

Beobachtungen über das Grundeis der Mur.

Ein Beitrag zur Theorie der Grundeisbildung

von

Dr. Wilhelm Gintl,
k. k. Professor der Physik.

Läßt es sich auch einerseits nicht in Abrede stellen, daß die Mur ungeachtet ihrer scheinbaren Bedeutendheit in Rücksicht auf Schifffahrt und Handlung unter den Flüssen Deutschlands weit im Hintergrunde stehe; so kann man ihr doch anderseits manche Vorzüge wieder nicht absprechen, durch welche sie sich vor vielen andern Flüssen auszeichnet. Diese Vorzüge liegen in ihrer natürlichen Schönheit und in dem physikalischen Interesse, welches sie in einiger Beziehung darbietet.

Wer ihre grünlichen Wogen einmal gesehen, wer an ihren Ufern die vielen reizenden Thäler und üppigen Fluren, wo sie sich in tausendfachen Windungen hin schlängelt, durchwandelt hat, der wird sie gewiß einen schönen und reizenden Fluß nennen. Aber auch die überraschende Geschwindigkeit, mit welcher sich ihre Fluthen in dem steinigten Bette fortwälzen, gewährt einige interessante Erscheinungen, von welchen ich hier nur das äußerst seltene Zufrieren des Flusses und sein dafür sehr reichliches Grundeis besonders hervorheben und näher besprechen will.

Es ist bekannt, daß die Mur in der Regel nicht, weder in gewöhnlichen noch in strengen Wintern zufriert, daß dieses nur in außerordentlich strengen Wintern und da nur auf sehr kurze Zeit geschehen mag, so daß es zu den größten Seltenheiten gehört und man daher nicht so Unrecht hat, wenn man von ihr im Allgemeinen sagt, sie sei seit Mannesgedenken nicht zugefroren. Man darf aber den Grund dieser Erscheinung nicht etwa in einer höheren Temperatur des Wassers suchen, da dieses keineswegs der Fall ist, sondern nur einzig und allein in der bedeutenden Geschwindigkeit, mit welcher sich das Wasser fortbewegt, denn diese verhindert selbst bei hinreichend niedriger Temperatur das Festwerden des Wassers an der Oberfläche, worin eigentlich der Akt des Zufrierens besteht. Ungeachtet dieses höchst seltenen Zufrierens der Mur ist aber das Eis doch keine Seltenheit auf derselben, ja man sieht vielmehr fast in jedem Winter, sobald die Temperatur der äußeren Luft nur auf 5 bis 6 Grade R unter Null herab gesunken, und diese Kälte einige Zeit anhaltend ist, reichliches Eis auf dem Flusse daher treiben, welches sogar die Form von Eisschollen hat, ohne jedoch die ihnen gehörige Consistenz zu besitzen. Dieses so zahlreich daherschwimmende Eis, ist aber kein auf der Oberfläche entstandenes, sondern sogenanntes Grundeis. Es kommt in so großer Menge vor, daß es fast die ganze Oberfläche des Wassers bedeckt, und bei anhaltender Kälte oft tagelang in zunehmender Menge, aber auch mit wachsender Consistenz einherschwimmt, und indem es sich an den seichteren Uferstellen zusammen schiebt, die Veranlassung zum Entstehen des sogenannten Uferseises gibt. Daß aber dieses in so großer Menge auf der Mur vorkommende Eis wahres Grundeis sei, lehret schon der Augenschein, da es den allgemeinen Charakter desselben, d. i. das galertartige Aussehen und das lockere Gefüge nebst den übrigen Kennzeichen des Grundeises besitzt. Was es aber für eine Verwandniß mit seiner Entstehung habe, wird sich dann am besten beurtheilen lassen, wenn wir die bisher über das Grundeis überhaupt gemachten Erfahrungen Anderer zu Rathe ziehen, und die Ergebnisse derselben mit den an der Mur angestellten Erfahrungen vergleichen werden. Dabei wird es sich sehr leicht zeigen lassen, ob die

über das Grundeis anderwärts gemachten Erfahrungen auch auf das an der Mur vorkommende Eis anwendbar sind, und, wenn dieses der Fall, welche unter den verschiedenen bis jetzt versuchten Erklärungsarten dieser Erscheinung diejenige ist, die dem gegenwärtigen Zustande der Wissenschaft am meisten zusagt.

Ich werde bei dieser Darstellung den Angaben des berühmten französischen Physikers Arago (Water) folgen, da er über diesen Gegenstand sehr zahlreiche Erfahrungen und authentische Notizen gesammelt, und auch selbst unter den vielen Erklärungsarten des Phänomens eine geliefert hat, welche allen die Erscheinung begleitenden Umständen vollkommen entsprechend, folglich ohne allen Zweifel die richtige ist, und welche ich ebenfalls mit den von mir über das Phänomen gemachten Beobachtungen übereinstimmend, ja selbst durch eigens zu diesem Zwecke angestellte Versuche vollkommen bestätigt gefunden habe.

Wir wollen uns sonach zu den von Andern über das Grundeis gemachten Erfahrungen wenden, und dabei mit den ältesten darüber bekannt gewordenen Nachrichten beginnen. Diese sind durchgehends auf mündliche Ueberlieferungen von Leuten gegründet, deren Lebensart es seit jeher mit sich brachte, Jahr aus Jahr ein in der Nähe der Gewässer zu verweilen. Müller, Fischer und Fährleute behaupteten gegen die sonst allgemein verbreitete Meinung, daß das Eis zuerst an der Oberfläche des Wassers entstehe, es kämen vielmehr die Eisschollen, womit sich die Gewässer im Winter bedecken, schon gebildet vom Boden heraufgestiegen. Diese Leute wollen ihr Emporstiegen mit eigenen Augen gesehen, ja sie sogar oft selbst mit ihren Schiffshaken vom Boden losgeriffen haben. Zur Bekräftigung ihrer Behauptung sagen sie, daß die untere Fläche dieser großen Eisschollen mit Schlamm bedeckt, oft auch mit einer Sandkruste überzogen sei, kurz, daß sie die unzweideutigsten Spuren des Bodens an sich tragen, worauf sie früher gelegen sind. Auch die in Deutschland bei den Fährleuten durchgängig gebräuchliche, ganz eigenthümliche und diese dahertreibenden Schollen charakterisirende Benennung „Grundeis“ zeige schon deutlich auf den Ort und die Art ihrer Entstehung hin. Mein ungeachtet dieser dies

ten mündlichen Berichte fand der allgemeine Glaube an diese Entstehungsart des Eises nur wenig Eingang, und es bedurfte erst der Zeugnisse erfahrener Physiker, um an die Wirklichkeit einer Erscheinung glauben zu machen, welche mit den Fortpflanzungsgesetzen der Wärme in directem Widerspruche zu stehen schien. Solcher Zeugnisse gibt es aber schon seit langer Zeit her eine bedeutende Menge, von welchen ich aber nur die glaubwürdigsten hier anführen will.

Im Jahre 1730 sah *Hales* zu *Teddington* bei einer Temperatur der äußeren Luft von 9 Graden unter Null der hunderttheiligen Skala die Oberfläche der *Themse* in der Nähe des Ufers mit einer Eisschichte von $\frac{1}{3}$ Zell Dicke bedeckt. Gleichzeitig befand sich aber unter dieser Schichte eine zweite viel dickere, welche vom Ufer abwärts in die Tiefe des Flusses hinabreichte, indem sie am Boden desselben festsaß. Diese Eisschichte stand mit der ebern am Ufer selbst in Verbindung, trennte sich aber von ihr in dem Maße, in welchem gegen die Mitte des Flusses hin die Tiefe desselben zunahm. Das Eis dieser Schichte war überdies viel weniger consistent, als das der ersten, und war mit Sand, ja selbst mit Steinen vermenget, welche von den zeitweilig in die Höhe steigenden Schollen sogar empor gehoben wurden.

Dieser Beobachtung wäre sonst nichts auszusetzen, als daß sie zu nahe am Ufer angestellt wurde, und man daher glauben könnte, es habe sich die Kälte von Außen durch das Erdreich dem Boden des Flusses mitgetheilt und auf diese Weise das Entstehen der zweiten Eisschichte bewirkt, wenn man nicht wüßte, wie weit sich die Wärme durch feste Körper überhaupt fortzupflanzen vermag. Da dieses aber jetzt hinreichend bekannt ist, so fällt diese Schwierigkeit von selbst weg.

Auch in Frankreich wurden schon vor sehr langer Zeit ähnliche Beobachtungen angestellt, unter welchen die glaubwürdigste folgende war.

