

# DIE NATURWISSENSCHAFTEN

Herausgegeben von

Dr. Arnold Berliner und Prof. Dr. August Pütter

Zweiter Jahrgang.

4. September 1914.

Heft 36.

## Die Ursache des Erfrierens und der Schutz der Pflanzen gegen den Kältetod.

Von Dr. Fritz Bachmann, Bonn.

Das Erfrieren der Pflanzen ist im letzten Dezennium nach längerer Pause mehrfach Gegenstand wissenschaftlicher Forschung gewesen. Hauptsächlich drehte es sich dabei um die Frage nach der Ursache des Kältetodes. Alte und neue Resultate führten dann aber zwingend weiter zu dem sehr interessanten Problem vom Schutz der Pflanzen gegen das Erfrieren. Wollen wir uns nun nicht damit begnügen, die Tatsache gewisser Schutzwirkungen zu konstatieren, sondern uns auch fragen, wie solche Wirkungen zustande kommen, so müssen wir uns vorerst über die Ursachen des Erfrierens ein Urteil bilden.

Es ist zurzeit längst nicht möglich, das Erfrieren von Pflanzen in allen Fällen kausal zu erklären. Der bei subminimaler Temperatur eintretende Tod kann auf verschiedene Weise verursacht sein. So wird es sich kaum um vergleichbare Vorgänge handeln, wenn ein thermophiler Pilz bei  $+20^{\circ}$  erfriert, dagegen das Blatt einer wintergrünen Pflanze erst weit unter  $0^{\circ}$ , wenn es schon hart und steif gefroren ist. In dem einen Falle tritt der Tod ein mit dem Mangel einer bestimmten formalen Lebensbedingung, mit dem Mangel einer bestimmten notwendigen Außentemperatur. Im anderen Falle spielen sich vor dem Tode durch das Abkühlen unter den Gefrierpunkt des Wassers — mit der Eisbildung — Vorgänge ab, die wohl geeignet sind, den Lebensprozeß eines Organismus sehr wesentlich zu stören, die es uns aber auch, da sie verhältnismäßig leicht wahrzunehmen und zu kontrollieren sind, sehr erleichtern, den Verlauf des Erfrierens zu studieren. Deswegen sind bisher im wesentlichen nur die Pflanzen näher untersucht worden, bei welchen Eisbildung dem Kältetode vorangeht, und ich werde mich auch fast ganz darauf beschränken, die Verhältnisse bei dieser Pflanzengruppe darzulegen.

Uns interessiert zunächst die Frage, ob bei den eisbeständigen Pflanzen ein spezifisches Temperaturminimum vorhanden ist wie bei den thermophilen Organismen, oder ob die Temperaturerniedrigung indirekt durch die Eisbildung den Tod herbeiführt.

Diese Frage schien in den 90er Jahren zugunsten der letzten Annahme entschieden zu sein, vor allem durch die Arbeiten von Müller-Thurgau (1880—86) und Molisch (1897). Doch waren Ausführungen von Mez (1905), die durch experimentelle Belege seiner Schüler gestützt wurden, geeignet, die Richtigkeit dieser Annahme in Frage zu stellen. Es ist selbstverständlich, daß ein ur-

sächlicher Zusammenhang zwischen dem Gefrieren und Erfrieren noch nicht erwiesen ist, wenn der Kältetod auch während oder nach der Eisbildung im Gewebe eintritt. Zum mindesten müßte dann zwischen dem Gefrierpunkt und dem Todespunkt eine konstante Beziehung bestehen, vor allem aber dürfte der Tod nicht erst durch eine Temperatur herbeigeführt werden, welche tiefer liegt als diejenige, bei welcher der Gefrierprozeß vollendet ist. Andererseits wäre aber, wenn wir der Eisbildung keine wesentliche Bedeutung für das Erfrieren beimessen wollen, zu fordern, daß eine Unterkühlung bei Vermeidung der Eisbildung ebenfalls und bei gleicher Temperatur zum Tode führe.

Mez hat nun versucht, mit besonders genauen Untersuchungsmethoden die Todestemperatur mit dem eutektischen Punkt, d. h. der Temperatur zu vergleichen, bei welcher die in der Zelle vorhandene wässrige Lösung völlig erstarrt ist, so daß von da ab keine weitere Eisbildung erfolgt. Ebenso wie später sein Schüler Voigtländer, von dem die wichtigsten genauesten Experimente stammen, fand Mez den eutektischen Punkt stets über dem Todespunkt liegend. Er schloß daraus vollkommen logisch, daß das Erfrieren nicht eine Folge der Eisbildung sei. — Es handelt sich bei den entscheidenden Versuchen im wesentlichen um die Bestimmung von Abkühlungskurven. Die Abkühlung einer beliebigen Lösung wird, solange in ihr keine chemischen Vorgänge oder Änderungen des Aggregatzustandes vorkommen, nach einfacher Gesetzmäßigkeit verlaufen. Die Geschwindigkeit der Abkühlung wird sich lediglich mit der Annäherung an die Temperatur der wärmeentziehenden Umgebung verringern. Wir erhalten die Kurve einer Exponentialgleichung. Dieser einfache Verlauf wird durch jeden Vorgang von positiver oder negativer Wärmetönung gestört, so auch durch die exotherme Eisbildung, die für uns wesentlich in Frage kommt.

