

**Kgl. Bayer. Akademie
der Wissenschaften**

Sitzungsberichte

der

königl. bayerischen Akademie der Wissenschaften

zu München.

Jahrgang 1861. Band I.

München.

Druck von J. G. Weiss, Universitätsbuchdrucker.

1861.

In Commission bei G. Franz.

schere Verdunstung eintritt, so kann dieselbe die beobachtete Thatsache nicht im Entferntesten veranlassen. Denn ein grösserer localer Wasserverlust könnte eine Strömung der Wassertheilchen nur bis zu dem Grade hervorrufen, dass eine gleichmässige Vertheilung derselben in der ganzen Masse stattfände; er könnte aber nicht alles Wasser an die Verdunstungsstelle hinziehen und daselbst anhäufen.

Die Bewegung der Flüssigkeit in der austrocknenden Kartoffel wird daher durch innerliche Kräfte bewirkt; wie wir diess auch weitaus zum grössten Theil für das Saftsteigen in den Bäumen annehmen müssen (vgl. Pflanzenphysiologische Untersuchungen I. pag. 26). Welcher Natur diese Kräfte sind, ist noch unbekannt. — Uebrigens ist die beobachtete Erscheinung nicht neu; es ist längst bekannt, dass Sprosse von sogenannten Fettpflanzen, wenn sie trocken sind, an der Spitze fortwachsen und neue Blätter bilden können, indess sie am Grunde vertrocknen und absterben. Allein diese Thatsache, deren Bedeutung für die Lehre von der Säftebewegung unbeachtet blieb, stellt sich bei der Kartoffel viel einfacher und anschaulicher dar, und weist viel deutlicher auf die dabei stattfindenden innerlichen Vorgänge hin.

c) „Ueber die Wirkung des Frostes auf die Pflanzenzellen.“

Die vorstehenden Untersuchungen veranlassen mich zu einer Bemerkung über den Einfluss, den niedere Temperaturgrade auf die Zellen haben. Es sind zwei Fragen, über welche die Botaniker noch ungleicher Meinung sind: 1) Gibt es Zellen, deren Säfte ohne Gefahr für ihre Lebensfähigkeit gefrieren können? 2) Welche Veränderungen bewirkt der Frost in der Membran und im Inhalt?

Die erste Frage kann zwar durch die Erfahrungen und Beobachtungen von Linné, Duhamel, Dupetit-Thouars, Schübler,

Treviranus, Göppert u. A. als erledigt betrachtet werden, in dem Sinne, dass viele Pflanzengewebe gefrieren können ohne zu leiden, dass andere dagegen dadurch getödtet werden. Ich würde sie auch gar nicht berühren, wenn nicht neuerdings wieder zweifelnde Stimmen sich erhoben hätten, während andere Pflanzenphysiologen von der Wirkung der Kälte gar nicht sprechen. Reum (Pflanzenphysiologie p. 168) von der theoretischen Hypothese ausgehend, dass beim Gefrieren das Pflanzenleben durch die elementaren Kräfte nothwendig vernichtet werde, spricht die unhaltbare und nicht bewiesene Behauptung aus, nur die erfrorenen Pflanzentheile seien wirklich gefroren gewesen, die den Frost überdauernden dagegen hätten sich nur in einem erstarrten Zustande befunden, in welchem die Säfte sehr stark contrahirt und die Gewebe sehr zerbrechlich waren. Auch Schacht (*Anat. und Phys.* II, 528) glaubt, dass die Eisbildung der Säfte unfehlbar ein Absterben der erfrorenen Zellen zur Folge habe, und dass in den ausdauernden Pflanzentheilen die lebenskräftigen Gewebe durch die abgestorbene Rinde vor dem Gefrieren geschützt werden, welche ein schlechter Wärmeleiter sei. Die zahlreichen von frühern Beobachtern angeführten That-sachen werden von ihm weder erwähnt noch widerlegt.

Es gibt zwei Gründe, welche beweisen, dass viele den Winter über ausdauernde Pflanzentheile wirklich gefrieren. Der eine besteht darin, dass dieselben Verhältnissen ausgesetzt sind, welche diese Wirkung mit physikalischer Nothwendigkeit herbeiführen. Wenn auch die Baumrinde die Wärme schlecht leitet, so schützt sie doch nicht vollständig, und es müssen die Bäume und Sträucher in unsern Alpen und im hohen Norden nach wochen- und monatelanger Kälte die Lufttemperatur annehmen. Ueberdem ist ja im Innern der Baumstämme eine Kälte von — 15 und — 17° C. nachgewiesen. Die Kartoffeln, welche in den beiden vorher (p. 240, 244) beschriebenen Versuchen dem Froste ausgesetzt wurden, waren, wie der Erfolg zeigte, obgleich mit einer vielschichtigen Peridermschale bedeckt, wirklich gefroren. Die den nämlichen Temperaturgraden ausgesetzten Aepfel muss-