Zu Ende des Monats December 1780 verdoppelte sich die Kälte im mittägigen Frankreich plötzlich durch einen heftigen Nordwind; das Thermometer sank daselbst auf 8 bis 9 Grade unter Null der hunderttheiligen Skala. *De marest*, Mitglied der Akademie der Wissenschaften, welcher sich damals zu *Annonay* befand, sah das Flußbett der *Deome* sich mit einem schwammigen Eise bedecken. Es entstand

zuerst an den Ufern des Flusses, wo das Wasser nur eine Tiefe von 2 oder 3 Fuß hatte, und als die Kälte anhielt, zeigte sich diese Art von Eis auch an den tiefsten Stellen desselben. In solchen Stellen, wo das Wasser über nackte Felsen strömte, bemerkte Demarest nicht eine Spur von diesem Eise, im Gegentheile bildete es sich überall schnell und reichlich da, wo sich Sand angehäuft befand. In manchen Stellen erlangte es sogar eine Dicke von zwei Fuß. Nach dem Berichte Demarest's geschah die allmähliche Vergrößerung der Eischollen an ihrem untern Theile, welcher den Grund berührte. Das bereits gebildete Eis wurde fortwährend durch die Abstoßung des sich unterhalb bildenden Eises in die Höhe getrieben. Indem ich, sagt Demarest ferner, diesen Hergang beobachtete, bemerkte ich, daß einige Schollen in einer einzigen Nacht um 5 bis 6 Zoll gehoben wurden; ja einige wuchsen in Folge dieser täglichen und gleichen Vermehrung von unten so stark an, daß sie förmliche Eisingeln bildeten, welche über die Oberfläche des fließenden Wassers hervorragten. Niemand hatte bisher diese Art des Anwachsens bei dem unter Wasser sich bildenden Eise bestätigt gefunden, und man muß uur bedauern, daß Demarest die Art nicht näher angegeben hat, wie er bei seinen Beobachtungen zu Werke ging, welche ihn ein so auffallendes Ergebnis kennen lehrten. Vielleicht hatte er auf die am Boden liegenden Schollen Objecte hingelegt, welche immer sichtbar blieben, während die Schollen in die Höhe stiegen. So lange bei stark bewölktem Himmel die Temperatur der Luft beim Uebergange des Tages zur Nacht sich nur wenig änderte, so nahm nach dem Berichte von Demarest die Dicke des Eises am Boden des Wassers während 24 Stunden fast gleichmäßig zu. Im entgegengesetzten Falle, wenn sich z. B. die Sonne am Himmel zeigte, unterblieb die Vermehrung des Eises im Laufe des Tages. Die verschiedenen während der Nacht in Zwischenzeiten von 5 bis 6 Stunden gebildeten Lagen stellten deutlich übereinanderliegende Schichten dar, welche sich leicht von einander trennen ließen, so daß durch den Strom des Wassers jede Schichte von der unterhalb befindlichen,

an welcher sie lose hing, getrennt wurde, wodurch der Fluß Eis zu treiben anfangt.

Braun, Valley von Wilhelmsburg an der Elbe, machte im Jahre 1788 mehrere Abhandlungen bekannt, worin er das Dasein des Grundeises theils durch eigene Beobachtungen, theils durch die einstimmigen Aussagen der Fischerleute darthut, welche in Folge der strengsten Nachforschungen zu Stande gebracht wurden. Die Fischer versicherten, daß ihre bis auf den Grund des Wassers versenkten Netze an kalten Herbsttagen, lange bevor das Eis auf der Oberfläche des Flusses zum Vorschein kam, sich mit einer solchen Menge Grundeis bedeckten, daß es ihnen schwer wurde, sie in die Höhe zu ziehen; daß ferner die Körbe, deren man sich zum Fange der Fische bedient, oft von selbst an die Oberfläche des Wassers stiegen, und von außen ganz mit Eis überzogen gefunden wurden; daß Anker, welche im Sommer untergingen, im folgenden Winter wieder zum Vorschein kamen, indem sie durch die Kraft des sie bedeckenden und vom Boden aufsteigenden Eises mit in die Höhe gebracht wurden. Ferner sagten die Leute aus, daß dieses Eis die großen Steine empor hebe, an welchen die Fahrtzeichen mittelst Ketten befestigt sind, und auf diese Art die nachtheiligste Verrückung dieser so nützlichen Zeichen verursache u. dgl. Braun bestätigte selbst diese verschiedenen Beobachtungen durch eigene Erfahrung. Er behauptet, versuchsweise gefunden zu haben, daß Hanf, Wolle, Haare, gekochte Kopfhare, vorzüglich aber Moos und Baumrinde diejenigen Körper sind, welche auf den Boden des Wassers gelegt, sich am schnellsten mit Eis überziehen. Er versichert, daß die verschiedenen Metalle diese Eigenschaft nicht in gleich hohem Grade besitzen. Zinn soll nach ihm in dieser Beziehung oben an, Eisen dagegen hinten nach stehen.

Der berühmte Botaniker Knight hat in dem hundert und sechsten Bande der Transactions philosophicals eine Beobachtung mitgetheilt, welche um so beachtenswerther ist, als sie in einiger Hinsicht das Räthsel der Grundeisbildung zu lösen scheint. Die Beobachtung wurde im Jahre 1816 des Morgens nach einer sehr kalten Nacht am Flusse Teme in Herefordshire angestellt. Dieser kleine Fluß

wird durch eine Schleuße aufgestauet, und bildet so oberhalb einer weiten Behälter von stehendem Wasser, welches dazu bestimmt ist, mehrere Mühlgänge zu treiben. Das Wasser fällt durch einen Ab- laß in einen engen Canal, welchen hie und da Felsstücke und große Steine noch mehr verengen, wodurch Strudel und starke Wasser- wirbel hervorgebracht werden. Uebrigens hat der Fluß nur eine ge- ringe Tiefe und ein steiniges Bett. An der Oberfläche des stehenden Wassers im oberen Wasserbehälter gewährte man Millionen von klei- nen schwimmenden Eiszadeln, weiter unten, unterhalb des Falles in das eigentliche Flußbett, waren die Steine am Boden mit einer glänzenden silberähnlichen Masse bedeckt, welche, näher untersucht, sich aus einem Aggregate von unzähligen Eiszadeln zusammengesetzt zeigte, welche sich, wie dieses beim Schnee der Fall ist, unter allen möglichen Winkeln durchkreuzten. An einem jeden Steine hatte sich diese Masse schwammigen Eises in großer Menge und zwar immer an jener Seite abgesetzt, welche der Richtung des Stromes entgegen- gesetzt lag. Sie besaß die Consistenz des gewöhnlichen festen Eises im Allgemeinen nicht, nur sehr nahe am Ufer war es der Fall. Der Fluß selbst war nicht an der Oberfläche gefroren, sondern nur an einigen Uferstellen, wo das Wasser gar keine Bewegung besaß, zeigte sich eine schwache Eiscrinde.

Im Jahre 1816 sahen am 11. Februar die zu Straßburg stationirten Brücken- und Straßenbau-Ingenieure, daß oberhalb der Brücke von Kehl das Flußbett des Rheins an vielen Stel- len mit Eis bedeckt war. Gegen 10 Uhr Vormittags löste sich dies- ses Eis vom Boden los, stieg an die Oberfläche und fing an zu treiben. Das Thermometer zeigte an der freien Luft eine Temperatur von 12° C unter Null. Das Wasser des Flusses selbst hatte in je- der Tiefe die Temperatur von 0 Grad. Das Eis, welches am Bo- den zum Vorscheine kam, bildete sich jedoch nur an solchen Stellen, wo Steine oder auch andere spitzige und eckige Gegenstände lagen; es war schwammig und aus einem Gewirre von Nadeln gebildet. Die am Flusse angestellten Brücken- und Straßen-Ausscher behaup-

teten, daß es niemals früher als gegen 10 oder 11 Uhr Vormittags an die Oberfläche steigt.

Der Canal von St. Alban führt das Wasser der Birs mitten durch die Stadt Basel. Das Wasser ist sehr klar, und fließt mit einer großen Geschwindigkeit. Im Winter des Jahres 1823 untersuchte Professor Merian das Bett des Canals mit großer Aufmerksamkeit, welches im Allgemeinen mit Kieselgerölle bedeckt ist, und sah, daß überall, wo sich am Boden ein Vorsprung bildete, ein Stück Eis vorhanden war, welches man von der Ferne für einen Buschen faßeriger Flocken angesehen hätte. Dieses Eis löste sich von Zeit zu Zeit vom Boden ab, und stieg an die Oberfläche. Es zeigte alle Eigenschaften des von den deutschen Schiffern so genannten Grundeises.

Hugi, Präsident der naturhistorischen Gesellschaft zu Solothurn, ist, so viel bisher bekannt wurde, derjenige Physiker, welcher das Phänomen der Grundeisbildung im größten Maßstabe beobachtet hat. Seine ersten Erfahrungen darüber wurden im Jahre 1827 gemacht. Vom 2. bis zum 5. Februar dieses Jahres hatte die Aar bei Solothurn Eis getrieben. Am 15. war sie vollkommen eisfrei. Am 16. floß sie ganz ruhig und das Wasser war vollkommen rein. Am demselben Tage erhob sich bei einem Ostwinde, etwa 20 Metres unterhalb der Brücke auf einer Fläche von etwa 150 Quadratmetres vom Boden des Flusses fortwährend eine Menge großer Tafeln von Eis. Es muß hierbei eines Umstandes erwähnt werden, wodurch es bestätigt wird, was schon die Fährleute auf der Themse Herrn Pales versichert hatten, daß der größte Theil dieser Eisschollen 5 bis 10 Decimetres über die Oberfläche des Wassers emporstieg, und nachdem sie einige Augenblicke in dieser Lage verharrten, legten sie sich um, und schwammen horizontal fort, so daß von dieser Stelle an der Fluß Eis trieb. Nach Verlauf einiger Zeit wurden die Eisschollen seltener, aber sie hatten sich zu einem solchen Grade vergrößert, daß ihrer mehrere, obwol sie sich fast vertical über das Wasser erhoben, doch noch mit ihrer untern Seite auf dem Boden des Flusses standen, und sehr lange Zeit in dieser Lage verharrten. Diese Erscheinung dauerte etwa zwei Stunden. Von der Brücke an

