

SITZUNG AM 11. FEBR. 1860.

Dr. Julius Sachs, Krystallbildungen bei dem Gefrieren und Veränderung der Zellhäute bei dem Aufthauen saftiger Pflanzentheile, mitgetheilt von W. Hofmeister.

Wenn man 1 bis 2 Ctm. dicke Längsschnitte aus Kürbisfrüchten 12 bis 24 Stunden lang unter irgend einer, vor Verdunstung schützenden Verdeckung einer Temperatur von 3° bis 6° R. unter Null ausgesetzt lässt, so findet man dann auf dem dichten Parenchym einen Ueberzug von Eiskrystallen, die auf der Schnittfläche senkrecht stehend mit einander durch seitlichen Zusammenhang eine compacte Masse darstellen, welche vermöge dieser Struktur ein sammetartiges Aussehen zeigt; auf dem lockeren Parenchym in der Nähe der Kerne, wo die Gefässbündel einen mehr radialen Lauf annehmen, findet sich dieser sammetartige Eisüberzug niemals, dagegen bildet sich hier ein schiefriges, schorfartiges Eis.

Wenn man mit einem spitzen, möglichst kalten Instrument in der Nähe der Schale einen Theil des Krystallüberzuges wegstösst, so erkennt man schon mit unbewaffnetem Auge, dass derselbe aus Säulen besteht, welche mit ihren Seitenflächen dicht an einander liegen und auf der Schnittfläche senkrecht stehen, die Säulen sind beinahe gleich lang wenn man die neben einander stehenden betrachtet, jedoch nimmt die Höhe von der Schale aus gegen das Centrum hin stetig zu und ab. Denkt man sich eine auf die genannte Schnittfläche senkrechte radial gestellte Ebene, so bildet die Durchschnittslinie derselben mit der Schnittfläche eine Abscissenlinie, auf welcher die Höhen der Säulen als Ordinaten stehen und mit ihren oberen Enden eine Curve beschreiben, welche sich von der Schale aus rasch erhebt,

dann einen weiten Bogen beschreibt und sich gegen das Centrum hin langsam zur Abscissenlinie hinabsenkt. Krystalle, welche in Reihen, parallel der Schale stehen, sind gleich lang; 2—3^{mm} innerhalb der Schale sind sie am längsten und erreichen 2—3^{mm} Höhe, wenn das Kürbisstück 24 Stunden lang bei 3—6° Kälte gelegen hat. Die Dicke der Säulen ist zwar ziemlich verschieden, im Mittel aber ist sie an allen Stellen des Schnittes dieselbe, nach einer Schätzung wechselt sie zwischen 0,1^{mm} bis 0,3^{mm}.

Obwohl bei dem Abstossen der Eiskruste meistens eine Menge einzelner Säulen sich abtrennen, so kann man doch auch grössere Stücke der Kruste unversehrt abheben, besonders wenn die Temperatur nahe bei Null ist.

Um diese Eisbildungen bei hinreichender Vergrösserung beobachten zu können, stellte ich das Mikroskop in eine Luft von —5° bis —6° R. an das offene Fenster eines ungeheizten Collegien-Sales; einige Objektgläser und Instrumente wurden hinaus auf die kalte Mauer gelegt. Als Alles hinreichend kalt geworden war, begann ich am offenen Fenster des kalten Sales die Beobachtung, die der Hände wegen gewöhnlich nur eine halbe Stunde dauern konnte, dafür aber desto öfter von Neuem aufgenommen wurde.

Bringt man unter solchen Umständen ein Stück der krystallinen Kruste so auf den Objektträger, dass man die oberen Enden der Krystall-Säulen sieht, so erkennt man dass sie sich mit ihren Seitenflächen unmittelbar berühren, zwischen je zwei Querschnitten sieht man nur eine einfache Trennungslinie. Die Gestalt der Säulen-Querschnitte ist ziemlich unregelmässig doch überall nach dem Typus eines regulären Sechseckes gebildet, aber mit unzähligen verschiedenen Abweichungen von diesem. Die obere Aufsicht auf ein Stück der Eiskruste bietet einige Aehnlichkeit mit einem Querschnitt durch ein grosszelliges Parenchym mit wässrigem Inhalt. Setzt man einen Tropfen Wasser von 0° bis 1° R. auf die Krystallschicht, so beginnt ein langsames Aufthauen, die Querschnitte der Säulen weichen auseinander und eine grosse Zahl Luftblasen erscheint in dem Wasser.

Die Seitenansicht eines Krystallbündels, welches man in einem Tropfen kalten Wassers langsam schmelzen lässt, giebt ein sehr zierliches Bild. Die wie Basaltsäulen neben einander liegenden Eiskrystalle schliessen Luftblasen ein, welche in höchst regelmässige Längsreihen geordnet sind, die den Kanten der

Säulen parallel laufen. Meist sind die Blasen einer Reihe gleich gross, und die ganze Reihe sieht dann aus wie eine lockere Perlenschnur; sehr häufig wechselt in einer Reihe je eine kleine und eine grosse Blase; oft sind die Blasen parallel der Säulenlänge in die Länge gezogen, dann wechselt gewöhnlich in einer Reihe eine lange mit einer runden; bisweilen sind mehrere Blasen einer Reihe durch dünne Luftkanäle mit einander verbunden, und nicht selten findet sich statt einer Blasenreihe eine einzige oder zwei lange kanalartige Blasen. Niemals kommt es vor, dass eine Blase quer gegen die Höhe der Säule ausgezogen wäre. Die Blasenreihen verlaufen in der homogenen Eismasse einer Säule entweder ganz nahe den Kanten oder Flächen, oder mehr im Innern derselben, zuweilen in der grossen Axe selbst. Es kommt auch vor dass zwischen zwei Säulen eine Reihe von Interstitien sich findet, welche den Blasenreihen innerhalb der Säulen durchaus ähnlich ist. Meistens durchzieht eine Blasenreihe nur einen Theil der Höhe; die Reihe beginnt dann entweder an der Basis um in der Mitte aufzuhören, oder beginnt in der Mitte und verläuft bis zum oberen Ende der Säule; nicht selten ist dann die letzte Blase nur als eine halbkugelige Höhlung der Oberfläche vorhanden. Wenn das Krystallbündel in kaltem Wasser langsam schmilzt, so weichen die Kanten gleichzeitig in der ganzen Länge aus einander; die Säulen verlieren dabei ihre kantige Form und nehmen Walzengestalt oder Keulenform an. Die Blasen innerhalb der Krystalle umgeben sich, wenn äusserlich das Schmelzen beginnt, mit hellen Höfen, d. h. um jede Blase herum beginnt eine Verflüssigung; jede Blase sieht dann aus wie ein gehöftes Tüpfel. Offenbar erfolgt dieses Schmelzen um die Luftblasen herum durch strahlende Wärme, welche die Eissubstanz durchsetzt und die Luft in der Blase erwärmt, während die geleitete Wärme den Krystall von aussen angreift.

Die Luftblasen bleiben nach dem Verschwinden der Krystalle in dem Wasser, wo sie sich zu grösseren Blasen vereinigen und einen Schaum bilden.

Bei der Seitenansicht eines Krystallbündels bemerkt man zahlreiche Krystalle, welche von der Basis aus wie Keile zwischen die anderen eingeschoben sind. Niemals finden sich solche Eiskeile von oben her eingetrieben.

Die Substanz der Krystalle ist kein reines Wasser, sondern enthält eine Säure. Lässt man ein Krystallbündel auf blauem

Lakmuspapier schmelzen, so röthet sich der feuchte Fleck sehr stark.

Ich hatte diese Eisbildungen im Laufe meiner Untersuchungen über die Ursachen des Kältetodes, welche mich in diesem Winter beschäftigten, zufällig beobachtet, und es drängte sich mir nun die Frage auf, ob diese Erscheinung allgemein sei. Die wenigen kalten Tage, welche seit dem Neujahr noch eintraten, machten es möglich wenigstens mehrere Fälle zu constatiren, welche auf Allgemeinheit schliessen lassen, da ich bei den auf das Gerathewohl gewählten Objekten jedesmal ein positives Resultat erhielt.

Quer- und Längsscheiben von Runkelrüben und Wasserrüben, von Möhren und Kohlrüben bedeckten sich unter gleichen Bedingungen wie die Kürbisstücke mit krystallinischen Eiskrusten. Der Bau derselben stimmte mit dem oben beschriebenen völlig überein, auch die mittlere Höhe und Dicke der Säulen war dieselbe; sie standen jedesmal senkrecht auf dem Schnitt.

Blattstiele von Runkelrüben und Grün-Kohl, welche in Töpfen vegetirten, wurden in Stücke von 1—2 Ctm. Länge querdurchgeschnitten und in zugedeckten Gläsern der Kälte ausgesetzt. Die Querschnitte bedeckten sich mit Eiskrystallen. Bei dem Kohl waren sie besonders lang und gegen die Axe des Stiels hin gekrümmt; die Blasenreihen machten dieselbe Krümmung wie die Krystalle selbst. Sie waren hier nicht so von gleicher Länge wie bei den Kürbisstücken und Wurzelscheiben; die oberen Enden der Säulen boten unregelmässige Zacken und Krümmungen. Auf den Blattstielquerschnitten der Runkelrüben bestand die Kruste aus sehr kurzen Säulen, welche sich von oben gesehen durch ihre regelmässigen sechseckigen Endflächen und Querschnitte auszeichneten. Statt der Blasenreihen enthielten diese kurzen Säulen je eine grosse Luftblase im Centrum.

In allen Fällen fanden sich zwischen die Hauptmasse der Säulen Eiskeile von der Basis aus eingeschoben, und immer bestanden die Krystalle aus saurem Wasser.

Wenn man Quer- und Längs-Scheiben von 1—2 Ctm. Dicke aus Kürbissen, Runkelrüben, Wasserrüben u. s. w. unbedeckt auf einer kalten Mauer liegen lässt, so bilden sich nur auf der unteren, gegen die Mauer gekehrten Schnittfläche Krystallkru-

sten; die oberen, der Luft ausgesetzten Flächen bilden keine Krystalle und trocknen stark aus. Bedeckt man die Oberfläche einer Scheibe nur zum Theil mit einer Porcellan- oder Glasplatte, so bilden sich die Eissäulen nur auf dem bedeckten Theil. Legt man eine jener Scheiben auf den Boden eines bedeckten grösseren Gefässes, so findet man dann sämtliche Schnittflächen mit Krystallen überzogen. Aus diesen einfachen Versuchen geht mit aller Evidenz hervor, dass die Krystalle nur dann entstehen, wenn die Verdunstung höchst gering ist, und ferner, dass sich die Eissäulen aus dem Gewebe selbst hervorschieben, nicht etwa als reifähnlicher Niederschlag entstehen, diess wird schon dadurch abgewiesen, dass die Krystalle immer die saure Reaction des Zellsaftes zeigen.

Setzt man die genannten Pflanzentheile einer Kälte von $12-20^{\circ}$ R. aus, indem man sie innerhalb verschlossener Gefässe mit Kältemischungen umgiebt, so gefrieren sie in kurzer Zeit zu sehr harten Massen, auf den Schnittflächen bemerkt man alsdann aber keine Krystallkrusten. Lässt man dagegen die Scheiben bei 3° bis 6° unter Null langsam abkühlen, so bemerkt man schon nach 8—10 Stunden auf den Schnittflächen einen dünnen Eisüberzug von sammetartigem Aussehen; dieser Ueberzug besteht aus sehr kurzen Säulen von der beschriebenen Beschaffenheit; sie bilden eine allseitig zusammenhängende Masse. Nach einigen Stunden sind die Säulen schon merklich länger. Wenn die Masse des Pflanzentheiles einigermaßen bedeutend ist, so findet man um diese Zeit das Gewebe noch völlig elastisch und nicht gefroren, obwohl die Krystalle bereits ziemlich hoch sind. Je länger die Scheiben liegen bleiben ohne zu gefrieren, desto dicker wird der Ueberzug, desto länger die Säulen.

Dieses Wachsthum der Krystalle macht es wahrscheinlich, dass die Flüssigkeit aus dem Gewebe langsam heraustritt und dann an der Oberfläche erstarrt. Man braucht sich dieses Aus-treten nicht immer als durch eine Zusammenziehung des Gewebes verursacht zu denken. Denn obwohl manche Pflanzentheile bei dem Gefrieren eine merkliche Contraction zeigen, z. B. die Blattstiele, so ist dagegen bei den Wurzeltheilen diese Zusammenziehung zweifelhaft (siehe den Anhang zu dieser Abhandlung).

Man könnte auf die Annahme verfallen, dass durch die Ausdehnung des Wassers, welche von 4° C. abwärts eintritt,

eine Auspressung stattfinden müsse. Dagegen sprechen folgende Gründe. Scheiben, welche $10-12^{\circ}$ R. warm sind, enthalten das Wasser in einem Zustande, wo es einen grösseren Raum einnimmt als bei 0° , demnach kann es bei dem Erkalten nicht hinausgepresst werden; ferner die Krystalle bilden sich auf Scheiben, welche weit weniger Wasser enthalten, als sie in der That enthalten können; z. B. ein Stück aus dem festen Theile des Kürbisfleisches, welches im Stande war binnen $2\frac{1}{2}$ Stunden noch 3,5 Gramme Wasser aufzunehmen, bedeckte sich bei langsamem Gefrieren mit einer dicken Krystallkruste; da nun das Gewebe im Stande war noch Wasser aufzunehmen, so kann die höchst geringe Ausdehnung zwischen 4° C. und 0° keine Ursache zur Auspressung sein; endlich ist das Wasserquantum welches heraustritt um Krystalle zu bilden viel zu gross um sich durch derartige Ausdehnung selbst im günstigsten Falle erklären zu lassen. Eine Scheibe, welche 100 C. C. Wasser enthält kann Krystallkrusten bilden, welche einige Cubik-Centim. Wasser geben: die Ausdehnung des Wassers zwischen 7° C. und 0° ist aber so gering, dass von 100 C. C. kaum $\frac{1}{100}$ C. C. austreten würde, was bei der grossen Fläche der Scheiben eine verschwindend dünne Schicht giebt.

Indessen bedarf es weder einer Ausdehnung des Wassers noch einer Zusammenziehung des Gewebes, wodurch das Wasser hinausgepresst werden müsste, um das Wachsthum der Eissäulen zu erklären. Hierfür genügt es vollkommen die Eigenschaften imbibitionsfähiger Körper in Betracht zu ziehen. Jeder mit einer Flüssigkeit imbibirte Körper enthält nicht bloss in seinen Poren, sondern auch auf seinen freien Oberflächen Wasser. Die durch den Schnitt freigelegten Zellhäute stehen einerseits mit dem flüssigen Zellinhalt in Berührung, die der Luft zugekehrte Oberfläche ist mit einer sehr feinen Wasserschicht überzogen, welche, wenn sie auf irgend eine Weise z. B. durch Verdunstung hinweggenommen wird, sich durch die Poren der Haut sogleich wieder erneuert. Es giebt einen sehr einfachen Beweis für das Vorhandensein dieser dünnen Wasserschicht auf den Oberflächen imbibirter Körper und für die Kraft, mit welcher sich das Wasser aus den Poren auf die Oberfläche ausbreitet; der Beweis liegt darin, dass sich die Oberfläche eines imbibirten Körpers gegen Oele, Harze, Lacke ebenso verhält wie eine Wasserfläche. Wenn man z. B. Asphaltlack auf völlig trockene Harnblase, Amnions-

haut, Papier streicht und dann gut austrocknen lässt, so klebt der Lack mit enormer Kraft an diesen Stoffen. Ist aber nur irgend ein kleiner Theil der nicht mit Lack bedeckt ist mit Wasser in Berührung, so imbibirt sich auch der überzogene Theil und in kurzem fällt der vorher so feste Lack in grossen Stücken ab; diess kann nur dadurch geschehen, dass sich zwischen die festen Theile der Haut und die daran klebenden Lackschichten eine Wasserschicht einschiebt, und zwar geschieht diess mit einer so grossen Kraft, dass dadurch die grosse Adhärenz des Lackes überwunden wird.

Also jede freie Zellhautfläche ist mit einer dünnen Wasserschicht bedeckt, welche ganz allein vermöge der Imbibitionskräfte sich jedesmal wieder erneuert wenn sie weggenommen wurde. Angenommen nun diese Wasserschicht gefriert, so verhält sie sich dann wie eine trockene Lackschicht; es entsteht unter der Eishaut sogleich eine neue Wasserschicht, die nun ihrerseits wieder erstarrt und so geht es fort und muss es fortgehen, so lange die Zellhaut ungefroren bleibt d. h. so lange sie imbibirt. Wird dagegen die Oberfläche des Schnittes so rasch erkältet, dass nicht nur die äusserste Wasserschicht, sondern die Zellhaut selbst gefriert, dann kommt dieser Prozess nicht zu Stande. Ebenso wenig kann er eintreten, wenn durch rasche Verdunstung die heraustretende Wasserhaut jedesmal sogleich weggenommen wird. Diess alles steht mit den Beobachtungen im besten Einklang; denn die Krystallbildung erfolgt nur bei geminderter Verdunstung und bei langsamer Abkühlung, das Gewebe ist unter den Krystallen, so lange sie wachsen, noch nicht gefroren.

