer eine bedeutende Erschütterung des Bodens fühlbar war.

Bei der näheren Besichtigung des Flusses, welche gleich nach der Sprengung vorgenommen wurde, erwies sich, dass die Eisdecke längs der Linie der Ladungen in einem Streifen bis zu 8 m Breite zerstört und das dabei herausgeworfene Eis an seinen früheren Ort zurückgefallen war. Zwischen den Eislöchern, in welchen die Ladungen eingebracht waren, blieb die Oberfläche des Eises noch so fest, dass man unmittelbar nach der Sprengung auf ihr vollkommen sicher gehen konnte.

Bei der Besichtigung der Kontrolleislöcher zeigte es sich, dass in dem dem Orte der Sprengstelle nächst gelegenen Loche gar keine Lageveränderung des Eisschotters bemerkbar war. Die Eislöcher waren wie früher rein, und die Seitenwände des sie umgebenden Eisschotters wie früher vertikal. Der Wasserstand hatte sich nach dem Schusse nicht im geringsten verändert.

Die zweite Sprengung fand am 5. Januar 1904 unter folgenden Umständen statt.

Die Ladungen verteilte man in vier Reihen, in je 11 m Entfernung von einander; in den ersten drei Reihen wurden je sechs Ladungen in einer gegenseitigen Entfernung von 8 m im Verbands angeordnet, in der vierten Reihe waren zwei Ladungen eingebracht.

In der ersten Reihe waren Pulverladungen von 12 kg; sie waren auf eine Tiefe von 2,50 m hinabgelassen.

In der zweiten Reihe waren Pulverladungen zu 24 kg bei einer Tiefe des Bohrlochs von 3 m.

In der dritten Reihe waren drei Ladungen Pyroxilin à 6,5 kg und 3 Ladungen desgleichen à 8 kg; in der letzten Reihe waren 2 Ladungen Pulver à 8 kg angeordnet; alle 8 letzten Ladungen hatten eine Satztiefe von 2 m.

Auf diese Weise wurden auf einer Fläche von 2000 qm im Ganzen 245 kg Pulver und 44 kg Pyroxilin versprengt.

Vor der Explosion wurde flussabwärts in einer Entfernung von 21 m von der ersten Ladungsreihe in der Eisdecke quer zum Flusse eine Wasserfläche von 21 m Länge und 4 m Breite blos-

gelegt; diese Oeffnung wurde vollkommen von Schlammes gereinigt, wobei an ihren Rändern der Eisschotter sich unter dem festen Eise in einer vertikalen Wand hielt.

Ausserdem wurde vor der Explosion zwischen den Ladungsreihen und oberhalb derselben an verschiedenen Stellen die Mächtigkeit des Schotters gemessen.

Die Sprengung wurde in 4 Teilen ausgeführt, wobei in den beiden Schüssen zu 3 Pyroxilin-Ladungen explodirt wurden, beim dritten Schuss explodirten 12 Pulverladungen im Ge-

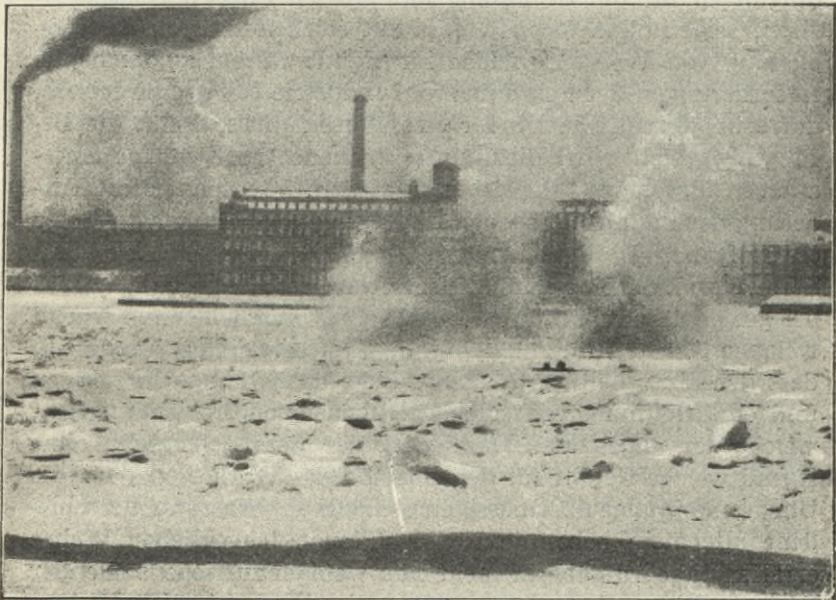


Abb. 12. — Sprengungen an Orte der Ansammlungen von Eisschotter.