fließt die Aar reißend in einem Bette von 20 bis 30 Graden Neigung, welches fast durchgehends steinig ist. Oberhalb der Stelle, wo die Eisschollen in die Höhe stiegen, ist das Wasser zwar etwas ruhiger, bildet aber daselbst fast immer eine Art von Wirbel. Die Temperatur der Luft war zu jener Zeit 5^o.7 Grade unter Null. Nahe an der Oberfläche des Wassers hatte die Luft eine Temperatur von 4^o.9 C unter Null, an der Oberfläche des Wassers selbst war die Temperatur 2^o.1 C über Null, gegen die Brückenjoche zu, da, wo sich kein Eis bildete, hatte das Wasser eine Temperatur von 3^o C über Null. Am Boden, woher das Eis in die Höhe stieg, war die Temperatur des Wassers gerade 0 Grad. Ein Umstand, welcher die Bedeutsamkeit dieser Temperatur-Beobachtungen vermindert, ist, daß es nicht dargethan wird, ob sich dieses Eis an demselben Tage da gebildet habe oder nicht. Leicht könnte es sein, daß dieses Eis schon früher gebildet, den Boden des Flusses bereits mehrere Tage zuvor bedeckt hatte.

Eine zweite Reihe von Beobachtungen, welche Sugi angestellt hat, datirt sich vom Monate Februar des Jahres 1829. Am 11. dieses Monates zeigte die Aar bei Solothurn an keiner einzigen Stelle ihres Laufes eine Spur von Eis; seit mehreren Tagen war die Temperatur der Luft zwischen 4 und 6 Graden über Null der hunderttheiligen Scala. In der Nacht vom 11. auf den 12. fiel sie plötzlich auf 14^o C unter Null. Am 12. bei Sonnenaufgang fing der Fluß an sehr reichlich Eis zu treiben. Doch muß dabei gleich bemerkt werden, daß sowol in der Nähe der Ufer als auch an den geschützten Stellen, wo es vollkommen ruhig war, das Wasser noch keine Spur einer Eisbildung an seiner Oberfläche zeigte, so daß man nicht sagen konnte, es hätten sich die Treibeiseshollen vom Ufer losgelöst. Eben so wenig Grund würde man gehabt haben anzunehmen, daß es von irgend einer höher aufwärts gelegenen und zugefroren gewesenen Stelle des Flusses herkäme, denn zu Altrey, 1 ¹/₂ Meile oberhalb Solothurn, trieb der Fluß fast gar kein Eis. Ueberdieß fingen die Eisschollen an gleich unterhalb der Brücke in derselben Gegend in die Höhe zu steigen, wo man sie zwei Jahre früher beobachtet hatte. Wegen Mittag sah man

sogar ganze Eiseinseln in der Mitte des Flusses sich bilden. Am 13. waren schon 23 solcher Inseln vorhanden. Die größten darunter hatten fast 33 Metres (100 Fuß) im Durchmesser. Sie waren rings umher frei, widerstanden aber doch dem Andränge des Stromes, welcher mit einer Geschwindigkeit von 70 Metres (200 Fuß) in der Minute fließt, und nahmen einen Raum von fast einer Achtel-Meile ein. Hugi fuhr mit einem Schiffe heran, um sie zu untersuchen. Er stieg auf ihnen aus, durchschritt sie in verschiedenen Richtungen, und überzeugte sich, daß an ihrer Oberfläche eine feste Eisschicht von 5 bis 10 Centimetres Dicke vorhanden war, die auf einer Eismasse ruhte, welche die Form eines umgekehrten Kegels von 3 bis 4 Metres verticaler Höhe hatte und am Boden des Flusses festsaß. Diese Kegel bestanden aus einer halb geschmolzenen Eismasse, welche gallertartig, und wie Hugi sagt, fast wie Froßschlamm ausah. Sie war nach unten zu weicher als nach oben, und man konnte sie sehr leicht in jeder Richtung mit der Ruderstange durchstoßen. Der freien Luft ausgesetzt, verwandelte sich die Masse dieser Kegel alsbald in ein körniges Eis, ähnlich jenem, welches sich am Boden des Wassers bildet.

Zur Zeit dieser Beobachtungen war die Temperatur der Luft bei 9 Metres Höhe über der Mar $11^{\circ}2$ C unter Null, bei 1.3 Metres Höhe — $9^{\circ}4$ C. Das Wasser zeigte in einer Tiefe von 5 Centimetres eine Temperatur von 0 Grad, in der Tiefe von 1.8 Metres eine Temperatur von $+ 1^{\circ}$ C, in der Entfernung von 0.5 Metre vom Boden war die Temperatur $+ 1^{\circ}5$ C, am Boden selbst $+ 2^{\circ}4$ C und endlich bei einer Tiefe von 1 Metre im Boden $+ 8^{\circ}$ C. Diese Temperaturbestimmungen des Wassers wurden an einer Stelle im Flusse vorgenommen, wo es kein Eis am Boden gab.

F a r g e a u, ein ausgezeichnete Professor der Physik zu Straßburg, hat Beobachtungen am Rheine angestellt, welche der Pariser Akademie der Wissenschaften mitgetheilt wurden. Auch sie verdienen hier angeführt zu werden. Am 25. Jänner 1829 war die Temperatur der Luft gegen 7 Uhr Morgens in der Nähe der Brücke von

Rehl 13·7 Grade der hunderttheiligen Skala. Zu derselben Zeit, war in jenem Theile des Rheins, welcher durch die daselbst vertheilten Sandbänke an der französischen Seite eine Art von Teich ohne alle Strömung bildete, die Temperatur des Wassers 0 Grad, während eine Temperatur von $+ 4^{\circ}4$ in einer Tiefe von $\frac{1}{2}$ Metre herrschte. Dieser Theil des Flusses zeigte nur ganz in der Nähe der Ufer einige Eisschollen. Oberhalb dieser Sandbänke in einer kleinen Bucht, wo das Wasser wenig tief und an eine sehr rasche Strömung angrenzend war, sah man alle Kieselsteine mit einer Art durchscheinenden Schaumes von 3 bis 4 Centimetres Dicke bedeckt, welcher in der Nähe untersucht, sich aus Eisnadeln zusammengesetzt zeigte, die in allen möglichen Richtungen ineinandergriffen. In dieser Bucht zeigte das Thermometer auch auf Null, sowol an der Oberfläche des Wassers, als in der Tiefe und am Boden. Eben so verhielt es sich mit dem Wasser in der Strömung an der reißendsten Stelle. Hier gewahrte man auch sowol am Boden des Rheins als auch an einigen daselbst versenkten Holzstücken, und zwar immer an der der Strömung entgegengesetzten Seite bei einer Tiefe von 2 Metres, große Mengen von schwammigem Eise, in welches die Ruderstange ohne Schwierigkeit eindrang. Dieses Eis, an die Oberfläche des Flusses gebracht, zeigte sich vollkommen ähnlich den unzähligen Schollen, welche der Fluß später zu treiben anfing. Fargeau berichtet, mehrere Male am großen Rheine mit eigenen Augen gesehen zu haben, wie das Eis sich vom Boden loslöste, und an der Oberfläche zu treiben anfing. Seinen eigenen Beobachtungen fügt Fargeau noch eine wichtige, ihm mitgetheilte Erfahrung hinzu, aus welcher als Folgerung hervorgeht, daß die Natur des Flußbettes denselben Einfluß auf das Phänomen der Eisbildung ausübe, es mag kleine oder große Massen fließenden Wassers führen. Ein Hammergewerke aus dem Wasgau hatte ihn nämlich belehrt, daß er, um die Bildung des Eises am Grunde des Baches, welcher sein Hammerwerk treibt, zu verhüten, alle Jahre genöthiget sei, die Steine und andere fremdartigen Körper aufräumen zu lassen, womit das Bett zufällig bedeckt ist.

Im Anfange des Monates Februar 1830 fand Duhamel, nachdem er das Eis, womit sich die Seine an der Oberfläche bedeckt hatte, durchbrechen ließ, etwas unterhalb der Brücke von Grenelle, zwei oder drei Metres vom Ufer entfernt am Boden eine ausgedehnte Eisschicht von 4 Centimetres Dicke. Er verschaffte sich davon mehrere Bruchstücke. In dieser Gegend hatte das Wasser mehr als einen Metre Tiefe und durchgängig die Temperatur von 0 Grad. Die Strömung war daselbst ziemlich stark. Die von Duhamel gemachte Erfahrung hat denselben Fehler, wie jene von Hales, welcher, wie schon früher bemerkt wurde, darin bestand, daß die Beobachtung ebenfalls zu nahe am Ufer angestellt worden war. Indessen bleibt sie doch deshalb bemerkenswerth, weil sie die einzige Beobachtung ist, welche von einem wissenschaftlich gebildeten Manne über die Grundeisbildung in der Seine gemacht wurde.