Die Geschwindigkeit womit das Wasser von einem Schnitt durch ein frisches Gewebe verdunstet, giebt ein Mass für die Geschwindigkeit womit die Wasserschichten sich erneuern und somit ein Mass für die Geschwindigkeit des Wachstums der Krystalle. Von einer Schnittfläche einer Rübenscheibe, welche ungefähr 30 Quadratcentim. Fläche hatte, verdunstete binnen einer Stunde bei -12° R. über 4 Gramm Wasser; wäre diese Fläche bedeckt gewesen, wodurch die Verdunstung gehindert und die Abkühlung verlangsamt worden wäre, so hätten sich diese 4 Gramm Wasser in Gestalt einer Krystall-Kruste abgelagert.

Wenn nun auch die Imbibitionsthätigkeit allein hinreicht

um das Wachsthum der Krystalle zu erklären, so ist es doch begreiflich, dass jede Kraft, welche das Wasser langsam und stetig aus den Zellen gegen die Oberfläche hin presst, in demselben Sinne wirken und die Krystallbildung fördern muss. Diess kann sowohl durch Zusammenziehung des Gewebes geschehen als auch durch einen hohen Grad von Turgor.

Einen direkten Beweis für die Richtigkeit dieser Erklärungsweise liefern die Krystalle auf den Scheiben dunkelrother Runkelrüben. Würde das Wasser, aus welchem diese Krystalle sich bilden mit einer unwiderstehlichen Gewalt hinausgetrieben, wie durch die Ausdehnung bei Abkühlung, so würde offenbar die Inhaltsflüssigkeit der Zellen so austreten, wie sie ist, d. h. es würde der rothe Zellsaft herausgepresst um Krystalle zu bilden; die Krystalle sind aber selbst auf den dunkelsten rothen Zellen immer farblos; es dringt demnach aus der rothen Zellflüssigkeit eine ungefärbte heraus; diess kann nur durch die endosmotischen Eigenschaften der Zellhaut erklärt werden, welche bei ihrer Imbibition des Zellsaftes den Farbstoff zurücklässt, sowie die imbibirenden Häute aus Salzlösungen einen Theil des Salzes ausscheiden, und eine verdünntere Lösung aufnehmen.

Ich hatte erwartet, dass die Dicke einer Eissäule je einer Zellengrösse entsprechen könnte, so dass jede Zelle ihren besonderen Krystall bildete; die Beobachtung lehrt aber in allen Fällen, dass die Krystalldicke mehrere Zellflächen umfasst; jeder Krystall erhält das Material zu seinem Wachsthum aus mehreren Zellen.

Wenn man in einem kalten Raume mit kalten Instrumenten präparirt, so ist es leicht, Schnitte herzustellen, welche den Krystalllängen parallel laufen, so dass man auf einem dünnen Schnitte des Gewebes die zugehörigen Krystalle aufsitzen sieht. Die Dicke der Krystalle scheint in gar keiner Beziehung zu der Grösse der sie erzeugenden Zellen zu stehen. Wie erwähnt, behalten sie ihre mittlere Dicke auf allen Theilen eines Kürbisstückes bei, obgleich die Grösse der Zellen von aussen nach innen um das Mehrfache zunimmt. Auch ist die Dicke der Säulen nicht merklich verschieden, sie mögen auf dem Schnitt einer Runkelrübe, eines Kohlblattstieles oder des Kürbisfleisches stehen.

Besondere Erwähnung verdient der Umstand, dass die Krystalle ebenso auf den Quer- und Längs-Schnitten der Gefässbündel stehen, wie auf dem umgebenden Parenchym.

Demnach scheint es, dass die Dicke der Krystalle allein von den Molekularkräften abhängt, welche die Eisbildung überhaupt bedingen, nicht aber von der organischen Struktur der Unterlage. Es führt diess auf die Vorstellung, dass die auf der Oberfläche sich ausbreitende Imbibitionsflüssigkeit eine continuirliche Schicht bildet. Bei dem Gefrieren derselben treten dann gewisse Mittelpunkte der Krystallisation auf, wodurch die dünne Eisschicht eine Parquettartige Struktur erhält; in den neuen unterhalb sich ansetzenden Schichten verdickt sich dann jede Platte für sich und nach und nach wird die Dicke der Platten grösser als ihre Breite.

Die regelmässigen Abstände der Luftblasen in den Längsreihen stimmen sehr gut mit der Annahme dieses schichtenweisen Ansatzes. Offenbar wird die Luft im Moment des Erstarrens von der Flüssigkeit ausgestossen. Die Regelmässigkeit der Reihen zeigt, wie bei jeder neuen Ansatzschicht dieselben Kräfte in derselben Weise thätig sind.

Die Krystallbildung ist nicht von der organischen Struktur der Zellhäute abhängig; sie können stark alterirt sein ohne der Eisbildung zu schaden. Scheiben, welche Wochen lang in Wasser gelegen und schleimig geworden sind, zeigen sie ebensogut wie erfrorene, zerfliesslich gewordene Stücke. Auf demselben Stücke kann man mehrmals nach einander Krystalle erhalten, wenn man sie abschmilzt oder abhebt.

Die Krystallbildung ist ebenso von den Substanzen der Inhalte unabhängig, denn ihre Gestalt und Grösse ist übereinstimmend bei den verschiedenen Pflanzen, deren Geschmack, Geruch und Farbe hinlänglich ihre chemische Verschiedenheit erkennen lassen.

Durch die Thatsache, dass man Krystallkrusten unter bekannten Bedingungen auf Pflanzentheilen entstehen lassen kann, ist eine Reihe früherer Beobachtungen der experimentirenden Behandlung zugänglich geworden, und somit der Weg zu einer Erklärung derselben gegeben.

Es kann nicht zweifelhaft sein, dass wir in den eben beschriebenen Gebilden eine Erscheinung vor uns haben, welche mit den von Elliot, Herschel, Dana, Le Conte, Bouché, Caspary und Hugo von Mohl beobachteten Eiskrystallen auf lebendigen und todtten Pflanzen und auf feuchtem Boden in Form und Bil-

ungsweise übereinstimmt. Mir steht von der Literatur darüber nur die Abhandlung Caspary's: Auffallende Eisbildungen auf Pflanzen (Bot. Zeitg. 1854. S. 665) zu Gebote, worin eine Uebersicht der früheren Arbeiten gegeben ist; ausserdem erhielt ich erst während der Abfassung der vorliegenden Abhandlung die zweite Nummer der diessjährigen Folge der bot. Zeitung, worin Hugo v. Mohl am Schlusse seiner Abhandlung »über die anatomischen Veränderungen des Blattgelenkes, welche das Abfallen der Blätter herbeiführen« neue Beobachtungen über derartige Eisbildungen mittheilt. Durch v. Mohl's Beobachtungen gewinnt das Phänomen eine neue Bedeutung und grössere Allgemeinheit.

Stephan Elliot (a sketch of the botany of South Carolina and Georgia Charlestown 1827 II. 322 citirt bei Caspary a. a. O.) beobachtete diese Eisbildungen an *Pluchea bifrons* D. C. (*Conyza* b. L.), welche in Carolina und Georgien häufig auf nassem Boden wächst; »diese Pflanze bietet häufig eine merkwürdige Erscheinung dar. Während des Winters zeigt die Basis des Stammes an jedem klaren Morgen krystallinische Fäden (fibres), fast einen Zoll lang, welche nach allen Seiten von ihm ausgehen.«

Sir John Herschel (Notice of a remarkable disposition of ice round the decaying stems of vegetables during frost; Lond. Edinb. and Dubl. phil. mag. and journal of sc. II. Jan. — Juni 1833 p. 110; bei Caspary a. a. O.) fand an den Stumpfen abgestorbener Disteln und Heliotropen blattartige Eisbildungen.

James D. Dana (Manual of mineralogy. 2nt. Edit. New Haven et Philad. 1849 p. 46; bei Caspary a. a. O.) giebt an »an kalten Morgen des Frühlings und Herbstes findet man in diesem (Nordamerika's) Klima die Zweige von Pflanzen hin und wieder von faserigen Eislocken umgeben, welche senkrecht dem Stamme anhängen.

Le Conte (observations on a remarkable exudation of ice from the stems of vegetables and on a singular protrusion of icy columns from certain kinds of earth during frosty weather: Lond. Edinb. and Dubl. phil. mag. and journal of sc. XXXVI. Jan. — Juni 1850; bei Caspary a. a. O.) beobachtete die Blatteisbildung wiederholt bei *Pluchea bifrons* D. C., *camphorata* D. C. in Carolina und Georgien. Er betrachtet diese Eisbildungen als Analogon der von ihm beobachteten faserig-massenhaften, welche auf dem Boden oft drei Zoll dicke Lagen bilden. Diese auf ziemlich nassem, porösem Boden vorkommenden Krystall-

bildungen bestehen aus einer grossen Zahl von Eisfäden, welche mit einander zu faserigen Säulen verbunden sind, Bündeln von gesponnenem Glase ähnlich sehen, und rechtwinklig auf der Oberfläche des Bodens stehen, als ob sie in halbflüssigem Zustande von unzähligen Haarröhrchen desselben ausgegangen wären. Die faserigen Eismassen zeigten sich nur über einem Boden, welcher selbst nicht gefroren war.

Caspary (a. a. O.), welcher von dem Inspector Bouché darauf aufmerksam gemacht wurde, beobachtete am 14. Novbr. 1853 Morgens 7 — 8 Uhr im Schöneberger bot. Garten bei einer Temperatur von -3° R. die faserig-compacten und die blattförmigen Eismassen an einer beträchtlichen Zahl von ausländischen im freien Lande stehenden Pflanzen, aber nicht an den in Töpfen erzogenen, z. Th. waren es einjährige, theils mehrjährige. »Die faserig-compacten Eislagen bestanden aus kleinen dünnen Eisfäden von horizontaler Richtung, die senkrecht auf dem Holz aufsassen, so dass sie über eine mehr oder minder grosse Fläche des Holzkörpers eine zusammenhängende 1,5 bis 2^{mm} dicke Schicht bildeten; die einzelnen Fäden waren jedoch nicht zu isoliren; sie umgaben meist nicht den ganzen Holzkörper, sondern nur etwa $\frac{1}{3}$ — $\frac{2}{3}$ desselben und zwar in einer Länge von 30 — 90 mm . Die Rinde war über ihnen der Länge nach durch eine oder zwei Spalten geöffnet, aber nicht der Quere nach in Stücke zerfetzt. Das Eis liess sich durch die Spalte gut sehen. Solche faserig-compacte Eislagen zeigten sich nur an einigen wenigen Pflanzen, von denen er *Lantana aculeata* und *Tagetes bonariensis* anmerkte und genauer untersuchte.«

»Viel mehr in die Augen fallend und wirklich zierlich war die zweite Art der Eisbildung, die blättrige. Vertikale, bald schneeweisse, bald wasserklare Eisplatten von 10 — 160 mm Länge, 10 — 30 mm Breite und so dick wie starkes Papier, erhoben sich radial vom Holzcylinder aus in mehr oder weniger regelmässiger Krümmung; sie zeigten horizontale Streifung, als ob sie aus horizontalen Eisfäden, die sich in vertikaler Richtung mit einander verbunden hätten, zusammengesetzt wären. Am Rande waren sie meist ziemlich gradlinig begrenzt, oft aber ging die horizontale Streifung hier in Zerfaserung über, so dass der Rand gefranzt oder lockenartig war. Die Eisblätter hatten die Rinde und das Cambium abgetrieben, sie der Länge und Quere nach gespalten und die Fetzen derselben hingen auf den Rän-

dern der Eisblätter. An vielen Stellen zeigte sich diese Eisbildung am ganzen Umfange des Stammes und es mochten bis gegen 30 Lamellen da sein, so dass sie in einem Durchmesser von 50—60^{mm} den Stamm umgaben, an anderen war sie nur einseitig und nur wenige Lamellen oder gar nur eine, oft vorzugsweise schön entwickelt, vorhanden. Besonders zierlich gebogen und mit gefranztem Rande, wie lockig, zeigten sich kürzere aber sehr breite Lamellen an den Zweigspitzen. Der Holzcyylinder war oft und zwar durch mehrere Spalten gesprengt. Die Eislamellen drangen niemals aus einer Spalte hervor.« Diese Lamellen wurden beobachtet an: *Perilla arguta*, *Alonsoa incisifolia*, *Cuphea cordata*, *tubiflora* und *platycentra*, *Heliotropium peruvianum*, *Manulea oppositifolia*, *Calceolaria perfoliata*.

Bei H. Hoffmann (Pflanzenklimatologie 1857 S. 329) findet sich noch eine hierher gehörige Notiz. »Blätter von *Viburnum Tinus* und *Aucuba* wurden zwischen zwei Blätter grauen Löschpapiers gelegt, diese zwischen zwei, wenige Linien dicke Schneelagen, diese zwischen zwei Glasplatten, welche also das Ganze einschlossen. Nach einer —10° kalten Nacht fanden sich 27 Stunden später die Unterseiten, und zwar ausschliesslich, bei allen Blättern reichlichst mit feinen Eisnadelchen besetzt, von charakteristischer Gruppierung (in der Beschreibung nicht charakterisirt) bei jeder von beiden Pflanzen anders.« »Eine Zerreiſsung, eine mechanische Verletzung war nicht zu bemerken.«

Hugo v. Mohl (in der genannten Abhandlg. Bot. Zeitg. 1860 S. 15 u. 16) giebt folgende Mittheilung: »Es ist bekannt dass die Blätter mancher Bäume z. B. von *Acer platanoides*, den verschiedenen Arten von *Juglans* u. s. w. wochenlang vollständig ihre grüne Farbe verloren haben können, und dass dennoch das Abfallen derselben nur sehr allmähig von der Basis der Zweige gegen ihre Spitzen hin erfolgt, dass dagegen, wenn in einer hellen Nacht plötzlich Frostkälte eingetreten ist, den anderen Morgen die Blätter mit einem Male massenweise abfallen. Es trat diese Erscheinung in dem verflossenen Herbst am 23. Oct. ein. In der vorausgegangenen Nacht war der Thermometer zum ersten Male unter den Gefrierpunkt (auf —2° R., im Freien wahrscheinlich tiefer) gefallen, es lag des Morgens ein starker Reif und stillstehende Wasser waren ziemlich stark überfrozen. Als ich des Morgens, so lange der Thermometer noch unter dem Gefrierpunkt stand und der Reif noch lag in den Garten ging,

so war der Boden unter den Wallnussbäumen, Maulbeerbäumen u. s. w. bereits dick mit Blättern bedeckt, während sich immer noch weitere Blätter und zwar bei vollkommener Windstille ablösten. Die Untersuchung der Bäume zeigte, dass die Kälte stark genug gewesen war, um in den Blättern den Saft zum Gefrieren zu bringen. Als ich die Blattnarben von den abgefallenen, oder gerade in der Ablösung begriffenen Blättern betrachtete, fand ich sie bei einer Reihe von Pflanzen mit einer dünnen Eisschicht bedeckt. Am auffallendsten war dieses bei *Paulownia* der Fall, wo eine, wenigstens $\frac{1}{2}$ Linie dicke Eisscheibe, die sich mit dem Nagel als feste zusammenhängende Masse abdrücken liess, jede frische Blattnarbe bedeckte, während andere Blätter, welche noch am Zweige sassen, durch eine gleiche Eisscheibe bereits von der Blattnarbe völlig getrennt waren, aber auf der oberen Seite der Eisscheibe angefroren waren und dadurch am Abfallen gehindert wurden. Aehnliche wenn gleich weniger dicke Eiskrusten waren auf den grossen Blattnarben der abgefallenen oder im Abfallen begriffenen Blätter am *Gymnocladus*, *Ailantus*, *Juglans* leicht zu finden, während sie auf den kleineren Blattnarben, wie bei *Asimina triloba* zwar auch vorhanden, aber leichter zu übersehen waren. Es konnte keinem Zweifel unterliegen, dass bei diesen Gewächsen und namentlich bei *Paulownia* die Blätter auf eine rein mechanische Weise durch den zu einer Eisscheibe erstarrten Saft von dem stehenbleibenden Theil des Blatkissens losgerissen waren. Die nähere Untersuchung der nach Hause genommenen Zweige zeigte, dass sich die Eisscheibe in der Trennungsschichte der Blätter gebildet hatte. Es erklärt sich diess wohl zunächst daraus, dass die Zellen dieser Schichte besonders mit Saft erfüllt sind. Allein dieser Umstand kann die Bildung einer so dicken Eisscheibe, wie sie bei *Paulownia* vorkam, nicht erklären, sondern diese kann nur dem Austreten einer beträchtlichen Saftmasse aus der Blattnarbe ihre Entstehung verdanken. Es ist nun nicht leicht zu sagen, auf welche Weise der Frost dieses Austreten von Saft bewirkt, allein es wird kaum zu zweifeln sein, dass dieser Austritt von Saft dadurch bewirkt wird, dass die Kälte, ehe sie den ganzen Zweig durchdringt, und seine Saftmasse zum Erstarren bringt, zunächst eine Contraction der äusseren Schichten des Zweiges veranlasst und dass dadurch ein Theil der um diese Zeit in den Zweigen reichlich vorhandenen Saftmasse in

die bereits gebildete Spalte der Trennungsschichte ausgepresst wird und hier gefriert. Ich gestehe übrigens, dass mich diese Erklärung nicht ganz befriedigt, indem es zweifelhaft erscheinen kann, ob ein solcher Druck, welchen die sich zusammenziehende Rinde auf die inneren Theile der Pflanze ausüben würde, die Bildung einer Eisscheibe von der Beschaffenheit, wie sich auf den Blattnarben von *Paulownia* darbot, zur Folge haben kann. *) Es war nämlich diese Eisscheibe offenbar nicht auf die Weise entstanden, dass der zu Eis erstarrende Saft rasch und aus einzelnen Gefässmündungen ausgeflossen ist und die Spalte der Trennungsschichte überschwemmt hat, indem sie in diesem Falle aus einer gleichmässigen Eismasse gebildet gewesen wäre. « — »Die Eisscheiben waren so gross, als die Blattnarbe selbst, am Rande scharf abgeschnitten und cylindrisch, und es zeigte das Eis in seiner Färbung (wohl in Folge von Einschluss kleiner Luftblasen) Unterschiede, jenachdem dasselbe sich über dem Parenchym der Blattnarbe, oder über den abgerissenen Gefässbündeln gebildet hatte, insofern dasselbe an den Stellen, welche den Gefässbündeln entsprachen, nicht ganz durchsichtig sondern weissgefärbt war. «