wichte von 23 kg und beim vierten 2 Pulverladungen. Gleich nach den Explosionen wurde die Eisdecke besichtigt, wobei sich erwies, dass die Wirkungssphäre der Explosion nicht über den Ort, der von den Ladungen eingenommen war, hinausging, wobei zwischen den Ladungsreihen ein unberührter Streifen Eis verblieb (Abb. 12). Die Oeffnung der Eisdecke erwies sich nach den Explosionen vollkommen von Eisschotter frei, die Stärke des Schotters in den Kontrolleislöchern blieb unverändert, ebensowenig änderte sich der Wasserstand. Es ist daher klar, dass

die ausgeführten Sprengungen keine Ortveränderung des Schöters unter dem Eise hervorrufen, gar keinen Einfluss auf seine Verteilung ausüben und dass es unmöglich erscheint, durch Sprengung den Wasserstrand zu senken.

III. — Allgemeine Betrachtungen über die Herstellung von Wehren für Schifffahrts- und Industriezwecke.

Die obenangeführten Beobachtungsergebnisse, welche die Bedingungen für die Eisbildung auf grossen Flüssen charakterisieren, zeigen ohne Zweifel, dass auf solchen Flüssen die Herstellung von Wehren, welche im Stande wären, zugleich den Anforderungen der Schifffahrt und Industrie Genüge zu leisten, auf sehr wesentliche Hindernisse stossen muss, wenn die Bedingung gestellt wird, die ununterbrochene Arbeit der Industrieanlagen fürs ganze Jahr sicher zu stellen. Gerade letztere Forderung der ununterbrochenen Dauer complicirt in hohem Masse die Aufgabe. In den gewöhnlichen Fällen der Herstellung von Stauwehren, die blos Schifffahrtszwecken zu dienen haben, ist es bei geeigneter Konstruktion des Wehres möglich, ohne irgend welchen Nachteil für die Schifffahrt, bei den ersten Anzeichen, dass der Fluss bald festfrieren werde, das Wehr zu beseitigen und eine Oeffnung von solchen Dimensionen frei zu machen, welche den ungestörten Durchgang des Eises sicherstellt, ohne irgend welche Gefahr für den Zustand des Werkes oder für die Umgegend infolge übermässigen Steigens des Wassers. Verschiedene allgemein bekannte Konstruktionen beweglicher Wehre erfüllen diese Aufgabe in mehr oder weniger zufriedenstellender Weise. Besser als andere erfüllen dieselben natürlich Wehre, deren bewegliche Teile sich nicht auf die Flusssohle niederlegen, sondern über den Wasserspiegel gehoben werden, wie zum Beispiel Wehre nach System Caméré, System Stoney, solche von der Art des Walzwehres in Schweinfurth und dergleichen.

Die Anwendung derartiger Systeme ist in diesem Falle vollkommen berechtigt, sobald auf dem Fluss Eis erscheint, die Schifffahrt auf demselben eingestellt und die Erhaltung des Staues an sich zwecklos wird. Das Wehr, als Mittel zur Herstellung des Staues, wird unnötig und seine Entfernung ganz natürlich. Die Sache ändert sich mit einem Mal, sobald das Wehr für Industriezwecke bestimmt wird. Die Rentabilität

des Betriebes vermindert sich bei jeglicher Unterbrechung der Arbeit und die Fabrikleiter streben natürlicherweise danach, Zahl und Dauer der Unterbrechungen auf ein Minimum zu reduciren: Die periodischen, und infolge der Eisgefahr anhaltenden Unterbrechungen der Arbeit der Fabriken, welche durch Wasserkraft betrieben werden, die durch Stau an beweglichen Wehren gewonnen werden, können bei der Wahl dieser bewegenden Kraft für die bezügliche Industrie von massgebender Bedeutung sein und unter Umständen überhaupt die Anwendung der Wasserkraft unrentabel machen.