Diese bisher angeführten unter mannigfachen Umständen gesammelten Nachrichten stellen das Factum außer allen Zweifel, daß es wirklich Eis gebe, welches sich ursprünglich am Grunde der Flüsse bildet, und daher mit recht den Namen „Grundeis“ verdient, daß es dann erst an die Oberfläche steige und als sogenanntes Treibeis weiter schwimme. Ganz in Uebereinstimmung mit diesen stehen die im verfloffenen Winter 1838 von Fr. Mohr in Coblenz am Rheine gesammelten neuesten Erfahrungen, so wie die von mir im vor- und diesjährigen Winter an der Mur angestellten Beobachtungen, welche ich hier sogleich mittheilen werde, sobald ich noch Einiges über die bisher üblichen Erklärungsweisen dieses Phänomens vorangeschickt habe, um dann nach Maßgabe dieser Beobachtungen entscheiden zu können, welche von den darüber entwickelten Ansichten die richtige sei.

Es wurde schon früher angegeben, daß die Physiker lange nicht daran glauben wollten, es könne sich das Treibeis am Boden der Flüsse bilden, und daher ist auch mit Recht in der folgenden Darstellung von den darüber zuerst entwickelten verschiedenen theoretischen Ansichten nicht viel Bedeutendes zu erwarten. Unter den Fährleuten war die Vorstellung ziemlich allgemein verbreitet, daß die Eisschollen während der Nacht durch den Einfluß des Mondes am Boden der Se-

wässer gebildet, am folgenden Morgen aber von der Sonne zur Oberfläche gezogen werden. Volksvorurtheile beruhen in der Regel auf einer unvollkommenen Beobachtung, und daher mag es kommen, daß, weil dem Monde überhaupt ein Einfluß auf die Witterung zugeschrieben wird, man auch diese Erscheinung durch ihn hervorgebracht wissen wollte. Dieser Theorie der Fährleute folgte eine andere im Grunde nicht viel bessere. Die Wärme, behauptete man, sei das Resultat einer heftigen Bewegung der kleinsten Körpertheile. Nun bewegt sich das fließende Wasser an der Oberfläche viel rascher, als am Boden, daher müsse es die Oberfläche des Wassers sein, wo man immer das Maximum der Temperatur finden werde, und am Boden, wo die Bewegung geringer ist, wird folglich das Gefrieren zuerst beginnen. Um diese Ansicht zu vervollkommen, wurde das Aufsteigen der Eisschollen der Elasticität zugeschrieben, welche die im Wasser aufgelöste Luft wieder erlangt, so bald sie während des Actes des Gefrierens frei wird, und dabei im Innern der Eismasse Blasen bildet, welche ziemlich große Dimensionen besitzen. Im Jahre 1742, als diese sonderbare Theorie das Licht der Welt erblickte, befand sich das Thermometer schon in Jedermanns Händen, so daß man glauben sollte, man hätte sich leicht überzeugen können, daß bei einem starken Froste das Wasser der Flüsse im Allgemeinen an der Oberfläche viel kälter sei, als am Boden. Allein man wollte, wie dieß fast immer geschieht, lieber nach der Ursache, als nach der Wahrheit forschen. Um die theoretischen Einwürfe, welche Nollet den populären Ansichten über die Grundeisbildung entgegenstellte, mit den Beobachtungen zu vereinbaren, aus welchen unwidersprechlich hervorging, daß der größte Theil der Treibeisshollen längere oder kürzere Zeit hindurch untergetaucht gewesen sei, und daß ihre untere Fläche auf einem schlammigen Grunde geruht habe, gerieth man auf den Gedanken, ihre Entstehung in den kleinen Bächen zu suchen, welche den großen Flüssen ihr Wasser zuführen. Dort, meinte man, wo das Wasser eine sehr geringe Tiefe hat, müßte sich das Eis sehr bald in Berührung mit der Erde oder dem Schlamme befinden, welcher den Boden bedeckt. Was ferner die Eisschollen betrifft, welche man

aus dem Wasser emporsteigen sieht, oder welche die Schiffaleute mit ihren Ruderstangen aus einer Tiefe von mehreren Fuß hervorziehen, so erklärte man ihre Entstehung auf folgende Art: Weil man bemerkt, daß nach einer sehr starken Kälte, welcher plötzlich ein vorübergehendes Schauwetter folgt, es manchmal geschieht, daß ein starkes Anschwellen des Wassers eintritt, worauf wieder ein neuer Frost folgt, so muß es dem gemäß dann im Flusse, besonders in der Nähe der Ufer, zwei von einander getrennte Eislagen übereinander geben, wovon die eine der früheren Höhe des Wasserstandes, die andere aber der späteren Wasserhöhe nach dem Statt gehabten Anschwellen entspricht. Diese Ansicht, welche sich auf einen ganz besonderen Fall bezieht, erklärt auf keine Weise die bisher gemachten Erfahrungen, welche unwiderleglich darthun, daß man augenscheinlich gesehen habe, wie sich das Eis an der Oberfläche der Steine bildete, welche am Grunde des Wassers in dem Bette mancher Flüsse lagen.

Nicht viel glücklicher ist die von M' Keever gegebene Theorie, ungeachtet sie sich auf die subtilsten Principien der Wärmelehre gründet. Nach der Ansicht dieses Physikers besitzen die Felsstücke, Steine und der Kies, womit der Boden der Flüsse in der Regel bedeckt ist, ein größeres Ausstrahlungs-Vermögen als der Schlamm, vielleicht wegen ihrer besondern Natur, vorzüglich aber wegen ihrer rauhen Oberfläche. Sowol in großen Massen, als auch in kleinen Bruchstücken werden daher die Gesteine durch Ausstrahlung sehr stark abkühlen, sobald die Temperatur der Atmosphäre sehr niedrig ist, und dadurch werden sie das Wasser, welches mit ihnen in Berührung stehet, zum Gefrieren bringen. Es wäre überflüssig, hier untersuchen zu wollen, ob sich durch eine dicke Wasserschichte die Wärme so leicht strahlend fortpflanzen könne, als wie es M' Keever voraussetzt, da man schon durch eine Beobachtung der einfachsten Art die ganze Erklärungart M' Keever's über den Haufen zu stürzen im Stande ist. Denn wer wird es nicht zugeben, daß diese starke Ausstrahlung, wie sie der irländische Physiker annimmt, viel leichter oder doch wenigstens eben so leicht im stehenden, als im fließenden Wasser Statt finde, und doch hat noch Niemand die Eisbildung im ruhig stehen-

dem Wasser von unten vor sich gehen gesehen. Verlassen wir aber alle diese verunglückten Erklärungsarten, und versuchen es dafür in Ermanglung einer vollständigen Theorie wenigstens die physikalischen Grundbedingungen zu entwickeln, wie sie nach der Ansicht von Arago zur Lösung der Aufgabe unerlässlich sind.

Bekannt ist es, daß wenn man in ein Gefäß Flüssigkeiten von verschiedener Dichte untereinander schüttet, sich immer die dichteste davon bei der Ruhe zu unterst absetzt, die am wenigsten dichte aber an der Oberfläche schwimmt. Dieser hydrostatische Grundsatz ist allgemein gültig, er findet sowol bei Flüssigkeiten von verschiedener chemischer Beschaffenheit, als auch bei einer und derselben Flüssigkeit seine Anwendung, deren einzelne Schichten wegen ungleicher Temperatur eine ungleiche Dichte besitzen; denn die Flüssigkeiten verändern eben so gut wie feste Körper mit der Temperatur ihre Dichte, und zwar nimmt ihre Dichte zu, wenn ihre Temperatur abnimmt. Nur das Wasser macht innerhalb einer bestimmten sehr kleinen Ausdehnung der Thermometer-Skala eine besondere Ausnahme von dieser Regel. Um dieses näher zu erörtern, wollen wir den Fall setzen, das Wasser habe eine Temperatur von $+ 10^{\circ}$ der hunderttheiligen Skala. Lassen wir es nach und nach abkühlen bis zur Temperatur von $+ 9^{\circ}$, so wird es sich dichter finden als bei $+ 10^{\circ}$; bei einer Temperatur von $+ 8^{\circ}$ wird es wieder dichter sein als bei $+ 9^{\circ}$; bei $+ 7^{\circ}$ wieder dichter werden als bei $+ 8^{\circ}$ u. s. f., bis zu 4° C herab. Bei dieser Temperatur wird aber die fernere Verdichtung aufhören. So wird sich z. B. bei dem Uebergange der Temperatur von $+ 4^{\circ}$ auf $+ 3^{\circ}$ schon eine merkliche Verminderung der Dichte einstellen, diese Verminderung wird zunehmen, wenn die Temperatur von $+ 3^{\circ}$ auf $+ 2^{\circ}$, von da auf $+ 1^{\circ}$ und endlich auf 0 Grad herabsinkt. Daraus geht hervor, daß dem Wasser ein Maximum der Dichte zukömmt, welches aber nicht bei der Temperatur, wo es gefriert, sondern schon bei $+ 4^{\circ}$ über Null Statt findet. Nichts ist nun leichter, als diesem gemäß zu bestimmen, wie das Gefrieren in einem stehenden Wasser vor sich gehen müsse. Nehmen wir, wie es kurz vorher geschehen ist, wieder den Fall an, daß das