Ich finde bei v. Mohl keine Angabe, ob die Eisscheiben aus Eisfäden oder Säulen bestanden, ihre Bildungsweise stimmt aber so sehr mit den Eiskrusten auf den Rübenscheiben und den Blattstielquerschnitten überein, dass man wohl die Annahme ohne Weiteres wagen darf.

Hugo v. Mohl beobachtete die von Le Conte zuerst beschriebene Bildung von Eiskrystallen auf dem Boden; die von ihm beschriebenen Bildungen sind um Tübingen bekannt und führen dort den Namen Kammeis. Er sah sie am 11. Novb. 1859 auf einem Gebirgszug des Schwarzwaldes; Eissäulen standen senkrecht aus dem Boden hervor. »Nach vorausgegangenem Regen-

*) Diese Vermuthung von Hugo v. Mohl wird durch Folgendes bestätigt. Wenn man Zweige von *Rhamnus*, *Betula*, *Fagus*, 2—3 Ctm. dick und 10—12 Ctm. lang, einige Zeit in Wasser liegen lässt, dann an den Querschnitten und der Rinde gut abtrocknet und so in eine Kälte von -5° bis 6° R. legt, so treten an den Querschnitten während des Gefrierens grosse Wassertropfen hervor, welche sogleich zu dicken Eismassen erstarren; offenbar geschieht diess zum Theil durch Contraction des Holzes, das Wasser dringt mit bedeutender Gewalt und Geschwindigkeit hervor; die mikroskopische Untersuchung liess keine deutliche Sonderung der Eismasse in Säulen erkennen.

wetter hatte sich der Himmel am 10. Novb. aufgeklärt und es war in der Nacht auf den 11ten mit kaltem Nordwind Frost eingetreten. An diesem Tage fanden sich nun an unzähligen Stellen, an denen der Boden von Vegetation entblöst war und eine steile Böschung bildete (in Hohlwegen, am Abhange von Gräben) diese auffallende Eisbildung. Dieselbe bestand theils aus isolirten, gewöhnlich aber aus massenweise neben einander stehenden und theilweise an einander angefrorenen Eisfäden, von der Dicke einer Nähnadel bis zur Dicke eines Rabenkiels, welche gewöhnlich vollkommen grade nur selten gekrümmt waren und eine Länge von 1—2 Zollen hatten. Der Boden auf dem sie aufsassen bestand aus einem mit wenig Thon gemengten Sande und war mässig feucht. Bei der ersten Bildung der Eisnadeln war wohl die äusserste Schicht des Bodens gefroren gewesen, denn sie war von den Eissäulen in die Höhe gehoben worden, während das untere Ende derselben auf nicht gefrorenem Boden aufsass.

Fassen wir nun das Vorhergehende kurz zusammen, so sind bis jetzt folgende Fälle beobachtet.

- 1) Einzelne Eissäulen von Stephan Elliot und H. Hoffmann auf frischen Pflanzentheilen beobachtet; ich sah häufig einzelne kleine Säulen auf Rübenquerschnitten welche unbedeckt gefroren (siehe ferner: Bonnet: Usage des feuilles LXXXII).
- 2) Eisfäden durch seitliche Anlagerung zu Eisflächen vereinigt, von Herschel, Dana, Le Conte, Bouché, Caspary beobachtet.
- 3) Krystalle durch seitliche Anlagerung zu compacten Massen von der Dicke einer Krystallhöhe verbunden; unter der Rinde todter Stämme von Herschel, lebender Stämme von Caspary, auf den frischen Ablösungsflächen der Blattkissen von v. Mohl, auf den Schnittflächen frischer Pflanzentheile von mir beobachtet; ähnliche aber viel höhere Eissäulen auf feuchtem Boden von Le Conte und v. Mohl beobachtet.
- 4) Die schorfigen Eisbildungen aus dünnen, meist sechsseitigen Tafeln bestehend auf dem grosszelligen, lockeren Parenchym des inneren Kürbisfleisches von mir beobachtet.

Folgendes sind die wichtigsten Punkte, in denen diese Gebilde übereinstimmen:

- I. Ihre Gestalt weist jederzeit darauf hin, dass sie nach und nach wachsen; ich habe an den von mir beobachteten dieses Wachsen direkt verfolgt.

- II. Das Wachsthum erfolgt immer in einer Richtung, welche auf der Unterlage senkrecht steht.
- III. In allen Fällen lässt sich das Wachsthum nur dadurch erklären, dass während desselben die Unterlage, welche das Material dazu liefert, noch ungefroren bleibt, bei den von mir beobachteten Eisbildungen und bei denen des Bodens ist dieses beobachtet, bei den anderen weisen die Umstände darauf hin.
- IV. Die Bildung dieser einseitig wachsenden Krystalle erfolgt jederzeit bei geringer Kälte, und nur auf solchen Unterlagen, welche bis dahin eine höhere Temperatur besaßen.
- V. Das Quantum und die Bildungsweise der Krystalle weist in allen Fällen darauf hin, dass das sie bildende Wasser weder allein durch Zusammenziehung der Unterlage, noch durch Ausdehnung des Wassers austritt.

Leider hat keiner der früheren Beobachter die Krystalle mikroskopisch untersucht, und eine allgemeine Theorie dieser Gebilde wäre nur dann zu geben, wenn die Formen hinreichend bekannt sind.

Le Conte ging bei seiner Erklärung des Phänomens von der Annahme aus, dass je ein Krystall je einem Capillar-Raum seine Entstehung verdanke. Da Caspary nichts von direkten Messungen oder mikroskopischen Beobachtungen des Le Conte erwähnt, so ist diese Annahme als eine rein willkürliche zu betrachten um so mehr, da meine Untersuchungen jedesmal ergaben, dass die Krystalle keine Beziehung zu den Capillar-Räumen der sie erzeugenden Gewebe haben; die Krystalle sind viele hundertmal breiter als die Intercellular-Räume. Dagegen stimmt Le Conte's Ansicht mit den Thatsachen überein, wenn er in der schlechten Wärmeleitfähigkeit des Bodens und der Gewebe die erste Ursache der successiven Eisbildung sieht, und annimmt, dass immer nur der äusserste Theil des Wassers des feuchten Körpers gefriert und von unten her die schon gebildeten Eislagen verdickt (verlängert). Die Kräfte welche nach Le Conte das Wasser zuführte sind capillare.

Caspary will eine strenge Sonderung der Krystallbildung auf dem Boden von der auf den Pflanzen; für die von ihm auf Pflanzen gesehenen Krystalle nimmt er an, dass der Wasserzufluss zu ihrem Wachsthum vermöge der physiologischen Thätigkeit des Holzkörpers stattfindet, er nimmt an, das Wasser werde

durch die Kraft, welche den Saft von der Wurzel nach oben treibt, hinausgepresst. Mit Le Conte stimmt er darin überein, dass er in der Basis der Krystalle den jüngsten Theil sieht. Auch er ist der Ansicht dass jeder Krystall einem Capillar-Raum entspricht, eine Ansicht welche in Bezug auf den Bau des Holzkörpers absolut unerklärlich erscheint. Er lässt die Eisfäden isolirt entstehen und dann durch capillar eingeschobenes Wasser sich verbinden.

H. v. Mohl knüpft an die Erscheinung der Eisscheiben auf den Blattpolstern folgende Betrachtung: »Es lassen diese Erscheinungen darauf schliessen, dass in Folge eines langsamen Aussickerns von Saft aus allen Stellen der Trennungsschichte sich gleichmässig eine dünne Eislamelle nach der anderen bildet, sich an das bereits gebildete Eis angeschlossen, und dieses nach oben vor sich her getrieben hat. Es ist wohl zur Bildung einer solchen auf einer feuchten Substanz sich bildenden Eissäule kein bedeutender von unten her auf die gefrierende Wassermasse ausgeübter und dieselbe zum Ueberfliessen bringender Druck nöthig, sondern es scheint sich an der Grenze zwischen einer mit Wasser durchdrungenen Substanz und einer auf derselben gebildeten Eisschicht, wenn beständig fort aus dem Inneren der Substanz Wasser langsam nachsickern kann, eine Eisschicht nach der andern zu bilden, und auf diese Weise eine Eissäule von gleichmässiger Dicke zu entstehen.« Ich war in der That ebenso überrascht als erfreut diese Erklärungsweise bei v. Mohl zu finden, als ich meine oben mitgetheilte Theorie bereits ausgebildet hatte; meine oben angegebene Erklärung unterscheidet sich wie ich glaube von der v. Mohl's nur durch das Wort »aussickern«, welches er braucht und für welches er keine bestimmte Kraft angiebt; da ich statt dessen eine allgemein bekannte und ganz bestimmte Kraft, die Imbibitionsthätigkeit, als Ursache des continuirlichen Wasseraustrittes bezeichnet habe, so glaubte ich meine Erklärungsweise beibehalten zu dürfen. Dass H. v. Mohl keinen wesentlichen Unterschied zwischen der Bildung der Boden-Krystalle und der Eiskrusten auf Pflanzen macht, geht daraus hervor, dass er auf die mitgetheilte Vorstellung, die er sich von dem Bildungsprozess des letzteren macht, durch die Bildung des Kammeises geleitet wurde. »Man kann sich ihre Entstehung (der Bodenkristalle) kaum anders denken, als dass während der Erstarrung des Wassers in den äussersten Endigungen der

den Boden durchziehenden leeren Räume ein beständiges schwaches Nachsickern von Wasser stattgefunden hat, durch welches das Material zu beständigem Ansatz neuen Eises am Grunde der Nadeln geliefert wurde. «

Es ist klar, dass die von mir gegebene Erklärungsweise sich ebensogut dem Boden anbequemt, wie den Pflanzengeweben. Ich stimme daher v. Mohl's Ansicht vollkommen bei, wenn er zwischen den Eisbildungen auf dem Boden und auf Pflanzen keinen wesentlichen Unterschied statuirt.

Auch hält es v. Mohl für möglich, dass das »Aussickern« durch die Zusammenziehung der Zweige bei der Abkühlung noch unterstützt werde.

Dass Bouché und Caspary die blättrigen und faserig-kompakten Eisbildungen nur auf Pflanzen des freien Landes beobachteten, möchte ich in Folgendem begründet finden. Wenn es zur Erklärung jener Eisbildungen auch nicht nöthig ist, einen von den Wurzeln ausgehenden bedeutenden Saftdruck anzunehmen, welcher die Flüssigkeit über die Oberfläche des Holzes hinauspresst, so erfordert doch die Quantität des Eises, wie Caspary mit vollem Recht angiebt, einen Zufluss von unten. Bei den Pflanzen in freiem Lande findet dieser Zufluss statt, denn die grosse Masse des Bodens kühlt sich bei den ersten Nachtfrösten nur wenig ab, die Wurzeln stehen in einem noch ziemlich hoch temperirten Medium, nehmen Wasser auf und senden es nach oben. Bei den in Töpfen stehenden Pflanzen kühlt dagegen die Erde schon in wenigen Stunden stark aus, wenn die Temperatur unter 0° sinkt, die Wurzeln hören dann auf Wasser aufzunehmen und hinaufzusenden. Man kann sich durch sehr einfache Versuche von der Sistirung der Wurzelthätigkeit durch Abkühlung des Bodens überzeugen. Wenn man Tabak- oder Kürbispflanzen in gläsernen Gefässen erzogen hat und diese Gefässe einige Stunden lang mit Schnee umgiebt, so fangen die Blätter an stark zu welken; die Lufttemperatur von $4-10^{\circ}$ R. unterhält nämlich die Ausdünstung während die Wurzeln in dem abgekühlten Boden das Verlorene nicht ersetzen können; erwärmt man dann den Boden auf $10-15^{\circ}$ R., so werden die Blätter wieder straff, weil die Wurzeln wieder thätig geworden sind (Versuchstationen Heft 3 und 4 Berichte über die physiol. Thätigkeit u. s. w. von Dr. Julius Sachs).

Demnach erklärt sich das Nichterscheinen der Eisbildungen

auf den Topfpflanzen daraus, dass bei ihnen der Zufluss von unten nicht stattfindet, und folglich diejenigen Erscheinungen nicht eintreten, welche nach Caspary das Abspringen der Rinde bedingen, auf welches dann die Krystallbildung folgt.

Als Resultat der vorstehenden Betrachtungen möchte ich folgende Sätze hinstellen: Wenn imbibirte Körper (Zellhäute, thoniger oder humoser Boden) von hinreichender Masse um langsam auszukühlen über 0° warm sind und an ihren Oberflächen von einer unter 0° kalten Luft berührt werden, so erstarrt die äussere Schicht des Imbibitionswassers zu Eis, und bildet seitlich verbundene, mehr oder weniger regelmässig sechseckige Platten; durch Erneuerung der abgefrorenen Wasserschicht, und Erstarren derselben verdicken sich diese Platten und endlich erscheint die zuerst gebildete Platte nur als die oberste Schicht einer mehr oder weniger hohen Eissäule. Jede Kraft, welche sehr langsam und continuirlich ein Austreten des Wassers im Sinne der Imbibition bewirkt, kann die Krystallbildung befördern, solche Kräfte sind die Contraction des Gewebes, der von den Wurzeln aus stattfindende Saftdruck.

A n h a n g.

Ueber die Zusammenziehung saftiger Pflanzentheile bei dem Gefrieren.

Herr Prof. H. Hoffmann hat in seinen Grundzügen der Pflanzenklimatologie 1857 S. 327—329 Messungen angegeben, um auf volumetrischem Wege die Zusammenziehung saftiger Pflanzentheile bei dem Gefrieren zu erkennen. Die Contraktionen, welche er auf diese Weise erhielt, erreichen bei Blättern 21 bis über 30 p.Ct. des ursprünglichen Volumens. Diese ganz unglaublich grossen Zusammenziehungen veranlassten mich zu neuen Versuchen über diesen Gegenstand um so mehr als ich die von Herrn H. Hoffmann befolgte Methode für unbrauchbar halte. Die Blätter wurden von ihm in das 7° warme Wasser in einem Masscylinder eingetaucht, dann dem Frost ausgesetzt und abermals in das 6° — 7° warme Wasser eingetaucht. Die Differenzen der Wasserhöhe bei beiden Messungen wurden als Contraktionen durch den Frost bezeichnet. Allein gefrorene Blätter, welche man in Wasser von 7° taucht sind momentan erfroren, d. h. rasch aufgethaut wie aus dem folgenden Theil meiner Abhandlung erhellen wird.