Wenn der Flusslauf nicht gross ist, wenn seine Wasserführung geringen Schwankungen unterliegt, wenn der Eisgang nicht lange dauert, wenn, währenddem der Fluss mit festem Eise bedeckt ist, man keine Veranlassung hat sein mehrmaliges Aufgehen oder Eisverschiebungen zu befürchten, können auch für industrielle Zwecke bewegliche Wehre mehr oder weniger mit Erfolg angewendet werden. Arbeitsunterbrechungen der Wasserkraftanlagen werden unter solchen Umständen selten eintreten und nicht von grosser Dauer sein. Im entgegengesetzten Falle, unter Umständen, die den angeführten entgegenzustellen sind, kann die Notwendigkeit das Wehr geöffnet zu halten auf so lange Zeitperioden sich erstrecken, dass von einem regelrechten Fabrikbetriebe nicht die Rede sein kann.

Unter so ungünstigen Verhältnissen für bewegliche Wehre geht man unwillkürlich zur Wahl der Konstruktion fester Wehre über, in Form von standsicheren steinernen Mauern, welche im Stande sind alle Schwankungen des Staues auszuhalten und mit Ueberläufen und Grundablässen versehen sind, um das überflüssige Wasser ablassen zu können. Dass es möglich ist, grosse Flüsse mit sehr schwankender Wasserführung durch solche Werke abzdämmen, ist durch das grossartige Wehr, welches den Nil bei Assuan aufstaut und ein ungeheures Reservoir für die Bewässerung von Aegypten bildet, genügend erwiesen (1). Aber auf dem Nil gibt es kein Eis, und dieser für nördliche Gegenden so wichtige Faktor konnte in dem Erbauer der ägyptischen Werke kein Bedenken erregen. Was würde aber auf einem Flusse geschehen, der mit demjenigen Aehn-

(1) Siehe WILLIAM WILLCOCK'S *Irrigation in the Nile Valley and its future*. International Engineering, Congress Glasgow, 1901.

The Engineer, 1907, N. 2674, S. 320 u. ff.

lichkeit hätte, dessen Verhalten beim Gefrieren und dessen Winterleben wir oben charakterisirt haben, wenn er in seiner ganzen Breite durch ein festes steinernes Wehr abgedämmt wäre? Würde es gelingen solche Formen und Konstruktionen von Wasserablass- und Ueberlauföffnungen zu finden, welche nicht nur den freien Abfluss der Hochwässer sichern würden, sondern auch den Durchgang des Eises, sowohl als Menge feinen Eisschotters als auch in ungeheuren Schollen, welche während des Eisganges in kompakten Massen treiben? Oder würde im Gegentheil die Steinmauer die Stelle bilden, an welcher die Eismassen sich unaufhörlich ansammeln würden, wobei sie immer höher und höher den Wasserspiegel stauen, bis eine mehr oder weniger schreckliche Katastrophe diesem Zustande ein jähes, grausiges Ende machen würde?

Die Praxis der russischen Hauptwasserwege gibt nicht das nötige Material zur Beantwortung dieser Fragen. Die geringe Anzahl von Beispielen fester Wehre mit nennenswerthem Stau, welche dem Eisgang ausgesetzt sind, gestattet es überhaupt nicht daraufhin überzeugende Schlüsse zu deren Anwendung für andere Flüsse und unter anderen Umständen zu machen. Würde daher etwaige Verfassung der verlangten Antworten auf Grund blos theoretischer Betrachtungen nicht für Selbstüberschätzung angesehen werden müssen?

Nur Versuche und Beobachtungen können, nach der Meinung der Berichterstatter, auf diesem Gebiet die nötigen Antworten auf die Anfragen geben, welche hier das Leben stellt. Aber auf grossen Flüssen mit stark wechselnder Wasserführung und bedeutendem Eisgang Versuche mit dem Bau fester Wehre bei grossen Stauhöhen anzustellen, bei Voraussetzung der Möglichkeit ihres Abreissens durch den Strom, wäre offenbar ein kaum statthafes Unternehmen. Eine solche Arbeit kann man nur in dem Falle unternehmen, wenn man die vollständige Ueberzeugung von ihrem Gelingen haben wird. Daher ist es notwendig Methoden zur Ergründung dieser Frage innerhalb der Gefahrlosigkeit und der Erschwingung der dazu nötigen Mittel aufzufinden, bei gleichzeitig sorgfältiger wissenschaftlicher Untersuchung der örtlichen Bedingungen des Eisganges und Eisstandes aller jener schiffbaren Flüsse, an welchen die Herstellung von Wehren für industrielle Zwecke erwünscht ist. Zu dem Behuf erscheint es, nach der Meinung der Berichterstatter, zweckmässig, mittels Versuchen die Vorgänge beim