Wasser in dem Augenblicke, wo ein Nordwind den Frost herbeiführt, durchaus eine Temperatur von $+ 10^{\circ}$ über Null besitze. Die Erkältung des mit der eisigen Luft in Berührung stehenden Wassers wird nun von außen nach innen vor sich gehen. Die Oberfläche, welche nach der Voraussetzung die Temperatur von $+ 10^{\circ}$ C hatte, wird bald auf $+ 9^{\circ}$ abgekühlt sein. Aber bei 9 Graden hat das Wasser eine größere Dichte als bei 10 Graden, somit wird in Folge des früher angeführten hydrostatischen Grundsatzes die an der Oberfläche befindliche und auf 9 Grade abgekühlte Wasserschichte zu Boden sinken, und einer andern noch nicht abgekühlten Schichte Platz machen, deren Temperatur noch $+ 10^{\circ}$ ist. Diese wird nun ihrerseits dasselbe erfahren, was die früher vor ihr an der Oberfläche gewesene Schichte erfuhr, und dieses wird sich so lange wiederholen, bis nach einer hinreichenden Zeit die ganze Wassermasse durch und durch die Temperatur von $+ 9^{\circ}$ haben wird. Das auf 9° abgekühlte Wasser wird sich genau so, wie das Wasser bei $+ 10^{\circ}$, Schichtenweise abkühlen. Jede Schichte wird nämlich nach und nach an die Oberfläche kommen, und daselbst um einen Grad in ihrer Temperatur abgekühlt werden. Dasselbe wird sich in ganz gleicher Art wiederholen, sobald die Masse durch und durch bis auf 8° und auf gleiche Weise sobald sie auf $+ 7^{\circ}$, $+ 6^{\circ}$ und $+ 5^{\circ}$ abgekühlt sein wird. Aber von dem Augenblicke an, wo die Masse bei dieser successiven Abkühlungsart die Temperatur von $+ 4^{\circ}$ erlangt hat, wird es sich anders verhalten, denn bei $+ 4^{\circ}$ hat das Wasser das Maximum seiner Dichte erreicht. Wenn nun durch die fernere Einwirkung der eiskalten Luft der an der Oberfläche befindlichen Schichte wieder ein Grad von ihrer Temperatur entzogen, und sie sonach auf $+ 3^{\circ}$ herabgesetzt sein wird, so hat diese Schichte eine geringere Dichte, als die übrige Masse, auf welcher sie schwimmt, und sie wird daher in ihr nicht mehr unter sinken. Eine fernere Temperatur = Erniedrigung wird dieß noch weniger bewerkstelligen, weil die Wasserschichte desto leichter wird, je mehr sie sich abkühlt. Nun ist aber leicht einzusehen, daß wenn diese Schichte immer an der Oberfläche und fortwährend der erkältenden Einwirkung der Atmosphäre ausgesetzt bleibt, sie bald

ihre vier Wärmegrade verlieren und endlich dahin kommen werde, wo ihre Temperatur gleich Null wird, und sie zu frieren beginnt. Die so an der Oberfläche entstandene Eissrinde ruht, so sonderbar es auch klingen mag, auf einer Flüssigkeitsmasse, deren Temperatur wenigstens am Boden vier Grade über Null beträgt. Das Gefrieren eines stehenden Wassers kann offenbar auf keine andere Weise vor sich gehen, auch glaube ich, hat Niemand das Eis in einem See oder Teiche sich von unten auf zu bilden wahrgenommen. Untersuchen wir nun noch in Kurzem die Modificationen, welche die Bewegung des Wassers in dem früher angezeigten Hergange hervorzubringen vermag. Die Wirkung dieser Bewegung, wenn sie ein wenig rasch ist, oder wenn sie ein Ueberstürzen des Wassers veranlaßt, wenn sie auf unebenem rauhen Boden Statt findet, besteht darin, daß alle Schichten fortwährend untereinander gemischt werden. Das hydrostatische Gesetz, worauf wir uns früher gestützt haben, ist nun nicht mehr gültig; die am wenigsten dichte Wasserschichte befindet sich nicht mehr in einem fort an der Oberfläche, der Strom mischt sie unter die übrige Masse, welche sie erkaltet, und, auf diese Weise abgekühlt, hat die ganze Masse bald durchgehends eine gleiche Temperatur. Fassen wir das bisher Gesagte zusammen, so folgt daraus, daß während in einer Masse stehenden Wassers die Temperatur am Boden nicht unter $+ 4^{\circ}$ betragen kann, dieses in einer bewegten Masse Wassers keineswegs der Fall ist, sondern daß da sowol an der Oberfläche, als auch in der Mitte und am Boden die Temperatur von 0 Grad gleichzeitig Statt finden könne. Es erübriget nur noch zu untersuchen, warum in dem letzteren Falle, wo die ganze Masse die gleiche Temperatur und zwar 0 Grad besitzt, das Gefrieren zuerst am Boden und nicht auch an der Oberfläche beginne. Allein dieß erklärt sich sehr leicht auf folgende Weise. Jedermann weiß, daß es zur Beförderung der Krystallbildung in einer Salzauflösung hinreicht, spitzige oder mit rauher Oberfläche versehene Körper hinein zu legen, daß es gerade die Rauheiten dieser Körper sind, an welchen sich die ersten Krystalle ansetzen, und am schnellsten wachsen. So wie es sich nun hier verhält, so verhält es sich auch mit der Bildung

der Eiskrystalle. Ueberall, wo sich in einem Gefäße, in welchem das Gefrieren vor sich gehen soll, ein Sprung, eine Hervorragung, eine Trennung der Masse vorfindet, da wird sich der Mittelpunkt der Eisbildung entwickeln, da werden sich vorzugsweise die ersten Eisknadeln ansetzen. Offenbar findet das eben Gesagte auch beim Gefrieren der Flüsse Statt, und man wird vollends nicht daran zweifeln, wenn man erwägt, daß die Eisbildung niemals unmittelbar am Boden selbst, sondern immer nur da vor sich geht, wo sich Felsen, Kieselsteine, Holzstücke oder Pflanzen u. dgl. am Boden befinden. Ein anderer Umstand, der, wie es scheint, ebenfalls eine bestimmte Rolle bei dieser Erscheinung spielen kann, liegt in der Bewegung des Wassers selbst. An der Oberfläche ist die Bewegung sehr rasch und heftig, dadurch muß nun der symmetrischen Anordnung der feinen Nadeln und ihrer gegenseitigen Anziehung entgegengewirkt werden, ohne welche die Krystalle, von was immer für einer Natur sie auch seien, weder eine regelmäßige Gestalt noch Festigkeit erlangen können. Dadurch selbst muß aber sogar das erste Entstehen der Krystall-Atome unterdrückt werden. Man kann daher leicht einsehen, wie es komme, daß im schnell fließenden Wasser die Eisbildung an der Oberfläche unterbleibt. Obwol die Bewegung, dieses große Hinderniß der Krystallbildung, am Boden eben so gut wie an der Oberfläche des Wassers besteht, so ist sie doch am Boden wenigstens im hohen Grade vermindert. Es wird daher erlaubt sein vorauszusetzen, daß ihr Einfluß hier zwar die Entstehung eines regelmäßigen und festen Eisgebildes unterdrücken, nie aber ganz verhindern werde, daß mit der Länge der Zeit eine Menge kleiner Eisknadeln sich eine an die andere unregelmäßig anhängen werden, um auf diese Weise jenes lockere, schwammige Eis hervorzubringen, welches man, Hugi's Erfahrung gemäß, so leicht mit dem Schiffsruder durchstoßen kann.

Nebst den bisher angeführten Erklärungsarten über die Bildung des Grundeises, unter welchen die zuletzt angegebene von Urago selbst herrührt und unstreitig unter allen die dem Gange der Natur angemessenste und auf alle Umstände des Phänomens die am allermeisten passende ist, wurde noch in der neuesten Zeit eine andere

ihre sinnreiche Erklärungsart der Grundeisbildung in Flüssen als Gegenstück zu der vorangeführten geliefert. Sie rührt von Gay-Lussac her und wurde im 53. Bande der Annales de Chimie et de Physique bekannt gemacht. Ihr Wesen besteht darin, daß Gay-Lussac als Grund der Erstarrung des Wassers am Boden die von oben mitgebrachte Kälte ansieht, welche an der Oberfläche des Wassers durch Ausstrahlung oder Berührung mit der kalten Luft abgekühlt, von dem Strome nach unten gerissen werden, und am Boden durch das Gefrieren des sie umgebenden Wassers sich festsetzen sollen. Gegen diese Ansicht bringt nun Dr. Mohr aus Coblenz im 3. Stücke des 43. Bandes von Poggendorfs Annalen für Physik und Chemie mehrerer Erscheinungen zur Sprache, welche im Monate Jänner 1838 bei einem starken Froste im Rheine bei Coblenz beobachtet wurden, und welche der von Arago aufgestellten Ansicht ein entscheidendes Uebergewicht geben. Nach Mohr kommt die Bildung feiner Eisknadeln, wie sie Gay-Lussac voraussetzt, im Rheine niemals vor, sondern es bilden sich nur Schollen, welche entschieden auf der Oberfläche des Wassers schwimmen, und nicht zum Untersinken kommen. Die von Scerresby und Parry an den arktischen Meeren beobachteten Eisknadeln entstehen nur sehr selten in kleineren Flüssen, Bächen und Mühlgerinnen. In diesem Falle sind aber diese Eisknadeln vollkommen benezt, und von einer solchen Kleinheit, daß sie kaum eine niedrigere Temperatur als das Wasser haben können. Daß übrigens wirklich keine Eisknadeln gebildet werden, wodurch der Fluß an Durchsichtigkeit verlieren müßte, geht schon aus dem Umstande hervor, daß der Rhein zur Zeit der Grundeisbildung eine Klarheit und ein Grün annimmt, welche er sonst in dieser Gegend niemals, sondern nur bei Constanz oder Schaffhausen besitzt. An Stellen, wo die Tiefe 6 bis 8 Fuß beträgt, kann man die Beschaffenheit des Bodens deutlich wahrnehmen, so daß Leute aus der armen Volkclasse diese Durchsichtigkeit während des Frostes dazu benützen, um an den Landungsplätzen der Schiffe versunkene Gegenstände wieder heraufzubeulen. Zu einer solchen Zeit geht aber die Grundeisbildung am reichlichsten vor sich. In welchem he-