Diese rasch aufgethauten Blätter nehmen nicht nur ein anderes Volumen an als sie im Zustande der Erstarrung hatten, sondern sie zeigen auch ein durchausverändertes Verhalten gegen Wasser. Die frischen Blätter sind niemals mit Wasser gesättigt, nehmen dasselbe also noch aus dem Masscylinder bei dem Untertauchen auf; bei einem gefrorenen Blatte tritt nicht nur eine ganz andere Wassercapacität auf, sondern die Aufnahme und Abgabe von Wasser, die Diffusion findet hier mit ausserordentlich grosser Geschwindigkeit statt, so dass bei dem ersten und bei dem zweiten Messen unter Wasser während der Beobachtung Volumveränderungen stattfinden, welche mit der Zusammenziehung bei dem Gefrieren nichts zu thun haben, und diese Aenderungen sind um so complicirter als sie mit Aufnahme des Masswassers verbunden sind. Aber selbst wenn Alles das nicht stattfände, so wäre der Einwurf nicht zu beseitigen, dass H. Hoffmann bei seiner zweiten Messung nicht das gefrorene sondern das rasch aufgethaute Blatt mass.

Da ich kein Mittel kenne, um an Pflanzentheilen so genaue volumetrische Beobachtungen zu machen, wie sie für den gegenwärtigen Zweck allein werthvoll sein können, so beschränkte ich mich darauf, lineare Messungen zu versuchen, aus denen sich doch wenigstens annähernd die Volumänderung abschätzen lässt.

Blätter wurden an der Stielbasis abgeschnitten, dann die Lamina beiderseits von der Mittelrippe abgeschnitten. Der verlängerte Blattstiel wurde dann mit seiner concaven Seite auf eine grade Linie auf weissem Papier aufgedrückt und an beiden Endpunkten mit einem sehr spitzen harten Bleistift Punkte gemacht; dann kam der Pflanzentheil in eine zugestopfte Röhre um Verdunstung zu verhindern und diese in eine Kältemischung, aus Schnee und $SO_3 HO$, worin die Stiele binnen 40—45 Minuten völlig hart wurden; sodann wurden sie in einem ziemlich kalten Zimmer wieder auf die Linie gelegt, das eine Ende auf den entsprechenden Bleistiftpunkt, das andere Ende fiel dann innerhalb des früheren Endpunktes und wurde hier mit einem neuen Punkt möglichst genau bezeichnet. Erst dann wurden mit dem Zirkel die Entfernungen gemessen.

Blattstiel sammt Mittelrippe von :	Länge		Zusammenziehung in pCt. der ur- sprüngl. Länge.
	frisch.	gefroren.	
Winter-Raps	88 ^{mm}	86 ^{mm}	1,70 p.Ct.
Rothe Lupine	71 ^{mm}	70,3 ^{mm}	0,99 „
Ballota nigra	135 ^{mm}	134 ^{mm}	0,73 „
Grünkohl	208 ^{mm}	206 ^{mm}	0,96 „
Ranunculus repens	52,0 ^{mm}	50,2 ^{mm}	3,46 „
Capsella	82,5 ^{mm}	80,5 ^{mm}	2,42 „
Tabak	193 ^{mm}	180 ^{mm}	1,64 „
Blatt von Allium cepa	199 ^{mm}	194 ^{mm}	2,51 „

Der Blattstiel des Tabaks zog sich bei dem Aufthauen nochmals um 1^{mm} zusammen.

Wie man sieht habe ich bei den Messungen meist nur die ganzen Millim. angegeben, diess geschah weil bei dem Auflegen des Stiels auf das Papier eine gewisse Willkürlichkeit nicht zu vermeiden ist zumal nach dem Gefrieren, so dass die Angabe von Zehntelmillimeter schon zu den illusorischen Genauigkeiten gehört.

Die von Hofmeister bei seinen Untersuchungen über die Beugungen saftreicher Pflanzentheile nach Erschütterung (Berichte der königl. sächs. Gesellsch. d. Wiss. 1859. S. 188) angewandte Methode, welche einen hohen Grad von Genauigkeit zulässt, da die Länge des sich selbst überlassenen Theiles ohne willkürlichen Druck aus anderen Daten berechnet wird, konnte ich bei den gefrorenen Stielen nicht anwenden; ich habe sein sinnreiches Verfahren in einer ziemlich rohen Weise vereinfachen müssen. Indessen ist das Maximum der Messungsfehler nicht über 0,5^{mm} zu schätzen.

Die hier mitgetheilten Zahlen für die linearen Zusammenziehungen dürfen nicht unmittelbar zu Schätzungen über das Volumen benutzt werden, denn es ist sehr wahrscheinlich, dass die Zusammenziehung senkrecht gegen die Axe der Stiele viel geringer ist. Jedenfalls zeigen diese Messungen eine ungleich geringere Contraction, als Hoffmann erhalten hat. Wenn so grosse Zusammenziehungen stattfänden, wie er sie angiebt, so würde man mit blossen Augen ohne alle Messung das Resultat erkennen, da seine Volumänderungen den dritten Theil (Dracaena cernua) des Gesamtvolums erreichen.

Ich habe ferner aus Rüben und Kürbisfleisch quadratische

und prismatische Stücke möglichst gross ausgeschnitten, auf Papier ihre Dimensionen bezeichnet und dann gegen Verdunstung geschützt gefrieren lassen. Es ist mir aber niemals gelungen eine deutliche Volumänderung zu bemerken; es ist diess um so merkwürdiger, da diese Theile durch Verdunstung enorme Contractionen erfahren.

Die Zusammenziehung bei dem Gefrieren ist auf der Unterseite der Blattstiele des Raps viel stärker als auf der Oberseite, denn wenn man ganze in Töpfen stehende Pflanzen gefrieren lässt, so krümmen sich die Stiele stark und biegen sich abwärts. Setzt man eine gefrorene Rapspflanze an die Sonne, so krümmen sie sich so rasch aufwärts in ihre natürliche Lage, dass man die Bewegung mit den Augen leicht verfolgen kann. Auch die Unterseiten der Blätter ziehen sich bei dem Gefrieren stärker als die Oberseiten zusammen, wodurch sich die Lamina nach unten zusammenrollt. Ich erwähne diese schon von Linné (Amoenit. academ. Vol. IV de somno plant. p. 338) bei *Euphorbia Lathyris* und von Göppert (Wärme-Entwicklung 1830. S. 42), ausserdem bei *Cheiranthus* u. a. gesehene Stellungsänderung der Blätter nur um die Bemerkung daran zu knüpfen, dass das Abwärtsbeugen der Stiele und die Einrollung der Lamina schon vor dem Erstarren eintreten, dass also die Zusammenziehungen durch Kälte nicht eine alleinige Folge des Gefrierens sind sondern bei einem gewissen Grade der Abkühlung dem Gefrieren vorausgehend anfangen. Daraus ergibt sich nun das merkwürdige Faktum, dass starke Temperaturerniedrigungen oder besser Temperaturänderungen in der Nähe des Eispunktes als Bewegungsreize wirken, während bekanntlich die Temperaturänderungen zwischen einigen Graden über Null bis zu 30° und mehr hinauf keine Bewegungen erzeugen.

Veränderung der Zellhäute durch rasches Aufthauen.

Wenn man einen Kürbis der Länge nach durchschneidet, so bemerkt man auf dem Schnitt dreierlei Schichten welche durch den Lauf der Gefässbündel und die Festigkeit des Parenchyms charakterisirt sind. Unmittelbar innerhalb der Schale liegt eine Schicht, worin man nur Querschnitte von Gefässbündeln bemerkt, weiter nach innen werden die Bündel zahlreicher

und nehmen eine der Peripherie parallele Richtung an, endlich in der Nähe der Kerne biegen die peripherischen Läufe in radiale Richtungen ein. Bezeichnen wir daher die beiden organischen Enden der Frucht als Pole, so hat man unter der Schale eine Bündelschicht, deren Lauf dem Aequator parallel geht; die mittlere Schicht besteht aus Bündeln, welche die Richtung der Meridiane haben, die dritte läuft radial.

Auf einem frisch gemachten Längsschnitt bemerkt man auf dem Querschnitt jedes äquatorial verlaufenden Bündels einen hellen kleinen, kugelförmigen Tropfen, der sich in Kurzem bedeutend vergrössert; sie erreichen oft 5 — 6^{mm} Durchmesser ohne ihre runde Gestalt zu verlieren; diese aus den Gefässbündeln kommende Flüssigkeit färbt ein rothes Lakmuspapier dunkelblau; das umgebende Parenchym dagegen ist stark sauer wie gewöhnlich. Wenn man die zuerst hervorquellenden Tropfen mit einem Filtrirpapier abtrocknet, dann einen Streifen neutrales Lakmuspapier auf den Schnitt legt und mit dem Finger ein wenig andrückt, so färbt sich das Papier an allen Stellen, wo es das Parenchym berührte roth, nur da wo es auf die Querschnitte der äusseren Bündelschicht aufgedrückt wurde zeigen sich intensiv blaue Punkte. Es ist demnach kein Zweifel, dass in der Kürbisfrucht ein chemischer Gegensatz zwischen den Gefässbündeln und dem Parenchym besteht. Da ich im December, wo ich diess zuerst beobachtete noch eine Kürbisfrucht mit einigen Blättern in einem Topf im Laboratorium stehen hatte, so konnte ich mich überzeugen, dass in den Querschnitten der Blattstiele Dasselbe zu beobachten ist. Die aus den Bündeln austretende Flüssigkeit ist deutlich alkalisch, das Parenchym der Rinde stark sauer. Drückt man einen Querschnitt des Blattstiels öfter nach einander auf einen neutralen Streifen Reagenspapier, so erhält man rothe Kreisflächen in denen die blauen Gefässbündelabdrücke einen Zirkel bilden. Ein Kürbiskeim, dessen Cotyledonen noch klein aber schon grün waren und der bereits zwei kleine Blättchen besass gab dieselben Reaktionen, wenn man den Querschnitt des Keimstengels auf Reagenspapier aufdrückte; zehn blaue Punkte in einem rothen Kreise. Die allerdings verkümmerte Wurzel und die Cotyledonen zeigten keine alkalische sondern allein saure Reaktion.

Das Vorkommen alkalischer Flüssigkeiten neben den gewöhnlich sauren Säften des Parenchyms wurde zuerst von Payen

(Compte rendu Bd. XXVII No. 4 — 2. 1848; bot. Zeitg. 1848. S. 849) beobachtet. Aus der Gegenwart der Ablagerungen von $Ca\ OCO_2$ in gewissen Zellen der Urticeen folgerte er, dass diese Zellen schwach alkalisch sind, während das umgebende Gewebe sauer ist. Die hellen oberflächlichen Drüsen auf dem Mesembrianthemum crystallinum bezeichnet er als mit alkalischer Flüssigkeit gefüllt; das unterliegende Gewebe ist sauer. Dagegen scheint es bis jetzt nicht bekannt zu sein, dass die Gefässbündel in den vegetativen Theilen und in der Frucht einer Pflanze zu allen Lebenszeiten alkalisch sind und in einem sauren Parenchym verlaufen.

Die aus den Querschnitten der Gefässbündel der Kürbisfrucht hervorquellenden alkalischen Tropfen nehmen nach $\frac{1}{2}$ Stunde ein trübes milchweisses Ansehen an, bei Berührung mit einer Spitze bemerkt man dass sie sich mit einer festen, elastischen Haut umgeben haben; nach einigen Stunden ist die ganze anfangs flüssige Kugel zu einer festen Masse erstarrt und ist nun elastisch wie Kautschuk. Erhitzt man ein hinreichendes Quantum dieser Substanz auf einem Platinblech, so entwickelt sich ein nach verbranntem Horn riechender Dampf; es bleibt eine voluminöse Kohle zurück welche schwer verbrennt. Die Asche ist im Verhältniss zu der Substanz sehr bedeutend; setzt man einen Tropfen Wasser darauf, so wird sie gänzlich aufgelöst, besteht also aus Alkalisalzen; ein rothes Lakmuspapier in die Lösung getaucht wird dunkelblau.

Da Braconnot (Rochleder Phytochemie 91) in den Kürbissen die Gegenwart eines Ammoniaksalzes angiebt, so kam ich auf die Vermuthung, die alkalische Reaktion der frischen Bündelflüssigkeit könne von einem solchen herrühren. Das scheint aber nicht der Fall zu sein, denn die blauen Flecken, welche sie auf dem Reagenspapier zurücklässt, bleiben auch nach starkem Austrocknen und Erwärmen desselben, und die bedeutende Quantität der fixen Alkalien in der Asche dieser Flüssigkeit giebt der Annahme Raum, dass die alkalische Reaktion der frischen Flüssigkeit von einem fixen Alkali herrührt. Setzt man auf einen frischen Schnitt einen Tropfen Molybdänphosphorsäure, so entsteht auf jedem Gefässbündel eine kleine weisse Kruste; wäre Ammoniak zugegen, so würde diese gelb sein. Jenes Reagens auf eine dünne Schicht Kali, welche man auf Glas ausgebreitet hat, gesetzt giebt eine ebensolche weisse Haut.

Die in den Bündeln enthaltene Flüssigkeit reicht nicht hin, um den sauren Saft des umgebenden Parenchyms zu neutralisieren. Wenn man auf einem frischen Schnitt mit dem Messer hin und her schabt, so dass Bündelflüssigkeit und Zellsaft sich mischen, so ist dann das Gemenge noch immer stark sauer. —

Die Thatsache, dass saure und alkalische Flüssigkeiten, nur durch die äusserst dünnen Wände der Zellen getrennt, neben einander vorkommen können, wirft ein eigenthümliches Licht auf die Eigenschaften der Zellhäute. Diese Zellhäute sind offenbar diosmotisch, man weiss mit welcher grosser Kraft saure und alkalische Flüssigkeiten gegen einander diffundiren, und dennoch findet diess hier nicht statt. Diess weist darauf hin, dass die lebendigen Zellhäute physikalische Eigenschaften besitzen, für welche wir bisher keine Analogie kennen. Zu demselben Schluss führt das Vorkommen einzelner Gerbstoffzellen mitten in einem Parenchym welches keinen Gerbstoff enthält, ebenso das Vorhandensein flüssiger Farbstoffe in einzelnen Zellen mitten in einem ungefärbten Gewebe.

Lässt man nun ein Stück Kürbis, von dessen Reaktionen man sich überzeugt hat, bei starker Kälte rasch gefrieren, und durchschneidet man dann das gefrorene Stück mit einem kalten Messer, legt man dann auf den frischen Schnitt ein warmes Reagenspapier und drückt es mit dem Finger an, so erhält man keine blauen Punkte mehr, die alkalische Reaktion ist plötzlich verschwunden, nur die saure ist geblieben.

Diese merkwürdige Veränderung durch ein rasches Gefrieren und rasches Aufthauen brachte mich auf den Gedanken, dass die alkalische Flüssigkeit bei dem Aufthauen sich mit der überwiegend sauren Umgebung mengt und dass so die alkalische Reaktion verschwindet. Andere später zu beschreibende Erfahrungen hatten mich unterdessen belehrt, dass die Zellhäute durch rasches Aufthauen permeabler werden und so fand ich mich zu der Ansicht gedrängt, dass die beiden Flüssigkeiten im Kürbis bei dem Aufthauen gegen einander diffundiren, dass demnach die Zellhäute, welche vorher die Fähigkeit besaßen, Monate lang zwei chemisch verschiedene Stoffe zu trennen, diese Fähigkeit plötzlich verloren hatten.

Diese Meinung wurde gleichzeitig durch ein anderes nicht minder merkwürdiges Phänomen hervorgerufen. Wenn man nämlich eine Scheibe aus einer dunkelrothen Rübe in kaltem

Wasser abwäscht, um den Farbstoff der zerschnittenen Zellen zu entfernen und diese Scheiben sodann in Wasser von etwa 0° bis 10° R. legt, so wird selbst nach mehreren Tagen das Wasser kaum merklich gefärbt, es nimmt höchstens einen hellrothen Schein an. Lässt man nun dieselbe Scheibe gefrieren und bringt sie im gefrorenen Zustande in Wasser, welches die frühere Temperatur zwischen 0° und 10° R. hat, so thauen die äusseren Schichten der Scheibe schnell auf, und in dem Masse als diess geschieht, färbt sich das umgebende Wasser dunkelroth; bei längerem Liegen und öfterem Erneuern des Wassers lässt die Scheibe endlich allen Farbstoff austreten. Die frischen Zellhäute halten also den Farbstoff zurück, die rasch aufgethauenen dagegen lassen ihn frei gegen das Wasser diffundiren. *)

Ein Stück von einem welk gewordenen Kürbis wog 98,8 Gramm; nachdem es eine Stunde in Wasser von 20° R. gelegen hatte, wog es 100,2 Gramm, hatte also 1,4 Gr. aufgenommen. Dieses Stück war an freier Luft binnen drei Stunden bei -5° R. gefroren und wog in diesem Zustand 99,3 Gramm, hatte also 0,9 Gramm durch Verdunstung verloren; nachdem es in Wasser von 20° R. aufgethaut und eine halbe Stunde darin gelegen hatte, wog es 103,1 Gramm. Demnach hatte es bei dem Aufthauen binnen $\frac{1}{2}$ Stunde 3,8 Gramm aufgenommen, während es im frischen Zustande in $\frac{1}{2}$ Stunde nur 0,7 Gr. aufnahm. Die Geschwindigkeit womit das welke Stück Wasser aufnahm hatte sich durch das rasche Aufthauen auf das Fünffache gesteigert. Es ist offenbar, dass dieses Faktum, dem ich unten noch mehrere andere anreihen werde, mit der oben ausgesprochenen Ansicht übereinstimmt, indem es beweist, dass die Permeabilität der Zellhäute durch das Aufthauen erhöht wurde.