Eisgang und Gefrieren in künstlichen Betten zu studiren, unter Anwendung von künstlichen Hindernissen jeglicher Art, welche verschiedener Grösse Stau erzeugen. Wenn auf solche Weise die Faktoren, welche einen günstigen Verlauf des Eisgangs über das Wehr und geringe Ansammlung desselben vor dem Wehr bedingen aufgeklärt sein werden, wird es möglich zu Versuchen in grösserem Massstabe auf sekundären natürlichen Flussläufen überzugehen und hierbei die Konstruktionskoeffizienten und Formen zu ermitteln, welche möglichst gute Existenzbedingungen des Wehres bei seinen geringsten Kosten sichern. Endlich wird man in mehr oder weniger ferner Zukunft, nachdem die richtige Lösung der Aufgabe in oben erwähnter Weise genügend vorbereitet worden, versuchen dürfen, die Energie unserer grossen nordischen Flüsse mittels fester Wehre zu fassen.

IV. — SCHLUSS.

Für die grossen Flüsse des nördlichen Russland, welche bedeutenden Schwankungen der Wassermenge und starkem Eisgang unterworfen sind, ist die Möglichkeit, zur Befriedigung von Anforderungen der Schifffahrt und der Industrie andere als bewegliche Wehre anzuwenden nicht genügend erwiesen. Unter beweglichen Wehren verdienen solche den Vorzug, deren bewegliche Teile nicht auf die Sohle niedergelegt, sondern aus dem Wasser gehoben werden. Die Möglichkeit der Anwendung fester Wehre für besagte Zwecke muss zuvor in künstlichen Flussbetten und an kleinen Flüssen durch systematische Versuche und Beobachtungen des Eisganges und Eisstandes untersucht werden, bevor man Wehre dieser Art an einigermaßen bedeutenden Flüssen zu bauen beginnt, wobei an jedem solchen Flusse vor Beginn der Herstellung der Wehre mehrere Jahre hindurch die Vorgänge der Bildung und Bewegung des Eises an den in Aussicht genommenen Baustellen systematisch beobachtet werden müssen.

V. E. VON TIMONOFF,
Professor am Kaiserlichen Institut
für Wegebau in St-Petersburg,

M. F. TSIONGLINSKI,
Wegebau-Ingenieur.

XI. Kongress - St.-Petersburg - 1908

I. Abteilung : Binnenschifffahrt

1. Frage

BERICHT

VON

TSIONGLINSKI

UND

V. E. de TIMONOFF

BLATT I

Taf. I.