hen Grade dieß Statt finde, kann man aus folgender Thatfache entnehmen. Die Ankerketten der Schiffbrücke, welche Ehrenbreitstein und Coblenz verbindet, werden, während die Brücke abgebrochen ist, in das Flußbett versenkt, und nach dem Eisgange an der Suchkette wieder aufgezo-gen. Diese Ketten haben sich an den tiefsten Stellen des Rheins so sehr mit Grundeis beladen, daß sie sämtlich gehoben worden sind. Die täglich überfahrenden Kähne passiren hundertmal diese schwimmenden Ketten.

Im Jahre 1830 wurde bei einem sehr heftigen Eisgange der Mosel das Eis derselben eine Meile weit aufwärts in das Bett des Rheins getrieben, indem der Fluß unterhalb noch fest war. Bei diesem Stauen des Eises gegen den Strom des Rheins ging das Eis fast auf den Boden, und riß mehrere Anker und Ketten der Schiffbrücke los. Einer dieser Anker ist in diesem Jahre bei dem Dorfe Pfaffendorf, eine Viertelstunde oberhalb der Brücke, durch das Grundeis gehoben worden. Er lag an einer sehr tiefen Stelle, und wurde sammt der Kette wieder herausgezogen. Ein anderes nicht minder interessantes Factum ist noch folgendes: Die Zoche der Schiffbrücke konnten wegen des niedrigen Wasserstandes nicht in den Sicherheitshafen gefahren werden, und mußten also im Flusse bleiben. Als endlich der Frost aufhörte, und der Eisgang erwartet wurde, war an dem Boden eine Schicht von 5 rhein. Fuß Dicke schwammigen Grundeises angewachsen, welches, da es mechanisch nicht entfernt werden konnte, den Eingang der Schiffe in den Hafen unmöglich machte. Man war genöthigt, eine wärmere Temperatur des Flusses und der Luft abzuwarten, wobei sich diese ungeheuere Masse von selbst löste, und die Schiffe flott machte. Die Schiffe haben an sich ungefähr 18 Zoll Tiefgang, so daß die unterste Schichte des Grundeises $6\frac{1}{2}$ Fuß unter der Oberfläche des Wassers war.

Aus allen diesen Thatfachen scheint nun hervorzugehen, daß die von Gay-Lussac gegebene Erklärung nicht die richtige sei, denn für's erste sind während der Grundeisbildung durchaus keine Eisnadeln im Flusse bemerkbar, für's zweite geht die Grundeisbildung in einer Tiefe vor sich, bis zu der es durchaus unmöglich ist, daß eine

erfaltete Eisnadel gelangen könnte, ohne die Temperatur des sie umgebenden Wassers anzunehmen. Es ist aber auch nicht recht begreiflich, wodurch eine solche Eisnadel bis zu einer Tiefe von 6 bis 8 Fuß hinabgeführt werden könnte, da die Bewegung des in einem ebenen Bette gehenden Flusses bloß in horizontaler Richtung geschieht; und wenn es auch Statt finden sollte, daß eine bis zu mehreren Graden unter Null abgekühlte Eisnadel wirklich untergetaucht würde, so ist es wol das Natürlichste, daß sie aus dem gerade gefrierrechten Wasser eine mehr oder minder dicke Schichte von Eis um sich ansetze, wodurch sie um so leichter wieder zum Steigen gebracht werden muß. Uebrigens ist der von Gay-Lussac angestellte Versuch mit stark abgekühlten Erbsen, in eiskaltes Wasser geworfen, wobei dasselbe am Boden zum Gefrieren gebracht wurde, so gefällig er sich auch darstellt, eigentlich doch nicht beweisend, weil dabei ganz andere Umstände obwalten; denn die Erbsen waren außerhalb des Wassers stark abgekühlt, während die Eisnadel im Wasser schwimmen muß; die Erbsen sind schwer, rund, fallen schnell zum Boden und bleiben vermöge ihrer Schwere am Boden liegen, während die Eisnadel dünn und flach sich nur sehr langsam durch eine hohe Wasserschichte herabbewegen und beim geringsten Anstoße das Bestreben, in die Höhe zu steigen, äußern würde. Man kann ferner wol begreifen, wie untergetauchte sehr kalte Eisschollen ihr Volumen vergrößern, auch wol zwei aneinander frieren können, aber nicht wie es zugehen soll, daß sie an dem Boden anstieren, an dem sie nichts fest hält und andrückt. Endlich ist ein andauernder Frost dazu erforderlich, ehe die Grundeisbildung eintritt, weil nämlich die nachströmende Erdwärme dem Boden noch lange für die Abkühlung Ersatz leistet. Hervorragende Körper, welche also mit der Erde in geringerer Berührung stehen, kühlen sich am ersten ab, und geben dem Grundeise die Initiative. Sobald das Wasser des Flusses nur ein wenig über dem Gefrierpunkte ist, quillt die Erdwärme nach und schmilzt das Grundeis vom Boden weg. Auf diese Gründe gestützt, hält nun Mohr dafür, daß die Arago'sche Erklärungsart sich immer noch leichter an die Erscheinung anschließen lassen möchte.

Nachdem ich die bisher an andern Orten und Flüssen über das Grundeis gemachten Erfahrungen, so weit sie bekannt wurden, mit allen sie begleitenden Umständen angeführt, und zugleich die darüber versuchten Erklärungsarten mitgetheilt habe, will ich jetzt meine an der Mur über denselben Gegenstand angestellten Beobachtungen hier anknüpfen, und alle von mir erhobenen Umstände, wie sie mit der Erscheinung des Eises an der Mur verbunden sind, so genau als möglich angeben. Bei meinen Beobachtungen unterscheide ich solche, die ich vor, während und nach dem Erscheinen des Eises am Flusse anstellte. Zunächst handelte es sich mir darum, die Temperatur der Luft sowol als des Wassers kurz vor dem Erscheinen des Eises kennen zu lernen. In dieser Beziehung verschaffte ich mir durch lange fortgesetztes und täglich wiederholtes Beobachten die Ueberzeugung, daß zum Vorkommen desselben an der Mur nicht bloß eine gewisse Erniedrigung der Temperatur erfordert werde, sondern daß sie auch eine gewisse Zeit lang anhalten müsse. So ergab es sich mir bei meinen Beobachtungen, daß schon eine Temperatur der Luft von 5 bis 6 Graden R unter Null hinreicht, auf der Mur einherschwimmendes Eis zur Folge zu haben, sobald sie länger als 24 Stunden dauert, und während dieser Zeit keine bedeutenden Veränderungen erleidet. Eine rasch eintretende selbst bedeutende Temperaturs-Erniedrigung vermag kein solches Eis zu erzeugen, sobald sie nicht über 24 Stunden anhält. So gab es einzelne Tage, wo die Temperatur 9 bis 10 Grade R unter Null herabsank, ohne Eis zu bringen, weil die niedrige Temperatur kaum einen Tag anhält, und dann rasch wieder in die Höhe ging. Die dabei berücksichtigten Temperaturs-Verhältnisse des Wassers an der Oberfläche zeigten sich immer unter Null, doch mehr oder weniger davon entfernt, je nachdem die äußere Luft-Temperatur mehr oder weniger tief unter Null gesunken und dabei anhaltend war. So lange die Temperatur des Wassers während der Zeit, wo die äußere Kälte über 24 Stunden anhält, immer unter Null blieb, war die Hauptbedingung zum Erscheinen des Eises vorhanden, denn niemals blieb dasselbe dann aus. Bei plötzlich eingetretener, selbst bedeutender aber nicht über 24 Stun-

den anhaltender Kälte fand ich zwar die Temperatur des Wassers am Morgen stets unter Null, allein sie stieg im Laufe des Tages etwas über Null, und so oft dieß der Fall war, kam das Eis am andern Tage nicht zum Vorschein, blieb also nach 24 Stunden aus, wo es sonst immer zum Vorscheine gekommen wäre. Hieraus ergibt sich, daß zum Erscheinen des auf der Mur dahin schwimmenden Eises zwar keine so niedrige Temperatur an sich erfordert werde, es aber dagegen eine Hauptbedingung zum Vorkommen desselben sei, daß die an sich mäßige Kälte hinreichend lange und zwar so anhalte, daß die Temperatur des Wassers während der ganzen Zeit nicht über Null steige. Man kann als Temperaturgrenze für die äußere Luft 5 bis 6 Grade unter Null und als Zeitgrenze wenigstens 24 Stunden annehmen, wodurch die früher genannte Bedingung erfüllt wird. Wenigstens ist mir in den zwei Wintern, 1837 und 1838, während welchen ich meine Aufmerksamkeit auf diesen Gegenstand richtete, niemals der Fall vorgekommen, daß bei einer Temperatur der Luft, welche nicht 5 Grade unter Null erreichte, selbst wenn sie über 24 Stunden dauerte, und eben so wenig bei einer 5 Grade unter Null weit übersteigenden Lufttemperatur, wenn sie weniger als 24 Stunden anhielt, die Mur an ihrer Oberfläche Eis getrieben hätte.