ten ebenfalls gefrieren, weil sie nur von einer dünnen Cuticula geschützt waren, wenn schon die Wirkungen des Frostes sich nicht einstellten. Ebenso sind die immergrünen Blätter der Nadelhölzer, der Stechpalme, des Buchsbaums durch keine Rinde geschützt; in gleicher Weise verhalten sich Moose und Flechten an Baumstämmen und Felsen. Und denkt man gar an die zahlreichen, aus einer einzigen Zelle oder aus einer einfachen Reihe von Zellen bestehenden Algen, welche in Bächen, an Brunnen, Wasserfällen, Felsen und Mauern, auf Baumrinde, selbst auf dem ewigen Schnee leben und bloss durch eine mit Wasser getränkte Membran von $\frac{1}{50}$ bis $\frac{1}{100}$ M. M. und darunter geschützt sind, so ist es ganz sicher, dass bei diesen Gewächsen die Zellen genau der umgebenden Temperatur folgen und somit gefrieren, obgleich bei sehr vielen ohne nachtheilige Folgen für ihr Leben. — Es versteht sich aber, dass das Festwerden der Zellflüssigkeit nicht immer schon erfolgt, wenn ihre Temperatur auf Null sinkt; sondern dass die Erstarrungspunkte, entsprechend den Concentrationsgraden, tiefer liegen. Unter welchen Bedingungen das Imbibitionswasser, welches Zellmembranen, Stärkekörner, Protoplasmakörper durchdringt und die Intermolecularräume derselben erfüllt, sich in Eis verwandelt, darüber lässt sich kaum eine Vermuthung aussprechen.

Ein zweiter Grund, welcher das Gefrieren von ausdauernden Pflanzentheilen beweist, findet sich in den Erscheinungen, welche dieselben nach der Einwirkung des Frostes darbieten. Es versteht sich, dass in einem aus mikroskopischen Zellen bestehenden Gewebe weder Eiskrystalle noch Eiszapfen, von denen früher etwa gesprochen wurde, gesehen werden können. Aber die Theile werden fest, starr, brüchig und zeigen dadurch deutlich, dass ein Theil ihrer Masse in einen andern Aggregatzustand übergegangen ist; die Bruchflächen sind weisslich und etwas glänzend. Diese Veränderung ist um so grösser und bemerkbarer, je mehr Wasser sie enthalten. Allerdings wird sie in manchen Geweben mit sehr kleinen Zellen und mit wenig Zellflüssigkeit nur schwer wahrgenommen, doch gibt es genug

Fälle, wo das Gefrieren unzweifelhaft ist. — Damit stimmt eine andere Erscheinung überein. Wenn man Wasser von 0 Grad und eine gleiche Menge Eis von derselben Temperatur in einen warmen Raum bringt, so erwärmt sich ersteres viel schneller als letzteres, weil das Eis beim Schmelzen eine grosse Menge latenter Wärme aufnimmt. In dem geheizten Zimmer nahmen die ungefrorenen Kartoffeln viel schneller die Temperatur desselben an als die gefrorenen. Die Aepfel verhielten sich in dieser Beziehung wie die Kartoffeln und dadurch allein schon zeigte sich deutlich, dass ihr Wasser wirklich in Eis sich verwandelt haben musste. — Für manche Pflanzentheile dürfte vielleicht der einzige Weg, um auszumitteln, ob das sie durchdringende Wasser wirklich gefroren ist, der sein, dass man bestimmt, wie viel Wärme es braucht um sie in eine gewisse über Null liegende Temperatur zu versetzen.

Die zweite Frage ist die, welche Veränderungen das Gefrieren in der Membran und in dem Inhalte der Pflanzenzellen bewirke. Man hat ziemlich allgemein angenommen, dass die Membranen beim Gefrieren des Inhaltes zersprengt werden; und es lag diese Annahme nahe, weil das erstarrende Wasser dieselbe Wirkung auf Gefässe mit festen Wandungen ausübt, und weil nach dem Aufthauen eine reichliche Menge Wasser ausfliesst. Göppert indess (Ueb. Wärmeentw. i. d. Pfl. 25) kam durch zahlreiche Beobachtungen an gefrorenen Pflanzentheilen zu dem Resultate, dass die Zellmembranen nicht zerrissen sind. Auch Schacht sagt, man überzeuge sich leicht, dass wenigstens diejenigen Zellen gefrorener Kartoffeln, welche das Stärkemehl enthalten, nicht zersprengt seien. Ich habe gefrorene Kartoffeln und andere Pflanzentheile ebenfalls mikroskopisch untersucht und keine Risse gesehen. Allein, bei Erwägung aller Möglichkeiten, konnte ich damit die Frage doch nicht als entschieden betrachten. Die Zellen liegen in einem Gewebe und man sieht von jeder immer nur eine der 6 bis 8 Flächen deutlich; sie haben ferner einen verschiedenartigen Inhalt, welcher die genaue Untersuchung erschwert oder hindert; endlich würden die Risse