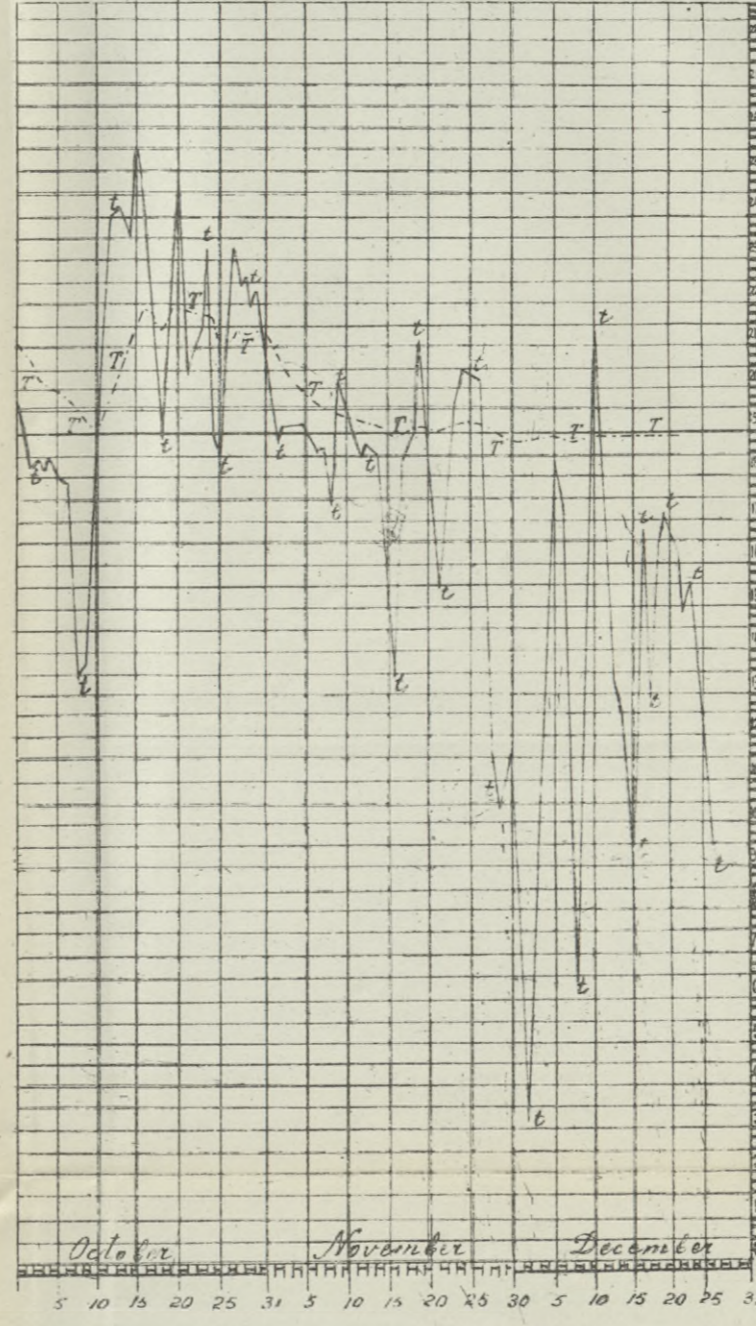
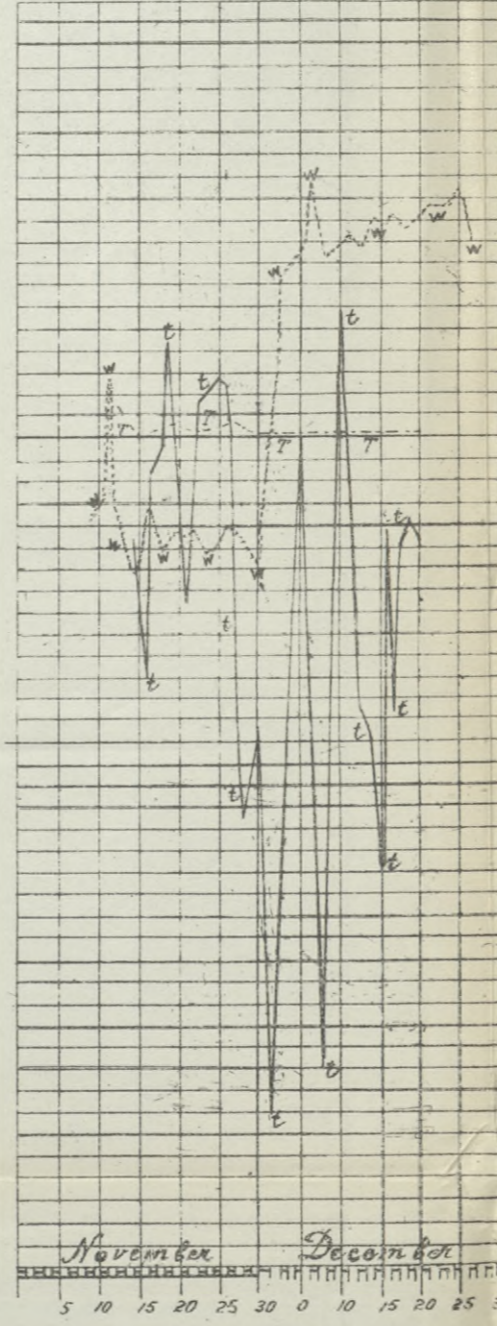