Die Menge und Beschaffenheit des unter den angegebenen Temperaturs-Verhältnissen auf der Mur zum Vorscheine kommenden Eises richtet sich gleich anfangs nach der früher Statt gehabten und andauernden Kälte, und es zeigt sich hierin unter verschiedenen Umständen ein bedeutender Unterschied. Beträgt die vorausgegangene Temperatur der Luft nicht viel über 5 Grade unter Null, etwa $6\frac{1}{2}$ bis 6 Grade, so ist die Menge des nach 24 Stunden zum Vorscheine kommenden Eises nicht bedeutend; einzelne kleine die Form von dünnen Schollen habende Eisklümpchen kommen an der Oberfläche des Wassers in großen Zwischenräumen von einander abgehend daher geschwommen, und man sieht ihnen schon ihr lockeres Gefüge von weitem an, da sie vom Wasser ganz durchzogen, eine schmutzig grüne Farbe haben, und wenn sie vom Strome an solche Stellen geführt werden, wo das Wasser Wellen wirft, sie durch die hef-

tige Bewegung in ihre kleinsten Theile zerstäuben. Betrachtet man dieses Eis, so lange es noch im Wasser, aber an einer ruhigen Stelle in der Nähe des Ufers schwimmt, so erblickt man es als eine faserige galtertartig aussehende Masse, welche, wenn sie herausgefischt wird, sich aus feinen und kurzen Eisnadeln von hellglänzender Farbe, welche locker zusammenhängen, gebildet zeigt. Nicht selten habe ich an seichten Uferstellen solche feine Eisfasern vom Boden aufsteigen gesehen, bei denen es den Anschein hatte, als wären sie kurz zuvor dort entstanden, da in der Nähe kein anderes Eis vorüber schwamm. Doch will ich es nicht mit Gewißheit behaupten, da es mir nicht möglich war, mein Auge dem Orte, woher sie aufstiegen, so nahe zu bringen, um ihr Entstehen dort genau zu sehen.

Bleiben die Temperatur-Verhältnisse längere Zeit dieselben, so vermehrt sich zwar die Menge des vorkommenden Eises, aber seine sonstige Beschaffenheit ändert sich kaum merklich und nur darin, daß die Eisnadeln nicht mehr so fein, sondern etwas stärker, und zwar breiter geworden sind.

Nach vorausgegangener starker und anhaltender Temperatur-Erniedrigung der Luft, etwa auf 10 bis 12 Grade unter Null, erscheint nach Verlauf von 24 Stunden gleich anfänglich eine bedeutende Eismenge, welche in größeren Massen zusammengeschoben das Aussehen von großen Eischollen hat, die nur durch kleine Zwischenräume von einander getrennt, auf der Oberfläche des Wassers daher schwimmen, und dieselbe fast ganz bedecken. Sie scheinen wol, so lange sie an ruhigen Stellen des Flusses schwimmen, mehr Consistenz zu haben, allein so wie sie an Stellen kommen, wo das Wasser in heftiger Bewegung ist und Wellen schlägt, da sieht man aus ihrem leichten Zertheilen in eine Menge kleiner Bestandtheile, daß auch sie noch ein sehr lockeres Gefüge haben. Ihre außerhalb des Wassers befindliche Oberfläche ähnelt schon mehr dem festen Eise, und sieht aus, als wäre sie mit einer dünnen Lage Schnee's bedeckt, wodurch sie ein rauhes unebenes Aeußeres bekommt. Untersucht man die Masse einer solchen scheinbaren Eischelle näher, so findet man, daß sie eine bedeutende Dicke hat, und tief im Wasser geht, daß aber

die Masse von den Rändern nach abwärts conisch zuläuft und nicht eine Art von Platte, sondern mehr einen Klumpen bildet. Uebrigens besteht sie aus einem losen Conglomerate von kleinen, etwa Linsen großen dünnen Eisplättchen, welche aber mehr länglich als rund sind, und durch Capillarattraction zusammen zu hängen scheinen. So lange sie im Wasser in großer Menge beisammen sind, bilden sie eine schwammige, zusammengeballtem und in Wasser getauchtem Schnee ähnliche Masse, welche aber außerhalb des Wassers in lauter hellglänzende und durchsichtige längliche Eisplättchen zerfällt. Diese sind offenbar nichts anders, als die der Länge und Breite nach vergrößerten Eisnadeln der früher besprochenen Art gelatinösen und faserig aussehenden Eises. Daraus wird ersichtlich, daß sich die letztere Art von Eis von der erstern keineswegs dem Wesen, sondern nur der Form nach unterscheidet. Bei den ersteren sind die daselbe constituirenden Theile sehr dünne und der Zahl nach noch wenige, der Art nach leicht zusammenhängende Eisnadeln, daher die geringe Masse, ihr gallertartiges, faseriges, flockiges Aussehen; bei letzteren sind dagegen der Theile schon mehrere, die einzelnen haben schon eine größere Masse, und es ist die Nadelform bereits in die von Plättchen übergegangen, welche zwar ebenfalls noch lose, aber doch schon stärker zusammen hängen, und daher die größere Masse der vorkommenden Schollen, ihre scheinbar größere Consistenz, ihr dem Eise mehr ähnliches Aeußere, ihr schwammiges innere Gefüge. Ersterem sieht man es noch ganz deutlich an, daß es eben erst entstanden, und in der Ausbildung begriffen, letzteres aber schon darin bedeutend vorgeschritten sei. Offenbar liegt der Grund davon für das erstere in der vorausgegangenen mäßigen, für das letztere aber in der stärkeren Kälte sowol der Luft als des Wassers.

Dauert die Kälte längere Zeit in gleichem Grade fort, oder nimmt sie sogar an Stärke zu, so vermehrt sich die Anzahl und Größe der daher kommenden Schollen; sie nehmen an Dike und Consistenz merklich zu, indem sich an der Oberfläche durch Zusammenfrieren der Eisplättchen eine feste Eisschicht bildet, unterhalb welcher aber die übrige im Wasser gehende Masse noch immer schwamm-

nig und locker zusammenhängend ist. Wenn man gegen eine solche Scholle mit dem Stocke stößt, so findet man von Seite der oberflächlichen Eisschicht einen schwachen Widerstand; so wie aber diese durchbohrt ist, so fährt der Stock durch die unterhalb befindliche Masse ungehindert durch. Ohne allen Zweifel ist diese oberflächliche feste Eisschicht erst später und zwar durch die längere Zeit Statt gehabte Verührung der Masse an ihrer Oberfläche mit der äußern sehr kalten Luft entstanden. Sobald diese eben besprochenen Schollen an solche Stellen gerathen, wo das Wasser ruhig fließt oder gar stagnirt — und dieß ist meistens in der Nähe derjenigen Ufer der Fall, von welchen der Stromstrich abgewendet, und wo das Wasser seicht ist oder das Ufer eine Art von Bucht bildet — so schieben sich mehrere derselben dort zusammen, und indem sie an einander frieren, bilden sie eine feste aber holperige und unebene Eisdecke, welche in das Wasser mehrere Schuhe hinausragt und unter dem Namen des Ufereises bekannt ist. Mit der Zeit wird diese Eisdecke durch das Anfrieren der unterhalb befindlichen schwammigen Eismasse so dick und fest, daß man sie ohne Gefahr betreten, und auf ihr herumgehen kann. Das eine solche Decke bildende Eis unterscheidet sich aber wesentlich von jenem, welches die Eisdecke auf ruhig stehendem Wasser, z. B. in einem Teiche bildet. Letzteres ist hell, durchsichtig und hat in dicken Schichten eine bläulich grüne Farbe, ersteres dagegen ist undurchsichtig und zeigt eine weißliche, an zusammengefrorenen Schnee mahnende Farbe. Das eine hat eine ebene glatte Oberfläche, das andere ist rauh, holperig und trägt recht deutlich die Spuren, wo die aneinander geschobenen Schollen zusammengefroren sind.