Nicht bloss der Ein- und Austritt von Flüssigkeiten findet durch erfrorene (d. h. schnell aufgethauene) Zellhäute rascher statt, sondern auch die Gase dringen in erfrorene Zellen mit grösserer Geschwindigkeit ein, wie folgende Beobachtungen zeigen.

Durchschneidet man eine Runkelrübe mit ungefärbtem Fleisch und lässt sie einige Zeit an der Luft liegen, so färben sich die Querschnitte sämtlicher Gefässbündel schwarz, jedoch

*) Herr Prof. Weber, dem ich diese Beobachtung mitzutheilen die Ehre hatte, sagte mir, dass die Adern gefrorener Leichen den Farbstoff austreten lassen, es scheint also bei dem Erfrieren animalischer Häute etwas Aehnliches stattzufinden wie bei dem der vegetabilischen Zellmembranen.

nur an der Oberfläche; nimmt man dann eine dünne Scheibe ab, so sind die Gefässbündel daselbst noch ungefärbt. Es bedarf keiner Erörterung, dass diese Schwärzung eine Wirkung des Sauerstoffs der Luft ist.

Lässt man nun eine ganze Rübe gefrieren und durchschneidet sie dann um sie in einem warmen Zimmer aufthauen zu lassen, so schwärzen sich die Gefässbündel viel schneller; nach 24 Stunden, wo bei der ersten die Schwärzung nur oberflächlich ist, ist bei der aufgethauenen Rübe diese Veränderung durch die ganze Masse gedrungen, das ganze Fleisch der Rübe ist schwarz geworden. Demnach muss hier der Sauerstoff der Luft sehr rasch eingedrungen sein.

Nur die Geschwindigkeit des Aufthauens bringt diese Veränderung in gefrorenen Geweben hervor.

Lässt man Stücke von Rüben und Kürbissen bei 4° bis 6° Kälte gefrieren, und bringt sie dann in eine Luft von 2° bis 3° über Null, so nehmen sie nach dem Aufthauen das Ansehen erfrorener Pflanzentheile an, das opake Aussehen ist verschwunden, die Stücke sind jetzt diaphan, es hat offenbar eine Infiltration der luftführenden Räume stattgefunden. Ganz dasselbe geschieht unter gleichen Bedingungen mit gefrorenen Blättern von Runkelrüben, Raps, Kohl, Phaseolus und Faba. Noch entschiedener und rascher findet das Erfrieren statt, wenn man die gefrorenen Theile in warmes Wasser wirft; selbst in Wasser von 6° bis 10° erfrieren die gefrorenen Theile noch. Legt man die Stücke aber in Wasser von 0° so überziehen sie sich sogleich mit einer immer dicker werdenden Eiskruste; steht das Wasser in einer Luft von 0° bis 3° R. so thaut dann zuerst das Eis und endlich das Gewebe langsam auf. Unter solchen Umständen behalten die genannten Blätter, selbst die so höchst empfindlichen Blätter des Tabaks ihre frische Farbe, ihre Opacität, ihre Straffheit, sie sind nicht infiltrirt. Dagegen ist bei diesem Verfahren das Erfrieren der Rüben- und Kürbisstücke kaum zu vermeiden, auch in Wasser von 0° wo sie binnen 12—24 Stunden erst aufthauen zeigen sie nachher alle Anzeichen des Erfrorenseins. Legt man sie dagegen vor dem Gefrieren in Wasser, lässt das Ganze zu einem einzigen Eisklumpen erstarren, und bringt diese Masse nun in eine Luft von 4° bis 5° R. so thaut sie langsam von aussen nach innen auf; hatte man z. B. ein Liter Wasser genommen, so dauert es 24 Stunden bis das Ganze aufgethaut ist.

Alsdann aber schwimmen die Kürbis- und Rübenstücke völlig unversehrt in dem Wasser, sie haben ihre ganze Frische behalten, sind fest, elastisch, opak, lassen bei Druck kein Wasser fließen; Blätter der empfindlichsten Art, wie die von Phaseolus, Faba, Tabak überstehen die härtesten Kältegrade bei diesem Verfahren.*)

*) H. Hoffmann (Pflanzenklimatologie S. 324) hat ähnliche Versuche gemacht und ist zu einem entgegengesetzten Resultat gekommen. »Wollte man, sagt er, den Schluss ziehen, dass die rasche Temperaturerhöhung an und für sich allein die Ursache der erwähnten Vorgänge (der Bräunung der gefrorenen und bei 11—12° aufgethauenen Blätter) sei, so würde man sehr irren.« Er schliesst diess daraus, dass gefrorene Blätter von Camphora, Aucuba viburnum Tinus, Camellia, Rosmarin u. a. in Wasser von 12° gebracht nach 24 Stunden noch grün waren. Allein trotz der grossen Unempfindlichkeit dieser festen Blätter zweifle ich noch an der Erhaltung derselben, da Hoffmann nur die Farbe als Kriterium ihres Zustandes angiebt; die Blätter von Faba, Tabak und Phaseolus welche gefroren in Wasser von 10—12° R. eingetaucht werden sind fast momentan getödtet; allein sie behalten ihre grüne Farbe im Wasser tagelang bei, ausserhalb desselben sind sie in einigen Minuten ihrer schönen Farbe beraubt. Auch Hoffmann giebt an, dass die aus dem Wasser hervorstehenden Theile sich schwärzten. Alle früheren Schriftsteller haben grosses Gewicht auf die Verfärbung erfrorener Blätter gelegt, und Hoffmann geht so weit, darin das Kriterium zur Beurtheilung ihres Zustandes zu sehen. Allein nach meinen Versuchen ist die Verfärbung ein sekundäres Phänomen, das einzige ganz allein und unter allen Umständen Entscheidende über die Frage ob ein Pflanzentheil erfroren sei, ist die Infiltration der Lufträume. Wenn ein Blatt oder sonst ein Gewebetheil nach dem Aufthauen im durchfallenden Licht heller und homogen aussieht, auf schwarzem Hintergrunde dunkler erscheint, also durchsichtig geworden ist, dann ist diess das Zeichen, dass seine Inter-cellular-Räume sich mit Flüssigkeit gefüllt haben, infiltrirt sind. Bleibt ein solcher Theil an der Luft liegen, so tritt meist (nicht immer z. B. bei den Schnitten von Wasserrüben) eine Farbenänderung ein, ist er unter Wasser aufgethaut und dabei erfroren, so tritt selbst bei den veränderlichsten Blättern keine Farbenänderung ein. Es ist wahrscheinlich, dass diese Verfärbung auf dem oben genannten raschen Eindringen der Luft in die permeabler gewordenen Gewebe beruht, was unter Wasser nur langsam geschieht.

Göppert (Wärme-Entwicklung in den Pfl., deren Gefrieren und Schutzmittel. Breslau 1830 S. 231—232) kam ebenfalls durch seine Versuche zu einem, dem meinigen entgegengesetzten Resultat. Bei den genauen Untersuchungen desselben, bei seiner grossen Bekanntschaft mit dem Aussehen erfrorener Pflanzen ist es nicht erlaubt, zu zweifeln, dass seine Beschreibung richtig ist. Indessen finde ich keine Angabe, dass er seine gefrorenen Pflanzentheile unmittelbar aus der kalten Luft in kaltes Wasser oder in Schnee brachte, und diess ist bei den Blättern entschei-

Durch die erhöhte Permeabilität der Zellwände, welche bei raschem Aufthauen eintritt, erklärt sich auch das Hauptphänomen des Erfrierens, nämlich die Infiltration der Lufträume des Gewebes. Die Infiltration macht sich hinlänglich durch das veränderte Aussehen geltend, zunächst durch die homogene grüne Färbung, dann durch die Durchsichtigkeit. Ausserdem ist es nicht schwer, sich direkt davon zu überzeugen.

dend. Ich habe im Anfang meiner Untersuchungen oft negative Resultate erhalten weil ich das rasche Verderben der Blätter nicht kannte. Es genügt, ein gefrorenes Blatt von Faba, Phaseolus oder Tabak 5—10 Sekunden lang in eine Luft von 10—12° R. zu bringen um es völlig zu tödten. Die blosser Berührung mit dem Finger tödtet den berührten Theil fast momentan. Ich hatte im December zwischen einem Doppelfenster eine grössere Zahl von Keimpflanzen von Faba stehen; in der Nacht vom 23sten auf den 24sten gefror die Erde des Topfes sammt den Pflanzen; diese waren völlig spröde. Um mich von ihrem Zustande zu überzeugen, hatte ich bei einigen die Blätter, bei andern die Stengel angegriffen ohne sie zu drücken. Darauf blieben die Pflanzen in dem kalten Raume sich selbst überlassen, das Thermometer stieg langsam bis zum 25sten auf 0° (in der Erde des Topfes), als ich dann nach 8 Tagen zurückkehrte und die Pflanzen betrachtete, fand ich alle unberührten völlig gesund und weiter gewachsen, sie stehen noch jetzt an meinem Fenster, die berührten Stellen dagegen waren braun geworden, und die berührten Stengel, auf einer Seite gebräunt, hatten das Wachsthum der betreffenden Pflanzen aufgehalten. An gefrorenen Blättern in Töpfen stehender Bohnen erzeugte ich durch eine 1—2 Sekunden lange Berührung mit dem Finger erfrorene Flecke, während das Uebrige gesund blieb. Diess Alles lässt jedoch keine Anwendung auf die Versuche mit Zwiebeln zu, welche Göppert machte. Ich habe diese Versuche nicht wiederholt und habe also kein Urtheil darüber; aber nach Analogie mit den viel empfindlicheren Kürbisstücken zu schliessen, glaube ich, man würde auch Zwiebeln durch ein noch langsames Aufthauen vor dem Erfrieren schützen können. Um Blätter in kaltem Wasser aufthauen zu lassen, lege ich sie in einen Glascylinder, der in einer Kältemischung steht, welche während 12 Stunden immerfort unter —15° R. bleibt. Ein Thermometer dessen Kugel von den Blättern umgeben ist giebt die Temperatur an, bei welcher sie gefrieren; nachdem das Thermometer einige Stunden lang unter 0° gestanden, und die Blätter bei Berührung mit einem Glasstabe sich als erstarrt bekunden, bleibt der Cylinder noch in der Kältemischung stehen, wird aber mit kaltem Wasser gefüllt; jetzt erst wird er herausgenommen und in eine nicht allzuwarme Luft gestellt. Bei diesem Verfahren haben sich die empfindlichsten Blätter immer frisch erhalten. Indessen verhalten sich verschiedene Pflanzen gegen Kälte so verschieden, dass man auf Analogien nicht viel bauen darf, und unmöglich ist es nicht, dass Zwiebeln durch das Gefrieren an und für sich getödtet werden; es scheint, dass die Zellen in den erfrorenen Schuppen von *Allium cepa* sich lockern und durch leichten Druck von einander ablösen.

Wenn man nicht allzufeine Schnitte des Gewebes ohne Wasserzusatz auf den Objektträger bringt, so erkennt man die Luft in den Intercellular-Räumen und den Spiralgefässen; lässt man nun den Schnitt auf dem Objektträger möglichst schnell gefrieren, indem man ihn in einen Cylinder bringt, welcher in einer möglichst kalten Mischung steht, so dass das Gefrieren in einigen Minuten stattfindet, und bringt man ihn dann in einem kalten Zimmer unter das Mikroskop, so erkennt man zwischen den gefrorenen Zellen noch die Lufträume. Dann beginnt ein langsames Thauen und man bemerkt wie sich ein Intercellular-Raum nach dem andern mit Flüssigkeit füllt; ebenso tritt die Luft aus den Gefässen hervor und der ganze Gewebtheil wird nun durchsichtiger, gewinnt ein Ansehen, als ob man ihn mit Kalilauge behandelt hätte.

Die früheren Beobachter scheinen das Infiltrations-Phänomen als eine einfache Farbenänderung betrachtet zu haben, ich finde wenigstens nirgend eine Andeutung, dass irgend Jemand die nach raschem Thauen eintretende Farbenänderung als eine Infiltration bezeichnet hätte.

Ausser der Infiltration der Lufträume und der damit verbundenen Aenderung der Durchsichtigkeit, erklären sich aus der erhöhten Permeabilität der Zellhäute noch zwei andere Erscheinungen, welche nach dem raschen Aufthauen eintreten, nämlich die Zerfliesslichkeit und der Mangel an Turgor.

Eine frische durchschnittenen Rübe, Kartoffel, Kürbis, Blätter kann man mit aller Kraft der Hände zusammendrücken, ohne mehr als ein Feuchtwerden der Schnittflächen zu erzielen; dieselben Stücken gefroren und dann rasch aufgethaut lassen schon bei sehr geringem Druck Flüssigkeit in Masse auslaufen, und durch kräftiges Pressen mit den Händen ist es möglich die Flüssigkeit in dem Grade auszutreiben, dass man zuletzt nur eine lederartige, zähe, ziemlich trockene Masse übrig behält. Wenn Göppert nicht schon den Beweis geführt hätte, dass bei dem Erfrieren keine Zerreiſsung der Zellen stattfindet, wie die älteren Physiologen glaubten, so könnte man diesen Beweis durch das Auspressen der Kartoffeln liefern. Wenn die Zellen erfrorener Kartoffeln zerrissen wären, so müsste der ausfliessende Saft eine grosse Menge Stärkekörner enthalten; es treten aber nur einzelne wenige derselben aus, offenbar in Folge der Risse welche bei dem Zusammendrücken entstehen. Die erhöhte Permeabilität

der Häute hindert sie, turgid zu sein. Ein erfrorenes, d. h. rasch aufgethautes Blatt ist weich, unelastisch wie ein nasser Lappen; wenn man es in Wasser legt, oder sogleich in Wasser aufthauen liess, so wird es dadurch nicht straff, nicht elastisch. Dieser Zustand ist keine Folge der Infiltration, sondern gleich dieser eine Folge der hohen Permeabilität der Zellhäute. Wenn man frische Blätter unter der Luftpumpe oder durch langes Liegen unter Wasser infiltrirt, so behalten sie dabei ihre Turgescenz, ihre Straffheit und Elasticität bei, demnach kann die durch das rasche Aufthauen erzeugte Schloffheit keine Folge der Infiltration sein. Dagegen erklärt sich der Mangel an Turgor leicht aus der erhöhten Durchgängigkeit der Zellhäute. Die Turgescenz frischer Gewebe beruht darauf, dass sie soviel Wasser aufnehmen als der höchsten Ausdehnung der Zellhäute entspricht. Die Aufnahme geschieht vermöge der endosmotischen Eigenschaften der Zellhäute und dauert so lange bis der durch Ueberfüllung erzeugte Druck den endosmotischen Kräften das Gleichgewicht hält. Die durch das eingedrungene Wasser ausgespannte Haut hat das Bestreben vermöge ihrer Elasticität sich zusammenzuziehen und übt ihrerseits auf die Inhaltsflüssigkeit einen entsprechenden Druck aus. Wird nun die Zellhaut durch irgend eine Veränderung fähig, Wasser auf andere als diosmotische Weise austreten zu lassen, so wird vermöge ihrer Zusammenziehung ein Theil des Wassers herausgepresst; dabei fällt sie zusammen und die durch den gegenseitigen Druck der Zellen erzeugte Steifheit geht verloren. Ist die Zellhaut einmal fähig geworden Wasser austreten zu lassen bloss durch Druck, so ist sie auch nicht mehr fähig turgid zu sein. Angenommen eine solche Zelle liege in Wasser, so wird sie allerdings solches durch Endosmose aufnehmen, aber sobald sich die innere Flüssigkeit vermehrt, übt sie einen Druck auf die Zellwand und da diese jetzt nicht mehr im Stande ist, diesem Drucke zu widerstehen, so tritt ein Theil der Flüssigkeit aus. Die Turgescenz beruht auf der ausserordentlich geringen Filtrationsfähigkeit, bei grossem endosmotischen Vermögen; tritt Filtrationsfähigkeit ein, so wird der Turgor unmöglich.