Die Temperaturmessung war in den fraglichen Versuchen sehr genau; sie erfolgte auf thermoelektrischem Wege. Die Thermo-nadel wurde in das pflanzliche Gewebe eingestochen. Im Verlauf der Abkühlung, wie er auf diese Weise von Voigtländer festgestellt wurde, fällt vor allem auf, daß zwei Minima der Abkühlungsgeschwindigkeit auftreten. Bei *Agave americana* z. B. in einem Falle das erste Minimum bei etwa  $-1^{\circ}\text{C}$ ., das andere zwischen  $-5$  und  $-6^{\circ}\text{C}$ ., während der Todespunkt erst bei  $-6,5^{\circ}\text{C}$ . folgt. Diese Beziehung zwischen zweitem Minimum und Todespunkt fand Voigtländer regelmäßig. Dieser Verlauf der Abkühlung ist nach Mez in folgender Weise zu deuten: Das erste Minimum zeigt den

Beginn des Gefrierens an. Der Vorgang der Eisbildung dauert fort, bis die Konzentration des eutektischen Gemisches erreicht ist. Dann (richtiger unterdessen) sinkt die Temperatur bis zum eutektischen Punkt, wo die noch vorhandene konzentrierte Lösung wie ein chemisch homogener Körper bei gleichbleibender Temperatur erstarrt. Dieser Phase des Gefrierprozesses entspricht die zweite Verzögerung des Temperaturabfalls. Danach würde also tatsächlich der Tod erst eintreten nach vollständiger Beendigung der Eisbildung in der Pflanze.

Man wird jedoch bei genauerer Betrachtung des Gefrierverlaufs nicht davon überzeugt sein, daß er von *Mez* richtig gedeutet ist. Nach dem zweiten Minimum nimmt nämlich die Abkühlungsgeschwindigkeit nicht, wie zu erwarten wäre, allmählich ab, sondern im Gegenteil zu. Das ist doch sicher nur dadurch zu erklären, daß entweder exotherme Prozesse in allmählich abnehmender Intensität oder endotherme allmählich zunehmend sich abspielen. Welche von beiden Möglichkeiten verwirklicht ist, wurde bisher noch nicht erforscht, doch ist wahrscheinlich, daß nach dem zweiten Minimum die Eisbildung noch nicht vollendet ist und sich auch nach dem Todespunkt noch fortsetzt.

Diese Untersuchungen sind ganz neuerdings (1914) von *Maximow* wieder aufgenommen worden. Es zeigte sich, daß die zwei Minima überhaupt nicht immer auftreten, und daß sie, wo sie vorhanden sind, wahrscheinlich den Gefrierpunkten der extra- und intrazellulären Flüssigkeiten entsprechen. Das erste Minimum verschwindet, wenn man vor dem Abkühlungsversuch wartet, bis die beim Einstechen der Thermosonde aus den verletzten Zellen ausgeflossene Flüssigkeit von den unverletzt gebliebenen wieder aufgesogen ist, und es wird besonders deutlich, wenn man durch Einlegen der Versuchsobjekte in Wasser die Interzellularen sich damit anfüllen läßt.

Das erste Minimum wird also wahrscheinlich in der unverletzten Pflanze, deren Interzellularen normalerweise mit Luft erfüllt sind, überhaupt nicht auftreten. Beim zweiten Minimum der Abkühlungsgeschwindigkeit liegt der eigentliche „Gefrierpunkt“. Von einem solchen in physikalischem Sinne kann allerdings nicht die Rede sein. Zum bessern Verständnis muß ich die schon längst bekannte Tatsache erwähnen, daß das Eis für gewöhnlich nicht in den Zellen selbst gebildet wird, sondern in den Interzellularen. Offenbar entstehen außerhalb der Zelle die ersten Eiskeime, an die sich allmählich immer mehr Eis ankrystallisiert. Das hierzu nötige Wasser wird den Zellen entzogen. Die Geschwindigkeit der Eisbildung wird sich erhöhen, je mehr Eis in den Interzellularen ausgeschieden ist, je größer also die Berührungsfläche zwischen Eis und Zelle geworden ist. Andererseits wird gleichzeitig mit Zunahme der Konzentration des Zellsaftes und der bei sinkender

Temperatur abnehmenden Durchlässigkeit des Plasmakolloids für das Wasser die Eisbildung erschwert werden. Wann daher ein Maximum der Eisbildung und damit ein Minimum des Temperaturabfalls erreicht wird, ist von verschiedenen in ihren Einzelwirkungen nicht näher untersuchten Faktoren abhängig. Es ist so auch verständlich, daß es *Maximow* gelungen ist, durch geringe Änderungen der Versuchsanordnung den „Gefrierpunkt“ zu verschieben. — Sehr wichtig ist es, daß damit auch der Todespunkt in gleichem Sinne verschoben wurde.