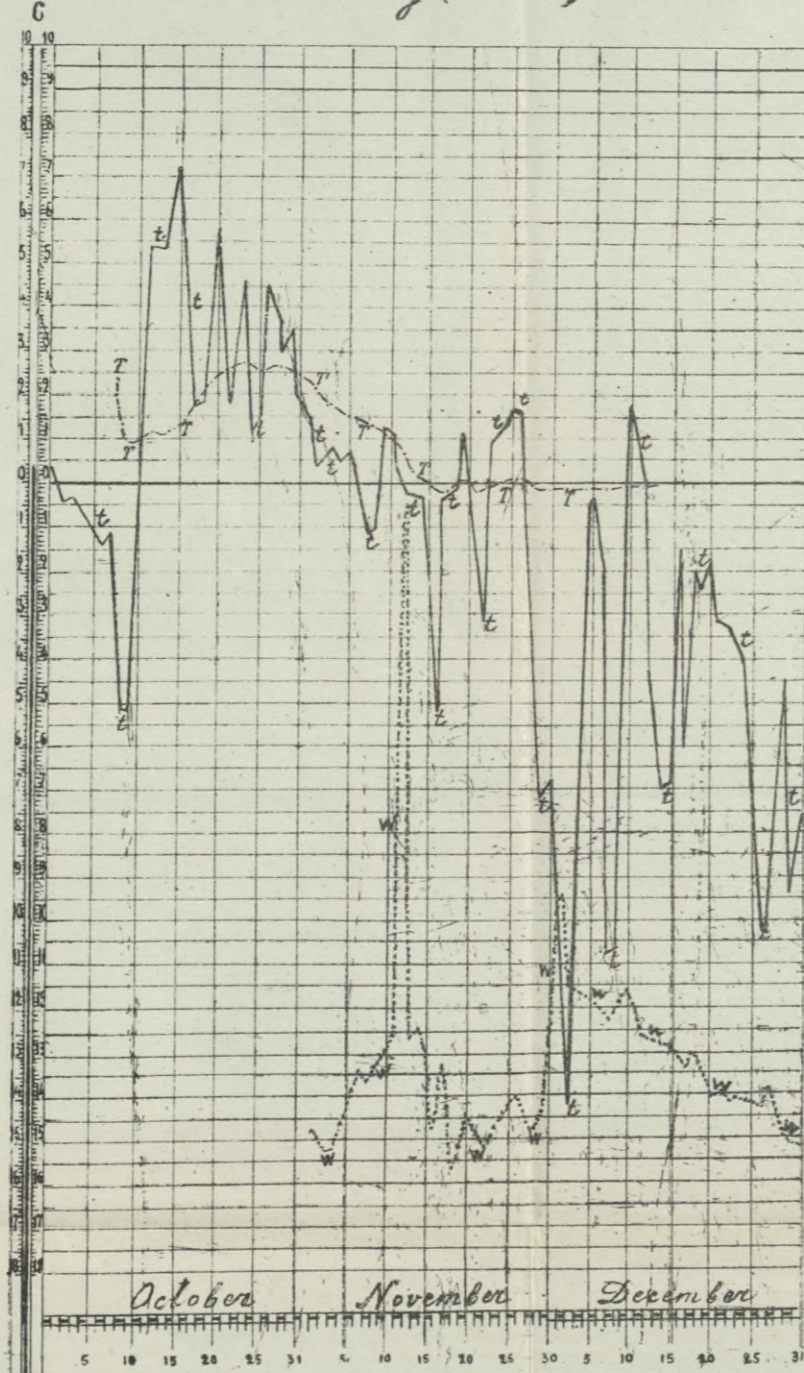
Abb. 3.