der elastischen Membran nach dem Aufthauen und Ergiessen eines Theiles der Zellflüssigkeit natürlich sich wieder schliessen und beinahe oder gänzlich unsichtbar werden. Selbst wenn man eine solche Zelle völlig frei machen und nach allen Richtungen drehen könnte und wenn ihr Inhalt vollkommen durchsichtig wäre, so würde ich den anscheinenden Mangel von Rissen noch nicht für entscheidend halten.

Es schien mir daher wünschenswerth noch auf einem andern Wege Gewissheit über diese Frage zu erhalten. Ich wählte *Spirogyra*, deren Zellen durch den Frost getödtet und schlaff werden, wie die Zellen der Kartoffeln und saftigen Blätter, und deren cylindrische Glieder der Beobachtung günstiger sind als Gewebezellen von körperlichen Organen. Ich liess Fäden einer der dickern Arten (*Sp. orthospira* Näg.) in einem Wassertropfen auf dem Objectträger gefrieren. Nach dem Aufthauen war der Primordialschlauch contrahirt und der Inhalt hatte seine regelmässige Anordnung verloren. Die Zellen hatten auch deutlich ihre Turgescenz eingebüsst und somit einen Theil der Zellflüssigkeit abgegeben. Dass die Zellen kleiner geworden seien und dass ihr Durchmesser abgenommen habe, ergab sich auch aus dem Verhalten der Querwände, welche nicht mehr gerade, sondern alle etwas hin und her gebogen waren. Von Rissen in der Membran konnte ich nichts wahrnehmen. Als ich darauf Glycerinlösung zutreten liess, so wurden alle Glieder der Fäden zusammengedrückt, wie man das an der lebenden Pflanze wahrnimmt, wenn man sie sogleich in eine concentrirtere Lösung von Zucker, Glycerin, Dextrin oder Salzen legt. Diess ist eine Wirkung der Diosmose und nur möglich, wenn die Membran eine geschlossene unverletzte Blase darstellt. Wären Risse vorhanden, so würde durch diese die Glycerinlösung eindringen; und jedenfalls könnte der hydrostatische Druck von aussen nicht einwirken und ein Zusammenpressen zur Folge haben (vgl. Pflanzenphysiol. Untersuch. I. p. 21). Durch diese Thatsache halte ich es für erwiesen, dass das Gefrieren der Zellflüssigkeit die Pflanzenzellen nicht zersprengt.

Dieses Ergebniss stimmt auch mit dem überein, was schon die aus der Physik bekannten Thatsachen erwarten lassen. Wenn Wasser von 0° in Eis übergeht, so dehnt sich sein Volumen um 0,09 bis 0,1 aus, also von 100 auf 109 bis 110. Die Oberfläche eines Quantums gefrierenden Wassers vergrössert sich demnach von 100 auf 106; und in einer gefrierenden Zelle muss sich die Membran um 0,06 oder $\frac{1}{17}$ ihrer Fläche ausdehnen. Dieser Ausdehnungscoefficient vermindert sich nur wenig, wenn wir in Anschlag bringen, dass die Zellflüssigkeit bei 20° C. ein etwas grösseres Volumen einnimmt als bei 0°. Viel wichtiger ist der Umstand, dass die Turgescenz der Zelle geringer wird, wenn die Temperatur auf 0° sinkt, dass also die Zelle unmittelbar vor dem Gefrieren nicht mehr so viel Flüssigkeit enthält, als sie bei 20° C. enthielt; denn es ist eine allgemein gültige Thatsache, dass eine Zelle um so mehr turgescirt, je kräftiger sie vegetirt, und dass die vegetativen Prozesse um so schwächer werden, je mehr sich die Temperatur dem Nullpunkt nähert. Es muss also die Zellmembran beim Gefrieren ohne Zweifel sich kaum so weit ausdehnen, als im lebenden turgescirenden Zustande. Wollte man diess nicht in Anschlag bringen, so hat sie überdem so viel Elastizität, dass sie vom turgescirenden Zustande der Zelle aus sich noch um $\frac{1}{17}$ ihrer ganzen Fläche oder um $\frac{1}{33}$ (0,03) in jeder Flächendimension vergrössern kann.