Denken wir uns nun einen Gewebetheil im Zustande höchster Turgescenz, z. B. eine Scheibe aus einer Rübe, welche tagelang in kaltem Wasser gelegen hat; dann üben sämtliche Zellinhalte auf ihre Membranen einen gewissen Druck aus, die

gespannten Häute streben, sich zusammenzuziehen. Nun denken wir uns diese Scheibe gefroren und in warmes Wasser gelegt; sie erfriert hier, die Zellwände werden filtrationsfähig, jede Zellwand übt auf ihre Inhaltsflüssigkeit einen Druck und diese sucht zu entweichen, sie entweicht in der That und mengt sich mit dem die Scheibe umgebenden Wasser; das Resultat ist nun, dass die ganze Scheibe innerhalb des Wassers leichter wird. Bei der Beschreibung der unten folgenden Diffusionsversuche werden zahlreiche Angaben diese Ausstossung der Zellinhalte nach dem Aufthauen beweisen.

Da die Zellhäute durch das Aufthauen permeabler werden, so war zu vermuthen, dass auch die endosmotischen Eigenschaften derselben sich ändern; diess ist in der That in einem überraschenden Grade der Fall.

Ich wollte anfangs dünne Scheiben als Häute auf Endosmometer spannen, allein es erwies sich diess in jeder Hinsicht als unthunlich und ich entschloss mich daher, die Veränderungen der Gewebemassen selbst zu untersuchen.

Grosse Scheiben wurden in Bezug auf ihre Gewichtsänderungen untersucht, die sie in verschiedenen Flüssigkeiten vor und nach dem Gefrieren erleiden; der grösste Mangel, an welchem diese Methode leidet, besteht in dem Abtrocknen der erfrorenen Stücke, da diese so leicht bei geringem Drucke Flüssigkeit austreten lassen; jedoch habe ich diesen Uebelstand dadurch ausser Kraft zu setzen gesucht, dass ich sehr grosse Gewichtsveränderungen herbeizuführen suchte. Die Fehler, welche aus dem Abtrocknen der erfrorenen Stücke entstehen liegen in den Decigrammen, bei den frischen in den Centigrammen; die Änderungen selbst betragen bei den als gültig betrachteten Versuchen immer mehrere Gramme. Die Scheiben wurden auf Filtrirpapier gelegt und allseitig mit Stücken desselben so lange betupft, bis diese (immer erneuert) nicht mehr nass wurden. Ich lasse im Folgenden die ersten mangelhaften Versuche, welche ich anstellte, weg und führe die anderen in einer Ordnung auf, welche mir für die Deutlichkeit geeignet scheint, sie sind aber in anderer Ordnung angestellt worden.

V e r s u c h I.

Aus einer frischen rothen Runkelrübe wurden zwei möglichst*) gleiche Querscheiben genommen, jede 1 Ctm. dick; am Umfang blieb die Rinde. Um sie in einen Zustand hoher Turgescenz zu bringen, und um diejenigen Stoffe, welche durch kaltes Wasser ausziehbar sind, möglichst zu entfernen, blieben die Scheiben fünf Tage lang in Wasser von nahe 0° liegen; das Wasserquantum von fünf Litres wurde mehrmals erneuert. Das Gewicht der beiden Scheiben stimmte in diesem Zustande bis auf einige Decigramme überein. No. I wurde über Nacht vor das Fenster gelegt, wo es bei -6° R. durch und durch gefror; No. II blieb unterdessen in dem Wasser. Am Morgen wurde No. I, welches auf der Unterseite eine Krystallkruste hatte, von dieser mit einem warmen Handtuch befreit, No. II abgetrocknet.

No. I (gefroren) wog 85,4 Gramm.

No. II (frisch) „ 90,3 „

Der Verlust von beinahe 5 Gramm bei I kommt auf Rechnung der Verdunstung und der abgeschmolzenen Krystalle.

Dann wurden beide in Wasser von 24° R. eine Stunde lang liegen gelassen, abgetrocknet und gewogen.

No. I (aufgethaut) wog 82,6 Gramm.

No. II (frisch) „ 90,2 „

No. I hatte also nach dem Aufthauen unter Wasser 2,8 Gr. verloren; dieses Quantum war durch die Zellhäute herausgepresst worden. Da nun No. I frisch über 90 Gr. wog so hatte sich die Wassercapacität um mehr als 7 Gr. vermindert. No. II hatte sein Gewicht nicht merklich verändert bei dem Liegen im warmen Wasser, demnach kann auch bei No. I der Gewichtsverlust nicht auf Rechnung der Temperaturerhöhung kommen. Das Wasser, in welchem die gefrorene Scheibe aufthaute, wurde dunkelroth, das der frischen blieb beinahe ungefärbt.

Hierauf wurden beide in eine Lösung von 10 Gramm NaCl in 100 C.C. Wasser (7° R.) gelegt, beide in dasselbe Gefäß, welches 1 Litre der Lösung enthielt. Nach dreistündigem Liegen wurden sie abgetrocknet gewogen.

*) Es musste hier immer neben der Uebereinstimmung des Gewichts auf möglichste Gleichheit der Oberflächen gesehen werden, beides ist nur unvollständig zu erzielen.

No. I (erfroren) wog 79,5 Gramm.

No. II (frisch) „ 84,7 „

Es war natürlich Salz aufgenommen und Wasser abgegeben worden. Um beides zu bestimmen, wurden die Scheiben in möglichst kleine Stücke zerschnitten, diese abwechselnd mit warmem und kaltem Wasser ausgelaugt, bis das Wasser keine Spur *Cl* mehr enthielt.

No. I gab 1044 C.C. Auszug.

No. II „ 900 C.C. „

Ausser dem aufgenommenen *NaCl* enthielt dieser Auszug noch eine kleine Quantität von Chloriden, welche in den Rüben vorkommen, indessen ist ihre Menge so gering, dass bei den angegebenen Fehlerquellen keine Rücksicht auf sie genommen zu werden braucht, um so mehr, da beide Scheiben gleich viel enthalten mussten.

Von jedem Auszug wurden nun 200 C.C. in einer Porzellan-Schale eingeeengt und dann in Platin-Schalen zur Trockene abgedampft, sodann bei leichter Rothgluth verkohlt um die geringe Menge organischer Substanz zu zerstören. Das verkohlte Extrakt wurde mit viel heissem Wasser ausgezogen; das Filtrat mit NO_3 angesäuert, erwärmt, und mit $AgONO_3$ im Ueberschuss versetzt; das gefällte *AgCl* in gewogenen Filtern bei 100^0 getrocknet.

200 C.C. von No. I gab 1,190 *AgCl* = 0,2937 *Cl* = 0,4862 *NaCl*.

200 C.C. „ No. II „ 0,590 „ = 0,1457 „ = 0,2409 „

Demnach hatte aufgenommen:

Scheibe No. I 2,537 Gr. *NaCl*.

„ No. II 1,084 „ „

No. I wog vor dem Einlegen in die *NaCl*-Lösung 82,6 Gr. es hätte nach dem Herausnehmen also $82,6 + 2,537 = 85,137$ Gr. wiegen müssen, wenn kein Wasser ausgetreten wäre; es wog aber nur 79,5 Gr., demnach mussten $85,137 - 79,5 = 5,637$ Gr. Wasser ausgetreten sein.

Es waren also für 2,537 Gr. *NaCl*, welche eintraten, 5,637 „ *HO* ausgetreten.

Demnach war der Wasserstrom bei der Diffusion 2,2 mal stärker, als der Salzstrom.

No. II wog vor dem Einlegen in die Lösung 90,2 Gr.; da es 1,084 Gr. *NaCl* aufnahm, so hätte es nachher 91,284 Gr. wiegen müssen, wenn nichts ausgetreten wäre, es wog aber nur 84,7 Gr.,

demnach mussten $91,284 - 84,7 = 6,584$ Gr. Wasser ausgetreten sein.

Es waren also für $1,084$ *NaCl*, welche eintraten,
 $5,584$ Wasser ausgetreten.

Demnach war der Wasserstrom $6,07$ mal stärker als der Salzstrom. Die Salzlösung hatte dem gefrorenen Stücke nur $5,6$, dem frischen $6,5$ Gr. Wasser entzogen; dagegen waren in das erfrorene $2,5$ Gr. Salz, in das frische nur $1,08$ Gr. Salz eingetreten.

Es hatten sich also sowohl die absoluten Geschwindigkeiten als auch das Verhältniss der Diffusionsströme geändert.

V e r s u c h II.

Auf ganz dieselbe Art wurden zwei Querscheiben einer Wasserrübe behandelt; ich führe nur die wesentlichen Zahlen an:

No. I (gefroren) wog $75,0$ Gramm.

No. II (frisch) „ $78,9$ „

Nach einer Stunde in Wasser von 24° R. wog

No. I (erfroren) $70,8$ Gr.

No. II (frisch) $78,9$ „

No. I hatte also bei dem Aufthauen $4,2$ Gr. Wasser ausgestossen.

Nach dreistündigem Liegen in ein Litre *NaCl*-Lösung ($1:10$) wog No. I (erfroren) $70,1$ Gr.

No. II (frisch) $69,3$ „

Das aufgenommene *NaCl* betrug bei

No. I (erfroren) $2,973$ Gr.

No. II (frisch) $0,3005$ „

Das dafür ausgetretene Wasser betrug bei

No. I (erfroren) $3,673$ Gr.

No. II (frisch) $9,005$ „

Der Wasserstrom war bei

No. I (erfroren) $1,23$ mal so stark,

No. II (frisch) $32,94$ mal so stark als der Salzstrom.

Die mathematische Theorie der Diffusion, wie sie mit so glänzendem Erfolge von Brücke, Ludwig und Fick ausgebildet wurde, führt zu dem Schluss, dass die molekularen Poren einer Haut umso grösser sein müssen, je mehr Salz durch dieselben bei der Diffusion hindurchströmt. Nun sehen wir, dass die erfrorenen Zellhäute in beiden Versuchen eine ungleich grössere

Menge Salz aufnahmen als die frischen und somit führen diese Diffusionserscheinungen wieder zu dem Resultat, dass die Zellwände durch das rasche Aufthauen permeabler werden, dass sich ihre molekularen Poren dabei vergrössern.

Die Theorie der Diffusion statuirt nach Fick den Fall, dass das endosmotische Aequivalent sogar unter Eins hinabsinken kann, wenn die Poren einer Haut so gross werden, dass die Haut selbst keinen wesentlichen Einfluss mehr auf die Diffusion ausübt; alsdann diffundirt ein gleiches Volum Salz gegen ein gleiches Volum Wasser und das endosmotische Aequivalent sinkt auf den reciproken Werth des specifischen Gewichts des Salzes. Dieser Fall ist im folgenden Versuch annähernd eingetreten.

V e r s u c h III.

Eine Querscheibe aus rother Runkelrübe war gefroren rasch aufgethaut und hatte dann in Wasser von nahe 0°R . 24 Stunden lang gelegen. Um sie auf die Temperatur der anzuwendenden Salz-Lösung zu erwärmen, lag sie dann noch $\frac{1}{2}$ Stunde in Wasser von 30°R .; sie wog dann 79,8 Gramm.

Nachdem die Scheibe 4 Stunden lang in einer bei 30° gesättigten *NaCl*-Lösung gelegen hatte, wog sie
81,9 Gramm.

Sie hatte während dieser Zeit aufgenommen
9,534 *NaCl*
und 7,434 Wasser abgegeben.

Es war also mehr Salz ein- als Wasser ausgetreten und das endosmotische Aequivalent betrug 0,78, welches immer noch grösser ist als der reciproke Werth des specifischen Gewichts des Salzes.

Bei gleicher Behandlung hatte ein erfrorenes Kürbisstück 40,39 Gramm Salz aufgenommen, und nur 3,58 Wasser abgegeben. Es war also 0,34 mal soviel Wasser als Salz diffundirt, ein Werth welcher etwas kleiner ist als das umgekehrte specifische Gewicht des Salzes; da die Annahme nicht erlaubt ist, dass bei der Diffusion ein Verhältniss der Ströme auftritt, welches unter jenem Werthe liegt, so muss die Aequivalent-Zahl durch einen Beobachtungsfehler verkleinert worden sein; da man bei dem Abtrocknen der erfrorenen, sehr zerfliesslichen Kürbisstücke leicht zu viel Flüssigkeit wegnimmt, so kann es leicht geschehen, dass das Wassergewicht zu gering ausfällt, was bei

der hier befolgten Methode ein zu kleines Aequivalent herbeiführt. Das Minimum des Aequivalents hätte der Theorie nach $=0,476$ sein müssen, gefunden wurde $0,34$, eine Differenz, die sich immerhin durch die Methode des Versuchs erklärt. Es kommt hier nicht auf streng richtige Zahlen an, und ich halte es für völlig unmöglich, solche zu erhalten; es genügt aber zu zeigen, dass die erfrorenen Zellhäute sich bei der Diffusion anders verhalten als die frischen, dass zumal die endosmotischen Aequivalente kleiner werden. Und selbst wenn die Beobachtungsfehler noch grösser wären, als sie meiner Ueberzeugung nach sind, so würden doch die gemachten Versuche diese Forderung bestätigen. Die Thatsache allein, dass bei dem Liegen in Salzlösungen die erfrorenen Schnitte schwerer werden, während die frischen an Gewicht verlieren, wobei die angegebenen Beobachtungsfehler ihre Bedeutung verlieren, beweist einerseits den enormen Unterschied in der Diffusion erfrorener und frischer Häute und zeigt, dass bei den erfrorenen Schnitten mehr Salz eindringt als Wasser herausgeht. Der folgende Versuch bestätigt diess.

V e r s u c h IV.

Zwei Querscheiben einer weissen Runkelrübe, etwas abgewelkt, wogen

No. I (gefroren) 44,8 Gr. No. II (frisch) 45,0 Gr.

Beide in eine Lösung von $KONO_5$ gelegt, welche bei 5^0 gesättigt, und bis 20^0 erwärmt war; nach 16 Stunden wog

No. I (erfroren) 55,2 Gr. No. II (frisch) 42,8 Gr.

Bei dem erfrorenen Stück überwog also die eingedrungene Salzlösung, bei dem frischen überwog dagegen das ausgetretene Wasser. Das erfrorene hatte durch das aufgenommene Quantum sein Volum bedeutend vergrössert, das frische dagegen durch den Verlust an Flüssigkeit ein sehr welkes Aussehen angenommen.

V e r s u c h V.

Zwei Querscheiben derselben Runkelrübe (roth) 24 Stunden in kaltem Wasser, dann eine Stunde in Wasser von 20^0 wogen

No. I (frisch) 111,8 Gr. No. II (frisch) 111,9 Gr.

No. I zum Gefrieren hinausgelegt, dann beide in Wasser von 20^0 und nach $\frac{1}{2}$ Stunde gewogen:

No. I (erfroren) 109,9 Gr. No. II (frisch) 111,8 Gr.

Nach 46stündigem Liegen in Wasser von $2,5^{\circ}$ R. wog

No. I (erfroren) 108,7 Gr. No. II (frisch) 113,9 Gr.

Während das erfrorene über ein Gramm Wasser ausstieß, nahm das frische im kalten Wasser 2 Gramm auf (diese letztere Erscheinung gehört nicht zu dem gegenwärtigen Thema, ich werde sie in einer folgenden Abhandlung genauer besprechen).

Dann lagen beide Stücke $\frac{3}{4}$ Stunden lang in Wasser von 50° R.; es wog

No. I (erfroren) 105,0 Gr. No. II (frisch) 105,3 Gr.

Beide Stücke $\frac{1}{2}$ Stunde lang in Wasser von 2° R. gelegt wogen dann

No. I (erfroren) 105,5 Gr. No. II (frisch) 106,5 Gr.

Nun wurden beide Stücke in eine gesättigte Lösung von *NaCl* bei 30° R. 3 Stunden lang liegen gelassen; sie wogen dann

No. I (erfroren) 109,3 Gr. No. II (frisch) 103,0 Gr.

Es hatte also wieder bei dem erfrorenen Stück das Eindringen, bei dem frischen das Austreten überwogen.

Der folgende Versuch mag noch einen weiteren Beleg dazu liefern, dass turgescente Gewebe, wenn sie rasch aufgethaut sind, Wasser austossen.

V e r s u c h VI.