Graphische Darstellung der Änderungen der Tagestemperaturen der Luft, des Wassers sowie auch der Wasserstände der Newa pro October, November und December 1903.

St.-Petersburg (6 Km.)

Twanow-Schnellen (39 Km.)

Schlüsselburg.

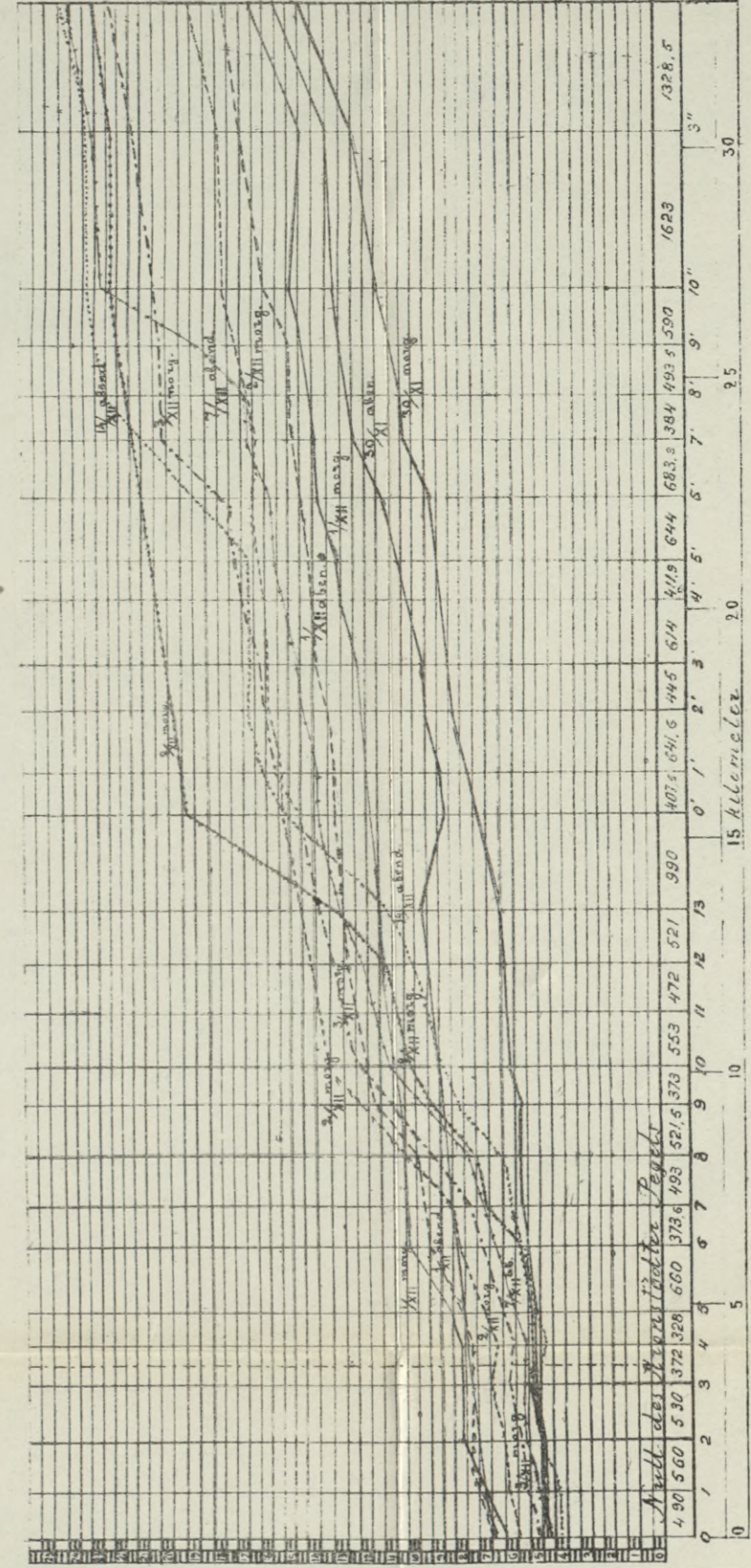


Wasserstand in Sarschen (1 Sarschen = 2.13 Meter)

----- Temperatur des Wassers d. Newa an der Sohle (T)
 - - - - - " " der Luft (t)
 Wasserstand des Newa (W)

Graphische Darstellung der Änderungen des Wasserstandes der Newa zwischen 0 und 33 Km. für die Zeit vom 30 November bis zum 14 December 1903.

Abb. 6.