Die Veränderungen, welche im Inhalte und in der Membran der Pflanzenzellen vor sich gehen, wenn dieselben durch den Frost getödtet werden, sind die nämlichen, welche überhaupt beim Absterben eintreten. Der Inhalt zeigt die charakteristischen Modificationen in der Formbildung der Plasmagebilde, (Contraction des Primordialschlauches etc.) und in der Färbung (namentlich dem Auftreten der durch die Humification bedingten braunen Töne). Membran und Primordialschlauch haben andere diosmotische Eigenschaften angenommen; sie haben die ihnen früher eigenthümliche Resistenz gegen das Austreten der Zellflüssigkeit verloren, die Ausgleichung des Zellinhaltes mit einer

umgebenden Flüssigkeit geschieht jetzt wie durch todte Membranen. Was den letztern Punkt betrifft, so habe ich davon schon in dem vorhergehenden Artikel gesprochen.

Mit Rücksicht auf die Einwirkung des Frostes auf die Pflanzenzellen müssen wir also sagen, dass dieselben gefrieren, sobald die Temperatur so tief gesunken ist, als es die in der Regel ziemlich geringe Concentration der Zellflüssigkeit verlangt. Diess muss für die einigermassen exponirten Pflanzentheile (die nicht in der Erde sich befinden oder mit einer dicken Schneelage bedeckt sind) jeden Winter bei uns eintreten. Das Gefrieren hat auf die einen Gewebe keinen nachtheiligen Einfluss, andere werden dadurch getödtet. Ob das Eine oder das Andere der Fall sei, hängt von specifischen und individuellen Verhältnissen ab. Wenn Schacht sagt, der Grund, warum der Stamm der Lerche die grösste Kälte ertrage, während die Blätter schon nach einem Nachtfroste abfallen, müsse im Rindenschutze liegen (Anat. u. Phys. II, 529), so ist diess gewiss unrichtig, denn sonst müssten alle Nadelhölzer bei uns im Winter ihr Laub abwerfen. Ferner gefrieren die Zweige der Lerche bei stärkerer Kälte eben so gut als die Nadeln bei schwächerer. Warum der Frost die Zellen der einen tödtet die der andern nicht, ist uns unbekannt. Ueberhaupt müssen oft die allergeringsten Verschiedenheiten in der Beschaffenheit der Gewebe hinreichen, um eine schädliche oder unschädliche Wirkung des Frostes zu bedingen. Es ist ja bekannt, dass bei vielen zärtern Sträuchern die Zweige von der Spitze an auf eine gewisse Strecke erfrieren; es kommt selbst nicht selten vor, dass das Ende und ein tieferer Theil eines Zweiges durch den Frost getödtet wird, während der mittlere unversehrt bleibt, im Frühjahr grün und frisch erscheint und erst später durch den Mangel an Nahrung zu Grunde geht, oder dass das Gewebe eines Astes auf der einen Seite erfriert, auf der andern nicht.

Wenn ein Pflanzentheil für den Frost empfindlich ist, so genügt es, dass das Wasser in demselben sich vollständig in Eis verwandle, um ihn zu tödten. Es ist gleichgiltig, ob das

Gefrieren bei gelinderer oder strengerer Kälte erfolge, ob es längere Zeit andauere oder nicht. Meyen (Pflanzenphys. II, 180) behauptet zwar, dass die gefrorenen Blätter sich wieder erholen, wenn der Zustand des Gefrorenseins nicht zu lange angehalten habe und nicht zu stark gewesen sei. Die Thatsache als richtig betrachtet, so ist wahrscheinlich, dass solche Blätter nicht vollständig gefroren waren. Es lässt sich z. B. denken, dass zuerst die Zellflüssigkeit gefriere, während das Imbibitionswasser des Protoplasma, des Primordialschlauches und der Zellmembran noch flüssig bleibt. Denn es gibt zu viele Thatsachen, welche beweisen, dass wenn einmal ein Gewebe vollkommen gefroren ist, es für die Wirkung ganz gleichgiltig bleibt, ob dasselbe nach wenigen Stunden oder nach Tagen und Wochen wieder aufthauet, und ob der gefrorene Teil einer Kälte von -2 oder -20° ausgesetzt sei.

Herr A. Vogel jun. berichtete der Classe über einen aus den Erbsen (*Pisum sativum*) dargestellten krystallisirbaren Körper unter Vorzeigung der ersten Probe dieser neuen Substanz. Derselbe behält sich vor, auf seine mit Herrn Dr. Reischauer über diesen Gegenstand noch weiter durchzuführenden Versuche demnächst ausführlich zurückzukommen.

(Der Schluss dieses Berichtes der II. Classe im nächsten Hefte.)