Eine Rübenscheibe wog nachdem sie 48 Stunden in Wasser von 4° R. gelegen hatte 92,4 Gr.; binnen fünf Stunden gefror sie im Freien und wog dann 89,2 Gr.; hatte also durch Verdunstung 3,2 Gr. verloren; in warmes Wasser getaucht und dann in Wasser von 4° R. gelegt wog sie nach einer Stunde 81,5 Gr., hatte also innerhalb des Wassers beinahe 8 Gr. ausgestossen; nach weiteren 17 Stunden hatte sie unter Wasser nochmals 2,5 Gr. verloren.

Die Ausstossung von Flüssigkeit nach dem Aufthauen lässt sich nur durch die Contraction der filtrationsfähig gewordenen Zellhäute erklären, durch dieselbe Veränderung, welche die Infiltration der Lufträume bestimmt. Durch Diosmose lässt sich die Thatsache nicht erklären, denn dann müsste die Scheibe schwerer werden, so wie es frische Scheiben thun.

Um die erhöhte Permeabilität erfrorener Gewebe anschaulich zu machen, braucht man nur zwei gleichdicke Scheiben einer weissen Rübe, von denen die eine erfroren ist, in eine Auflösung von Purpurschwefelsäure zu legen. Nach 24 Stunden

findet man auf einem Durchschnitt, dass die Färbung in den frischen Schnitt kaum 1^{mm} tief eingedrungen ist, dagegen $4-5^{mm}$ tief in den erfrorenen.

Die Frage, warum bei raschem Aufthauen die Zellhäute permeabler werden, bei langsamem Aufthauen aber nicht, gehört wohl zu den schwierigeren Aufgaben der Molekularphysik und dürfte nur auf theoretischem Wege zu lösen sein.

Wie sich nun auf Grundlage der erhöhten Permeabilität der Zellhäute die Phänomene des Erfrierens an einander anschließen, will ich in folgenden Sätzen darzustellen versuchen.

- 1) Wenn ein gefrorenes Gewebe langsam aufthaut, so erleidet es keine Veränderung; die hierzu nöthige Dauer des Aufthauens ist je nach den Pflanzen sehr verschieden.
- 2) Wenn ein gefrorenes Gewebe zu rasch aufthaut, so erleiden die Zellhäute desselben eine sehr wesentliche Veränderung, sie werden filtrationsfähig.
- 3) Die nächste immer eintretende Folge dieser Veränderung ist die Infiltration der Lufträume mit Flüssigkeit.
- 4) Die Filtrationsfähigkeit der Zellhäute gestattet den Inhaltsflüssigkeiten bei geringem Druck ein Austreten.
- 5) Das leichte Austreten der Flüssigkeit, welches zu dem allgemeinen Irrthum führte, dass erfrorene Gewebe wasserreicher seien, bewirkt eine starke Gewichtsabnahme des Gewebes, selbst wenn es unter Wasser liegt.
- 6) Die Fähigkeit erfrorener Zellhäute, das Wasser bei sehr geringem Drucke durchfiltriren zu lassen macht es unmöglich, dass erfrorene Gewebe selbst unter Wasser turgid werden, sie sind immer schlaff.
- 7) Die Permeabilität der Zellhäute erlaubt den verschiedenen Inhaltsstoffen sich zu mengen und so werden chemische Prozesse herbeigeführt, welche eine Zersetzung der Gewebestoffe erzeugen können.
- 8) Wenn rasch aufgethaute Gewebe mit der Luft in Berührung bleiben, so dringt diese in die Flüssigkeiten ein und es beginnt eine rasche Zersetzung welche meist mit Farbenveränderung verbunden ist; unter Wasser geschieht diess langsamer.
- 9) Die erhöhte Permeabilität erfrorener Zellhäute bedingt eine rasche Verdunstung der Flüssigkeiten, da die Häute ihre zurückhaltende Kraft verloren haben.

Durch diese Sätze sind die Erscheinungen des Erfrierens noch nicht erschöpft. Es ist möglich dass unter Umständen die Kälte an sich eine Zerstörung herbeiführt, welche tödtlich werden kann. Ich möchte dreierlei Arten des Kälte-Todes unterscheiden 1) Tödtung durch niedere Temperaturen über Null, herbeigeführt durch Sistirung der Saftbewegung; 2) Tödtung durch rasches Aufthauen gefrorener Gewebe; 3) Tödtung durch Beschädigungen im Momente des Erstarrens selbst.

In Bezug auf die Aenderung der Zellhäute durch das rasche Aufthauen ist mir nur eine einzige Notiz bekannt, sie findet sich bei Göppert (Wärmeentwicklung in d. Pflanz. S. 25); er sagt: »Die Zellen sind unverletzt, die Wände derselben nicht zerrissen, sondern nur etwas erschlaft.« Ich weiss nicht, ob Göppert unter dem Ausdruck »erschlaft« etwas Aehnliches verstand, wie ich ihn hier gebraucht habe; jedenfalls hat er im Laufe seiner Untersuchungen kein besonderes Gewicht darauf gelegt. Göppert spricht seine Ansicht über das Erfrieren folgendermassen aus (S. 44) »Dass die Kälte zunächst das Leben vernichtet und unmittelbar nach dem erfolgten Tode als nächste Wirkung desselben Veränderungen und Zersetzungen der vegetabilischen Substanz entstehen, die rücksichtlich ihres Ursprungs und der Qualität der neugebildeten Mischungsverhältnisse die grösste Aehnlichkeit mit den durch Gährungsprozess hervorgerufenen Productionen besitzen«; er fügt jedoch bei, dass diese Sätze einstweilen als hypothetisch anzusehen sind.

Meine Ansicht von dem Erfrieren im gewöhnlichen Sinne des Worts unterscheidet sich also von der Göppert's dadurch, dass er den ersten Moment der Tödtung in das Gefrieren selbst verlegt, ich dagegen das Gefrieren als unschädlich betrachte und nur in der Art und Weise des Aufthauens die Ursache des Todes finde. Das Gefrieren ist also für mich nur insofern die Bedingung des Erfrierens, als es ein Aufthauen nach sich zieht; aber eben weil diess meine Ansicht ist, muss ich den unendlich reichhaltigen Untersuchungen Göppert's einen um so grösseren Werth zugestehen. In seinem Werke behandelt er hauptsächlich die Bedingungen unter denen Pflanzen gefrieren, und die Veränderungen, welche durch das Aufthauen eintreten, können nur dann ihre Geltung erlangen wenn vorher das Gefrieren stattgefunden hat.

Von neueren Erklärungsversuchen über den Hergang des

Erfrierens ist mir nur H. Hoffmann's schon citirte Skizze bekannt (Pflanzenklimatologie S. 322—327). Kurz zusammengefasst lautet seine Ansicht so: »Bei dem Erstarren der Zellflüssigkeiten stossen diese einen Theil ihrer absorbirten Luft aus, welche neben dem Eiskörper innerhalb der Zellhaut bleibt;« nach dem Aufthauen der Zellflüssigkeit werde diese Luft nicht sogleich wieder absorhirt, sie wirke »alsbald zersetzend auf das Blattgrün (!) sie tödtet das Blatt.« Da diese auf bekannte physikalische Erscheinungen basirte Hypothese einen Schein von Wahrheit zulässt, so versuchte ich diejenige Prüfung derselben, welche mir die einzig entscheidende zu sein scheint. Es kommt darauf an die Luft zu entfernen, welche sich bei dem Gefrieren der Zellflüssigkeiten absondert, um sie unschädlich zu machen. Ich brachte Blätter von Raps, Rüben, Kohl, Bohnen, Tabak in einen kleinen Recipienten, der mit der Luftpumpe durch ein beugsames Röhrensystem verbunden war. Der Recipient wurde bis auf 5 Linien Quecksilberdruck entleert und in diesem Zustande in eine Kältemischung gestellt. Während die Blätter sich abkühlten und endlich gefroren wurde das Vacuum beständig auf 3 Linien erhalten. Bekanntlich können ganze Pflanzen nicht nur Stunden, sondern Tage lang im luftleeren Raume ohne sichtbaren Schaden zu leiden zubringen; demnach konnten auch in diesem Falle die Blätter durch das Auspumpen nicht getödtet werden, besonders da es nur eine halbe Stunde dauerte, und selbst wenn es ihnen schadet so würde doch der Effekt nicht mit dem des Erfrierens übereinstimmen.

Die in den Zwischenräumen und den Zellflüssigkeiten enthaltene Luft musste bei meinem Versuch offenbar schon vor dem Gefrieren zum grossen Theil entwichen sein, und wenn während des Gefrierens in der That eine Ausstossung von Luft stattfindet, so musste diese eben ausgeschiedene Luft durch die Zellhäute hindurch diffundiren, und in das Vacuum eintreten; es konnte also bei dem folgenden Aufthauen der von Hoffmann vermuthete Effekt nicht eintreten.

Nachdem die Blätter sichtlich erstarrt waren nahm ich den Recipienten aus der Mischung und stellte ihn in die 10—12° warme Zimmerluft; während des Aufthauens, was nicht einmal sehr rasch erfolgte, wurde das Vacuum sorgfältig auf seinem früheren Stande erhalten. Als das Aufthauen vollendet war hatten die noch immer im luftleeren Raume befindlichen Blätter alle

Kennzeichen der erfrorenen, sie waren bei der Bewegung des Recipienten schlaff, durchsichtig, infiltrirt; endlich wurde Luft eingelassen, die Blätter erwiesen sich bei der näheren Besichtigung als vollständig erfroren und änderten in Kurzem ihre Farbe.

Ich glaube, dass Hoffmann's Vermuthung durch dieses Experiment widerlegt wird. Einen direkten Beweis für seine Ansicht führt Hoffmann nicht an, die Analogien aus denen er sie herleitet, würden sich auch mit anderen Hypothesen in Uebereinstimmung bringen lassen; ich lasse daher die Sache auf sich beruhen.

N a c h t r a g.

Ich habe es versucht, die von Le Conte und v. Mohl beschriebenen Eis-Krystalle welche aus feuchtem Boden emporwachsen, entstehen zu lassen, und ein nicht ganz ungenügendes Resultat erhalten.

Buchenerde (schwarzer Mulm aus dem Inneren ausgefaulte Stöcke) wurde in ein mit Abfluss versehenes Gefäss, von ungefähr einem Liter Raum, ziemlich fest mit der Hand eingedrückt und dann mit kaltem Wasser gesättigt; nachdem das überflüssige Wasser unten abgelaufen war, wurde das eiserne Gefäss mit seinem gut, doch nicht luftdicht passenden Deckel verschlossen; es blieb ungefähr ein Zoll Raum zwischen der Oberfläche des Humus und dem Deckel. Am 7. Februar Abends wurde das Gefäss in's Freie gestellt. Die Temperatur war bei plötzlich erheitertem Himmel etwas unter Null gesunken, und gegen Morgen stand das Quecksilber auf 2° R. Als ich am Morgen den Deckel abnahm fand sich die Erde ziemlich fest gefroren; auf der Oberfläche, die nicht sehr eben war, fand sich ein Ueberzug von Eiskrystallen, welcher mit den Beschreibungen Le Conte's und v. Mohl's recht wohl übereinstimmte, nur waren die Gebilde bei Weitem kleiner. Die dicksten Krystalle waren kaum 1^{mm} dick, dagegen viele 3—4^{mm} lang, meist viele neben einander zu compacten Massen vereinigt; sie standen auf der jedesmaligen Unterlage senkrecht, an den Rändern einer Spalte in dem Boden horizontal; manche waren stark gekrümmt, besonders die ganz einzeln stehenden. Sie bestanden aus einem ganz klaren, wie es schien, von Luftblasen freien Eise. Da die Lufttemperatur nicht niedrig genug war, so gelang es mir nicht eine mikroskopische Untersuchung zu machen; die Anwendung einer starken

Lupe ist wegen der Annäherung des Gesichts an die kleinen, so leicht schmelzenden Massen unthunlich. Ich glaube, wenn das Quantum der Erde grösser und in einem irdenen, schlecht leitenden Gefäss gewesen wäre, so hätten die Krystalle grössere Dimensionen erreicht.

Der stark verweste Buchenhumus zeigt bei dem Aufthauen eine Erscheinung, welche den erfrorenen Zellhäuten eigen ist. Wenn man einen grossen Trichter damit anfüllt, dann die Erde öfter mit Wasser begiesst und endlich vollständig abtropfen lässt, so dass nach mehreren Stunden kein Tropfen mehr fällt, wenn man dann den Trichter über Nacht in's Freie stellt, so dass der feuchte Boden gefriert, und man bringt nun den Trichter in ein Zimmer, wo der Humus langsam aufthaut, so beginnt bei dem Aufthauen abermals ein Abfließen von Wasser und hält so lange an als das Thauen. Ich habe den Versuch öfter mit demselben Erfolg wiederholt. Statt des Trichters wählte ich zuletzt ein Gefäss aus Eisenblech an; es besteht aus einem etwa 4 Zoll hohen und ebenso breiten Cylinder, der sich unten trichterförmig schliesst und eine kleine Oeffnung lässt; oben ist der Cylinder durch einen gut passenden Deckel geschlossen. Humus (ungefähr 400 CC. festgedrückt) der seit 24 Stunden nicht mehr getropft hatte, fing bei dem Aufthauen von Neuem zu tropfen an, und lieferte binnen 6 Stunden ungefähr 30 CC. Wasser; dieses Wasser wieder oben aufgegossen wird nicht zurückgehalten, es läuft rasch durch. Es tritt also in dem Humus bei dem Aufthauen eine Verminderung der Wassercapazität ein, er kann nicht mehr soviel Wasser enthalten, als vor dem Gefrieren. Ich habe mich überzeugt, dass diese Aenderung nicht etwa mit der Temperatur des Wassers zusammenhängt. Gleich bei den ersten beiden Versuchen nahm ich Erde welche im Keller die Temperatur $0,5^{\circ}$ R. angenommen hatte und übergoss sie so lange auf dem Trichter mit Wasser von 0° bis das Thermometer, dessen Kugel mitten in der Erde steckte ebenfalls 0° zeigte. Während des Abtropfens hielt sich die Temperatur nahe bei 0° . Demnach hatte das vor dem Gefrieren absorbirte und festgehaltene Wasser die Temperatur des bei dem Aufthauen auslaufenden.

Das ebenbeschriebene Gefäss wurde mit Filtrirpapier (in kleine Stücke zerrissen) angefüllt und dieses mit Wasser von 0° gesättigt. Nachdem das Abtropfen aufgehört hatte liess ich

das imbibirte Papier über Nacht gefrieren; am Morgen zeigten sich auf der Oberfläche der Papierstücke Krystalle, ziemlich dick und kurz, meist Krusten bildend, jedoch ohne die zierliche Form der Bodenkryrstalle oder derer auf den Kürbisstücken; als das Papier in dem Gefäss zu thauen anfang, begann unten Wasser auszulaufen und es tropfte so lange als das Thauen anhielt.

Sowie also gefrorene saftige Pflanzentheile bei dem Aufthauen Wasser austossen, so thun diess auch imbibirte Körper vegetabilischen Ursprungs.

Ich glaube das bekannte merkwürdige Verhalten des erfrorenen Stärkekleisters lässt sich unter demselben Gesichtspunkt auffassen. Wenn man Stärkekleister von beliebiger Consistenz hart gefrieren und dann langsam oder rasch aufthauen lässt, so verliert er dabei bekanntlich seinen kleisterigen Zustand. Der aufgethaute Kleister bildet eine feste, elastische, zähe zusammenhängende Masse von porösem Gefüge; er lässt sich zwischen den Händen zerreiben; drückt man ihn, so quillt aus den Poren klares Wasser hervor. Die aufgethaute Stärke hält also weniger Wasser fest als die frische, gekochte. Bei dem Erfrieren scheinen die Stärketheilchen sich fester an einander zu hängen und dabei einen Theil ihres adhärenenden Wassers fahren zu lassen; die Wassercapacität der Stärke wird also vermindert.

Es ist nicht ganz unwahrscheinlich, dass in den Zellhäuten erfrorener Pflanzentheile etwas Aehnliches stattfindet, wie bei dem Stärkekleister. Offenbar wird das in den Zellhäuten imbibirte Wasser zwischen den Molekülen der Cellulose festgehalten, ähnlich wie das Wasser zwischen denen der Stärke. Sowie nun bei dem Erfrieren die Stärkemoleküle sich näher zusammenziehen, dabei einen Theil ihres Wassers loslassen und so einen grobporigen Körper bilden, so können auch die Zellstoffmoleküle der Zellhäute sich in neuer Art aggregiren und dabei Wasser austossen, welches sich sozusagen in den Lücken des neu arrangirten Aggregats ansammelt, wodurch zugleich die erhöhte Permeabilität begreiflich wird. Dass bei erfrorenen Zellhäuten die Zellstoffmoleküle in der That anders unter einander verbunden sind als bei den frischen, geht aus der Zähigkeit ausgedrückter, aufgethauter Gewebetheile hervor. Indessen führe ich diese Thatsachen nicht an, um meine oben ausgesprochene Ansicht über das Erfrieren dadurch zu stützen, sondern nur um zu zeigen,

dass analoge Veränderungen durch das Erfrieren auch in andern vegetabilischen Substanzen hervorgebracht werden.