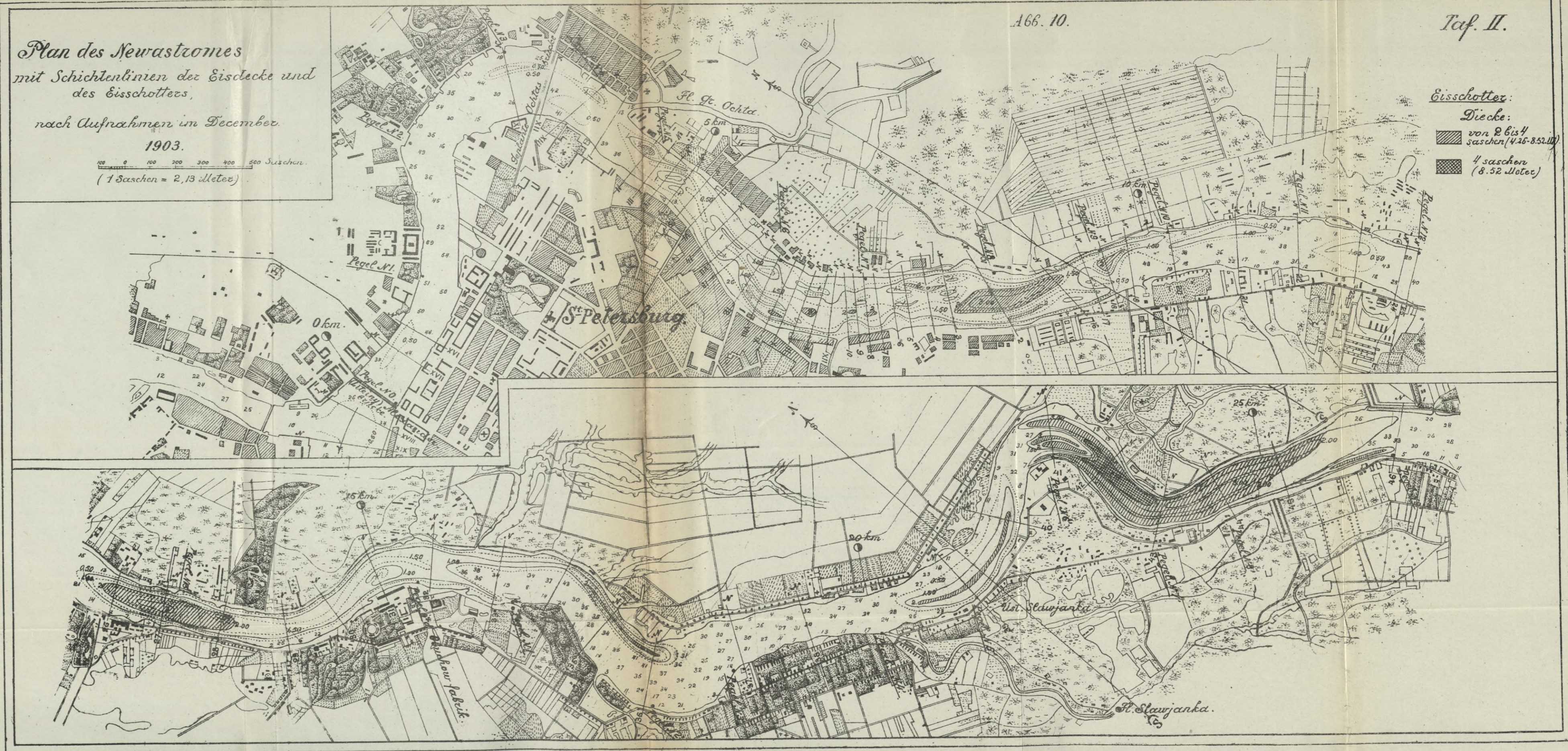
Wasserstand in Sarschen (1 Sarschen = 2.13 Meter)

INTERNATIONALE VERBAND
SCHIFFARTS-KONGRESS
1898

II. Kongress - St. Petersburg - 1898

Der Kongress wurde am 1. August 1898 in St. Petersburg eröffnet. Die Teilnehmer kamen aus allen Weltteilen. Die Verhandlungen wurden in drei Sprachen abgehalten: Russisch, Englisch und Französisch. Die Beschlüsse des Kongresses sind in drei Sprachen veröffentlicht worden.

Plan des Newastomes
mit Schichtenlinien der Eisdecke und
des Eisschotterz,
nach Aufnahmen im December.
1903.
100 0 100 200 300 400 500 Sassen.
(1 Sassen = 2,13 Meter)



INTERNATIONALER STÄNDIGER VERBAND

SCHIFFFARTS-KONGRESS

XI Kongress - St. Petersburg - 1908

I. Abteilung: Einmündigkeit

1. Frage

BERICHT

PROTOKOLL

V. M. DE JONGHE

Blatt II

Ref. II.

Bechthold

Luca

1812
1813

1814
1815