Wenn man nun alles das, was ich über die Beschaffenheit und das Verhalten des auf der Mur vorkommenden, von mir in den verschiedenen Stadien beobachteten Eises angeführt habe, mit dem zusammen hält, was die früher aufgezählten Beobachtungen und Erfahrungen Anderer über das Grundeis an andern Orten und Flüssen gelehrt haben, so läßt es sich nicht läugnen, daß es alle Eigenschaften und Erscheinungen des sogenannten Grundeises zeigt, und daher schon deshalb in einerlei Kategorie mit ihm gesetzt zu werden verdient,

und dieses um so mehr, als man sich recht leicht und deutlich überzeugen kann, daß das auf der Mur vorkommende Eis am Grunde des Wassers entstehe, und von da zur Oberfläche steige. Denn abgesehen von dem von mir sehr oft beobachteten und schon früher angegebenen Factum, daß ich an seichten, dem Ufer nahe gelegenen Stellen solches Eis in die Höhe kommen sah, kann man besonders nach sehr kalten Tagen an solchen Stellen, wo das Wasser seicht, nicht zu rasch bewegt, und der Grund mit Flußgerölle bedeckt ist, alle Steine mit einer ziemlich dicken Schichte Eis überzogen finden, welches von derselben Beschaffenheit, wie das an der Oberfläche einher schwimmende Eis ist. Von Zeit zu Zeit lösen sich größere Stücke dieser schwammigen Eismasse von dem Gesteine los, steigen in die Höhe und schwimmen an der Oberfläche zuerst vereinzelt, dann aber, wenn ihrer mehrere zusammentreffen, wegen ihres lockeren Gefüges zu einer größeren und ausgedehnteren Masse vereinigt. Bedenkt man nun, daß die Mur bis Scheifling herab in der Regel so seicht ist, daß man sie überall durchwaten kann, daß dieses bei sehr niedrigem Wasserstande, wie dieses im Winter fast durchgehends der Fall ist, auch noch weiter abwärts bis Ehrenhausen an sehr vielen Stellen möglich ist, daß ferner die Mur in ihrem Laufe bis Grätz eine sehr große Menge kleiner Bäche mit sehr raschem Laufe und seichtem Bette aufnimmt; so wird man es begreiflich finden, daß in der ganzen Strecke bis Grätz auf dem fast gleich beschaffenen mit Gerölle bedeckten Grunde des Flusses und der sich einmündenden Bäche überall solches Eis, wie man es hier an mehreren Orten finden kann, in sehr großer Menge entstehen, nach und nach an der Oberfläche zum Vorschein kommen, und in seinem Laufe zu größeren Massen vereinigt, in Form von ausgedehnten Schollen dahergeschwommen kommen müsse.

Hören die das Erscheinen des Grundeises begleitenden Temperaturs-Verhältnisse, sowol in der Luft als im Wasser nach und nach auf, so vermindert sich auch nach und nach die Menge des vorkommenden Eises, und verschwindet endlich nach einem oder höchstens zwei Tagen; tritt jedoch plötzlich Thauwetter ein, so ist auch schon nach wenigen Stunden keine Spur vom Grundeise vorhanden.

Obwol es schon aus den von Mohr in Coblenz bereits mitgetheilten Beobachtungen über die Grundeisbildung am Rheine hervorgeht, daß unter den verschiedenen bisher üblichen Erklärungsarten des Phänomens die von Arago gegebene unstreitig die beste, dem Gange der Natur angemessenste und allen das Phänomen begleitenden Umständen die am meisten genügende ist; so zeigt überdieß eine genaue Erwägung aller durch meine Beobachtungen beim Erscheinen des Grundeises an der Mur constatirter Temperatur-Verhältnisse, und der übrigen damit verbundenen Umstände, daß sich das Phänomen nach der von Arago aufgestellten Ansicht in seinem ganzen Umfange vollständig erklären, und daher nichts mehr zu wünschen übrig lasse, als daß man die Entstehung des Eises am Grunde des Wassers selbst mit eigenen Augen zu sehen bekäme, um auf diese Weise dem einzigen noch möglichen Einwurfe begegnen zu können, als sei dieses am Grunde des Wassers factisch nachgewiesene Eis nicht etwa durch was immer für eine Ursache von oben herunter gebracht worden, sondern daselbst unmittelbar entstanden. Da dieses jedoch im offenen Flusse nicht so leicht ausführbar ist, so beschloß ich in dieser Hinsicht ein experimentum crucis zu machen, und Grundeis selbst unter meinen Augen zu erzeugen. Zu diesem Behufe suchte ich nämlich in einem hierzu geeigneten Wasserbehälter alle jene Umstände möglichst genau herbei zu führen; wie sie an jenen Stellen im Flusse Statt finden, wo ich das Eis am Grunde wahrgenommen hatte. Sollte es mir nun, so schloß ich, bei diesen Versuchen gelingen, das Eis am Grunde des dazu gewählten Wasserbehälters zuerst entstehen zu sehen, so glaube ich mit Recht behaupten zu können, daß das am Grunde des Flusses wahrgenommene Eis auch daselbst zuerst entstanden sein müsse. Die dahin zielenden Versuche habe ich in folgender Weise angestellt. Ich nahm eine ovale 7 Zoll hohe, 8 Zoll breite und 15 Zoll lange etwa acht Maß Wasser haltende gläserne Wanne, damit ich nicht bloß von oben, sondern auch durch die Wände derselben hindurch sehen, und so den innern Verlauf der Sache genau bemerken konnte. Diese Wanne stellte ich unter freiem Himmel, vor dem Einflusse der Sonnenstrahlen geschützt,

auf, und füllte sie mit Murwasser voll an. In das Wasser tauchte ich zwei Thermometer mit auf Glas getheilter Skala, und zwar reichte die Kugel des einen bis auf den Boden der Wanne, die des andern aber nur in die oberste Schichte des Wassers, um dadurch die Temperatur des Wassers oben und unten zu erfahren. Den Boden der Wanne belegte ich mit kleinem aus der Mur genommenen Gerölle, um ihn dem Flußbette möglichst gleich zu machen. Bei einem ganz heiteren Himmel, an einem Tage, wo die äußere Lufttemperatur 9° R unter Null war, und die Mur sehr reichliches Grundeis trieb, begann ich des Morgens um 9 Uhr mit einem Vorversuche, indem ich das Wasser ruhig stehen, und der Einwirkung der Kälte überließ. Das Wasser hatte anfänglich eine Temperatur von 5° R über Null, da es absichtlich früher in der Sonne etwas erwärmt wurde. Nach etwa zwei Stunden zeigte das Thermometer in der obern Wasserschichte eine Temperatur von $+ 1^{\circ}5$ R, während das Thermometer am Boden eine Temperatur von $+ 3^{\circ}8$ R angab. Nach Verlauf von einer halben Stunde zeigte das obere Thermometer auf 0 Grad, während das untere auf $+ 3^{\circ}$ R stand. Dabei waren schon die ersten feinen Eisknadeln an der Oberfläche sichtbar, zum Zeichen, daß das Gefrieren daselbst eintrat. Nach kurzer Zeit war die Oberfläche mit einer dünnen Eisschichte überzogen, während die Temperatur des Wassers am Boden unverändert bei $+ 3^{\circ}$ R stehen blieb. Die Dicke der Eisschichte an der Oberfläche nahm fortwährend zu, ohne daß sich die Temperatur am Boden merklich änderte; auch zeigte sich am Boden nirgend eine Spur von Eisbildung. Es verhielt sich demnach bei diesem Versuche die Sache gerade so, wie sie der Theorie nach auch Statt finden sollte. Ganz anders aber zeigte sich der Verlauf der Sache bei dem am folgenden Tage wieder angestellten etwas abgeänderten Versuche. Es wurde am andern Morgen um 9 Uhr bei einer Temperatur von 8° unter Null wieder damit begonnen, frisches und ganz eisfreies Murwasser in die Wanne einzufüllen, und den Boden derselben mit Gerölle auf gleiche Weise, wie Tags zuvor, zu bedecken. Die beiden eben so wie früher angebrachten Thermometer zeigten anfänglich eine Temperatur von $+ 5 \frac{1}{4}^{\circ}$

R an. Hierauf wurde die Oberfläche durch fortwährendes Plätschern in Bewegung erhalten, und von Zeit zu Zeit mit einem Stabe durcheinander gerührt. Dieses geschah so oft, als das obere Thermometer eine niedrigere Temperatur gegen das untere zeigte, und wurde so lange fortgesetzt, bis beide auf einerlei Temperatur gebracht wurden. Dadurch sank die Temperatur der ganzen Wassermasse gleichmäßig auf 5, 4, 3, 2 Grade, und so weiter bis auf 0 Grad herunter, worauf die Eisbildung eintrat; war aber bei dem am verfloßenen Tage angestellten Vorversuche eine Zeit von drei Stunden dazu schon hinreichend gewesen, so betrug die bei diesem Versuche dazu nöthige Zeit nahe das Dreifache der früheren, und die Eisbildung begann dabei nicht an der Oberfläche, sondern am Boden. Indem ich durch die Seitenwände der gläsernen Wanne nahe am Boden hinblickte, gewahrte ich an einzelnen daselbst liegenden Geröllsteinchen sehr feine Eisnadeln büschelförmig nach allen Richtungen hin anschießen, welche sich allmählig vergrößerten, und zu dünnen Blättchen heranwuchsen; an diese setzten sich nach einiger Zeit in Form von kleinen Nestchen neuerdings feine Eisnadeln an, und so sah ich deutlich jenes Gebilde entstehen, welches ich schon früher mehrmals in der Mur schwimmend beobachtet hatte. Während dieses am Boden vor sich ging, war weder an der Oberfläche, noch sonst wo in der übrigen Wassermasse eine Spur von Eisbildung zu bemerken. Wurde das Gefäß nur leicht erschüttelt, so lösten sich die gebildeten Eisfloeken von dem Gesteine los, und stiegen in die Höhe.

Klar ist es, daß das, was hier im kleinen Maßstabe vor sich ging, wol auch in der Natur im Großen vor sich gehen werde, und 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 abgethan halte.