Es scheint, dass nur Zellhäute von bestimmter Constitution fähig sind, zu erfrieren, d. h. durch zu rasches Aufthauen permeabler, filtrationsfähig zu werden. Reifes Holz scheint dieser Veränderungen nicht fähig zu sein, wenigstens habe ich bisher an frischen, durchtränkten Holzstücken keine Aenderungen durch das Gefrieren wahrgenommen, welche sich mit denen der saftigen Theile vergleichen lassen. Auch die sehr jugendlichen Gewebe scheinen des Erfrierens unfähig zu sein; ob die Moose, Flechten und Algen erfrieren können ist mir unbekannt und scheint noch niemals untersucht worden zu sein.

Das Erfrieren der zarten, noch lebensthätigen Wurzeln scheint denselben Bedingungen zu unterliegen, wie das der Stengel und Blätter. Nach dem lang anhaltenden Barfrost des Novembers 1859 trat plötzlich warmer Sonnenschein ein; die Erde in den Tharandter Thälern war überall tief gefroren; an den besonnten Stellen thaute sie in einigen Stunden soweit auf, dass ich verschiedene Wurzelstöcke von Wald- und Wiesenpflanzen ausgraben konnte; ich fand zahlreiche junge Wurzeln, welche erst unmittelbar vor dem Frost entstanden sein konnten; sie waren viele Tage hindurch gefroren gewesen und doch jetzt nach dem Aufthauen so frisch, als ob sie in der besten Vegetation begriffen wären. Offenbar wirkt hier der umgebende Boden als schlechter Wärmeleiter schützend gegen zu rasches Aufthauen. Die Wurzeln des Raps werden durch rasches Aufthauen ebenso getödtet, wie die grünen Theile. Winterraps (mit 4—5 grossen Blättern) stand in mit Erde gefüllten Glasgefässen, an deren Wänden Wurzeln herabliefen. Als die Erde gefroren war und dann im geheizten Zimmer aufthaute, gingen die Wurzeln ein, sie schrumpften zusammen.

Das Gefrieren und Aufthauen unter Wasser scheint jugendliche dünne Wurzeln nicht so zu schützen wie die Umgebung des Bodens. Eine junge Pflanze von *Vicia Faba* hatte ihr Wurzelsystem in Wasser vollständig entwickelt. Das Gefäss wurde solange in eine Kältemischung gestellt, bis die untere Hälfte des Wassers sammt den hineinragenden Wurzeln gefroren war. Binnen 24 Stunden thaute das Eis auf; sämmtliche Wurzeln waren, soweit sie im Eis gesteckt hatten, infiltrirt, durchsichtig, schlaff; nach einigen Tagen wurden sie braun; die oberen Theile der-

selben Wurzeln, welche nicht gefroren waren, behielten ihre Frische und die Pflanze ist seitdem, ohne eine einzige Wurzelspitze zu besitzen normal weiter gewachsen.

Die Wurzeln von *Myosotis palustris* sind viel empfindlicher als die Stengel und Blätter. Eine Anzahl bewurzelter Stengel dieser Pflanze nahm ich im December aus einem Bach, wo sie unter Wasser standen und ganz frisch aussahen. In einem grossen Glase unter Wasser getaucht wuchsen sie im Zimmer weiter und entwickelten nebst neuen Blättern viele Nebenwurzeln. Einmal gefror das ganze Wasser und thaute dann ziemlich rasch bei direktem Sonnenlicht auf; sämtliche Wurzeln waren getödtet und wurden später schwarz, die Stiele und Blätter waren dagegen völlig erhalten und bald kamen neue Wurzeln zum Vorschein.

Ich glaube dass in diesen beiden Fällen die Wurzeln obgleich sie von dickem Eis umgeben waren zu rasch aufgethaut sind und darum zu Grunde gingen; denn in beiden Fällen gingen Licht- und Wärmestrahlen durch das Eis hindurch und mussten die gefrorenen Wurzeln rasch erwärmen und zum Thauen bringen, während das umgebende Eis durch die geleitete Wärme nur langsam aufthaute.

Das Erfrieren bei Temperaturen über Null scheint je nach den Pflanzenarten und den äusseren Umständen verschiedene Ursachen zu haben.

Cl. Bierkander (Bemerkungen über einige Gewächse und Bäume, die bei grösserer oder geringerer Kälte um Abo beschädigt oder getödtet werden; königl. Schwedische Abhand. für d. J. 1778; bei Göppert Wärmeentwicklung S. 124) giebt an, dass *Cucumis sativus*, *Melo*, *Cucurbita Pepo*, *Impatiens Balsamina*, *Mirabilis longiflora*, *Ocimum basilicum*, *Portulacca oleracea*, *Solanum tuberosum* bei 1° bis 2° Wärme in den Nächten des Septembers und Octobers getödtet wurden.

Da die Temperatur von dünnen Pflanzentheilen nicht nur von der Lufttemperatur, sondern auch von ihrer Verdunstung und noch mehr von ihrem Strahlungsvermögen abhängt, so ist die Annahme erlaubt, dass Pflanzen selbst bei niederen Wärme-graden im eigentlichen Sinne erfrieren können. Bei heiterem Himmel im Freien und zumal bei trockener Luft kann die Temperatur der Blätter bei $+ 2^{\circ}$ Luftwärme selbst auf 2° — 3° unter den Eispunkt sinken; diess wird besonders bei solchen Blättern

stattfinden, welche auf einem zarten Parenchym eine haarige Epidermis haben; jenes bedingt eine rasche Verdunstung, diese eine erhöhte Wärmestrahlung.

Im November und December 1859 und im Januar und Februar 1860 hatte ich eine grössere Anzahl von Tabakpflanzen, zwei Kürbispflanzen, Schminkbohnen, Kohl und Raps in Gefässen an den Fenstern des Laboratoriums stehen. Die Pflanzen waren sämmtlich gesund und kräftig und in langsamer Vegetation begriffen. Jedesmal, wenn ich nach einer kalten Nacht in das Laboratorium kam, wo dann die Lufttemperatur neben den Pflanzen gewöhnlich auf $+4^{\circ}$ bis $+2^{\circ}$ R. hinabgesunken war, fand ich die Blätter des Tabaks, der Bohnen, der Kürbisse im Zustande höchster Erschlaffung, sie hingen herab und waren zum Theil eingerollt. Wenn ich über Nacht die Fenster mit den Vorhängen verdeckte so waren am Morgen die Blätter trotz derselben Lufttemperatur frisch; es konnte nicht zweifelhaft sein, dass die Wärmestrahlung im ersten Falle durch die unverdeckten Fensterscheiben den Pflanzen geschadet hatte. Wenn dagegen das Local mehrere Tage nicht geheizt wurde und die Luft längere Zeit auf $+4^{\circ}$ bis $+2^{\circ}$ R. blieb, so trat jener Zustand von Schloffheit auch bei verhangenen Fenstern ein. Dieser Zustand verdiente umsomehr Beachtung, als er alle Symptome eines weit fortgeschrittenen Welkens zeigte und doch war die Erde in den Töpfen beinahe mit Wasser gesättigt. Ich kam auf den Gedanken, dass diese Schloffheit in der That weiter Nichts als ein starkes Welken sei, dann musste offenbar trotz der feuchten Erde die Wasseraufnahme aufgehört haben. Viele von den Pflanzen standen in gläsernen Gefässen; einige derselben wurden in Wasser (20° — 30° R.) gesetzt und durch halbirte grosse Holzdeckel der Wasserdampf von den Blättern abgehalten; die Erde in den Glasgefässen wurde nicht befeuchtet; ein darin steckendes Thermometer zeigte die Erwärmung der Wurzeln an; als diese auf 40° — 45° R. gestiegen war begannen die Blätter wieder turgid und steif zu werden und in 1—2 Stunden war die ganze Pflanze vollkommen frisch. Offenbar war die Thätigkeit der Wurzeln durch die erhöhte Temperatur so gesteigert worden, dass Wasser in die welken Theile hinaufgetrieben wurde. Mit den Kürbispflanzen machte ich wiederholt folgenden Versuch: der Glastopf wurde mit Schnee umgeben; als die Erde in demselben auf $+3^{\circ}$ bis $+4^{\circ}$ R. abgekühlt war, fingen die Blätter an zu

welken; nach 2—3 Stunden hingen sie schlaff herab. Alsdann wurde das Glasgefäß wie oben in warmes Wasser gesetzt und in 1—2 Stunden war die Pflanze wieder völlig frisch. Bohnenpflanzen mit einigen grossen Blättern versehen und in irdenen Gefässen stehend wurden in einen mit 30° R. warmen Sand angefüllten grösseren Blumentopf gestellt; dieser selbst allseitig mit dicken Lagen von Watte umwickelt; oben mit halbirten Holzdeckeln bedeckt um die Blätter vor der aufsteigenden warmen Luft zu schützen. Ein zwischen den Wurzeln der Bohne steckendes Thermometer gab die Bodentemperatur, ein anderes dicht an den Blättern befestigtes die dort herrschende Lufttemperatur an.

Der ganze Apparat wurde nun um 10 Uhr früh in's Freie gesetzt; es war am 19. November 1859. Bis um 11 Uhr früh hatte sich die Erde durch den warmen Sand auf $27,4^{\circ}$ R. erwärmt; das Thermometer neben den Blättern zeigte 0° ; bis Nachmittag um 5 Uhr kühlte die Erde bis auf $7,5^{\circ}$ R. aus und die Luft um die Blätter blieb beständig auf 0° stehen. Die Blätter hatten ihre ganze Frische behalten obgleich sie 7 Stunden lang in einer Luft von 0° sich befanden; wäre die Erde nicht erwärmt und die Wurzelthätigkeit so hoch gesteigert worden, so wären die Blätter unfehlbar erfroren. Merkwürdiger Weise zeigten die Blätter bei eintretender Nacht eine entschiedene Tagstellung; jedoch hatte die Pflanze nicht im geringsten gelitten; noch jetzt im Februar also nach beinahe 3 Monaten ist sie völlig gesund.

An den Tagen, wo jene Beobachtungen gemacht wurden bestimmte ich mit einem Regnault'schen Hygrometer öfter die Luftfeuchtigkeit. Der Thaupunkt lag immer mehrere Grade unter 0° ; die Luft war also ziemlich trocken und die Verdunstung musste energisch genug stattfinden. Demnach kann ich jene heftige Affektion der Pflanzen durch Temperaturen von $+2^{\circ}$ bis $+4^{\circ}$ R. nur als eine Folge der Verdunstung betrachten, welche bei sistirter Wurzelthätigkeit ein starkes Welken bedingt; sind die Wurzeln durch höhere Temperatur zur Wasseraufnahme befähigt, so schadet jene niedere Luftwärme den Blättern nicht.

Die von Hardy (*Observations sur quelques espèces ligneuses des pays chauds exposés à des températures de $+4^{\circ}$ à $+5^{\circ}$; Auszug in der bot. Zeitg. 1854. S. 202*) gemachten Beobachtungen lassen sich, wie es scheint, nicht auf die angegebene Art erklären. Die tropischen Holzgewächse standen im freien Lande und wurden durch Schilfdecken geschützt. Eine tiefe Erkältung

der Blätter konnte also nicht stattfinden, da weder Strahlung noch Transpiration bedeutend genug sein konnten. Die meisten dieser Pflanzen waren aber erst ein Jahr alt und wurden von den niederen Temperaturen ($+5^{\circ}$ bis $+1^{\circ}$ wahrscheinlich Celsius) bei stattfindender Vegetation überrascht. Das Temperaturminimum, bei welchem die Vegetation dieser Gewächse stattfindet, wo Assimilation und Organbildung möglich sind, dürfte kaum unter 15° R. liegen, denn schon bei den Schminkbohnen und Kürbissen findet keine Vegetation unter 12° R. statt*). Wenn nun die chemischen Prozesse, welche nur bei höheren Temperaturen möglich sind, mitten in ihrem Verlaufe von Temperaturen überkommen werden, bei denen sie nicht mehr stattfinden können, so ist es wohl möglich, dass plötzliche Störungen eintreten, welche die normalen Prozesse unterbrechen und so die Pflanzen tödten. Diese schon von A. De Candolle ausgesprochene Ansicht scheint indessen nichts weniger als befriedigend; denn die Bohnen und Kürbisse können mitten in ihrer Vegetation von niederen Wärme-graden überrascht werden, welche jedes weitere Wachsthum sistiren, ohne dadurch getödtet zu werden.

Leider sind die hierher gehörigen Thatsachen noch viel zu wenig in ihren Bedingungen gekannt; sie verdienen aber nicht bloss von physiologischer Seite die grösste Beachtung, sondern sind auch, wie A. De Candolle wiederholt bemerkt, für die Pflanzengeographie und die Geschichte der Arten von entschiedener Bedeutung.

Die Pflanzen unseres Klimas scheinen von niederen Temperaturen über dem Eispunkt nicht in der Weise afficirt zu werden, wie Kürbis, Bohne und Tabak. Im Herbst und Winter, wo die Luft anhaltend zwischen 0° und 5° R. temperirt war, konnte ich im Freien keine wildwachsenden Pflanzen finden, welche jenen Zustand von Erschlaffung gezeigt hätten. Die in Vegetation begriffenen Pflanzen von Grünkohl und Raps, welche neben den anderen im Laboratorium standen, zeigten niemals eine ähnliche Affektion. Ich liess die Erde von Rapspflanzen einige Stunden lang gefrieren, während die Blätter in einer Luft von 8° — 10° R. sich befanden, ohne dass ein Welken eintrat; der Glastopf, in welchem eine grosse Kohlstaude seit drei Monaten vegetirte,

*) Um mich vor Missverständnissen zu wahren, muss ich hierbei auf eine frühere Arbeit von mir verweisen: Ueber die Wirkung verschiedener Temperaturgrade u. s. w. (im chemischen Ackermann 1859. Heft 3).

wurde 17 Stunden lang in eine Kältemischung gesetzt, welche Anfangs -8° hatte und sich am Ende auf $+1^{\circ}$ R. erwärmte; die Erde war sehr feucht; es trat aber kein Welken der Blätter ein, die sich in einer Luft von $8^{\circ} - 5^{\circ}$ R. befanden.

Diese und die oben beschriebenen Versuche scheinen demnach zu beweisen, dass die Wurzelthätigkeit nur bei denjenigen Pflanzen durch niedere Wärmegrade sistirt wird, welche wärmeren Klimaten angehören, dass diess aber bei denen unseres Klimas nicht stattfindet.

Dass bei niederen Wärmegraden auch in den bei uns einheimischen Pflanzen Veränderungen stattfinden, welche während der eigentlichen Vegetation nicht eintreten, zeigt die von v. Mohl beschriebene winterliche Färbung der Blätter (Vermischte Schriften von v. Mohl).

Die Reihe von Erscheinungen, welche durch Temperaturerniedrigung herbeigeführt werden zeigt eine grosse Anzahl sehr verschiedener Wirkungen die in jeder Beziehung als qualitativ verschieden betrachtet werden müssen, nicht aber in quantitativer Art den Temperaturen irgendwie proportional sind. Ich habe schon in meinen »physiol. Unters. üb. die Keimung der Schminkbohne« (Sitzungsber. der k. k. Akademie der W. XXXVII. 1859) darauf hingewiesen, dass man die verschiedenen Wärmegrade in ihren Wirkungen auf die Vegetation vielmehr als qualitativ verschiedene Kräfte, denn als quantitativ verschiedene Intensitäten einer Kraft auffassen muss. Die ausserordentliche Complication des vegetativen Organismus bringt es mit sich, dass verschiedene Intensitäten derselben Kraft qualitativ verschiedene Wirkungen hervorrufen. Wenn die Temperatur unter einen bestimmten Grad hinabsinkt, so hört zuerst die Assimilation und die Neubildung von Organen auf; sinkt sie noch tiefer ohne den Eispunkt zu erreichen, so treten Störungen in der Saftleitung ein; hält diese niedere Temperatur längere Zeit an und ist das Licht thätig, so treten eigenthümliche Prozesse auf, welche mit einer Farbenänderung des Laubes verknüpft sind; sinkt sie unter den Eispunkt so tritt Erstarrung der Säfte und Zellhäute ein, die entweder an und für sich schädlich wirkt oder insofern tödtet, als ein rasches Aufthauen darauf erfolgt.

Tharandt den 9. Februar 1860.