Wir dürfen uns nach diesen Resultaten *Maximows* wieder auf den Standpunkt stellen, daß der Kältetod der Pflanzen, wenn ihm überhaupt Eisbildung vorausgeht, durch diese bewirkt wird. Diese Annahme gewinnt noch eine Stütze dadurch, daß es bisher nicht gelungen ist, durch *Unterkühlung* unter den bei Eisbildung konstatierten Todespunkt die Pflanze abzutöten.

Eine andere Frage, die von der bisher untersuchten nicht immer streng genug unterschieden wird, ist es, wodurch die Eisbildung schädigend wirkt. Darüber wissen wir, streng genommen, nicht viel Sicheres. Gegen die sogenannte Wasserentziehungstheorie *Müller-Thurgaus*, welche lange Zeit ziemlich allgemeine Anerkennung genoß, sind letzthin eine ganze Anzahl berechtigter Einwände erhoben worden, als wichtigster wohl der, daß eine hohe Kälteresistenz nicht immer eine hohe Austrocknungsfähigkeit bei derselben Pflanze bedingt. Versuche mit niederen Pflanzen (*Moosen*) zeigen das ganz deutlich. Die Annahme *Maximows*, daß außer der Wasserentziehung der Druck des sich bildenden Eises auf das Plasma und speziell die sog. Plasmahaut degenerierend wirkt, ist vorläufig noch zu hypothetisch, als daß es Zweck hätte, hier näher darauf einzugehen. — Selbst wenn man aber die Wasserentziehungstheorie anerkennen wollte, wäre es zweifelhaft, ob der Wasserentzug rein physikalisch durch eine irreversible Zustandsänderung der Plasmakolloide oder durch Konzentrierung chemisch auf den Protoplasten einwirkender Stoffe wirksam ist. Diese Fragen werden uns im folgenden noch beschäftigen.

Nur nebenbei möchte ich bemerken, daß auch dies Anlaß zu Verwechslungen gibt, daß die Austrocknung des Protoplasten während der Eisbildung nichts zu tun hat mit dem Vertrocknen von Pflanzenteilen, besonders Blättern, als *Nachwirkung des Gefrierens*, die ihre Ursache meist darin hat, daß verschiedene Organe derselben Pflanze verschieden schnell auftauen, so daß unter Umständen die wasseraufnehmenden und -leitenden Organe, also die Wurzeln und der Stamm, ihre Funktion noch nicht ausüben, während die Blätter schon kräftig transpirieren, also Wasser verbrauchen. Auch wird schon *vor der Eisbildung* ein Vertrocknen der transpirierenden Pflanzenteile vorkommen können, wenn die Temperaturerniedrigung für sich allein die Lebenstätigkeit verschiedener Organe verschieden beeinflußt.

Auf Grund der bisherigen Ausführungen kann ich nunmehr zu der Frage übergehen, auf welche Weise sich unsere Pflanzen gegen den Kältetod schützen mögen. Es interessiert uns hier besonders die wintergrüne Flora, deren Vertreter oft außerordentliche Kältegrade ertragen. Wir haben es dabei mit verschiedenen ökologischen Pflanzengruppen zu tun. *Lidforß* teilt sie ein in 1. *Hartlaubgewächse* (*Ilex*, *Buxus*), 2. die *Felsenbewohner* (*Crassulaceen*, *Saxifrageen*, verschiedene *Farren*), 3. die *subglazialen Wintergrünen* (die sich aus denselben Familien rekrutieren, wie die Felsenbewohner, außerdem noch *Alsineen*, *Cruciferen*, *Ericineen*), 4. die *wintergrüne Flora der Laubwälder* (zu der die meisten der uns wohl bekannten Frühlingsblumen gehören, wie *Anemone*-, *Corydalis*- und *Gagea*-arten, *Geum*, *Oxalis*, *Pyrola*, *Vinca* u. a.), 5. die *wintergrünen Annuellen* (die dadurch ausgezeichnet sind, daß ihre Samen auch im Herbst keimen, die jungen Pflänzchen überwintern und im Frühling sofort ihre Lebenstätigkeit wieder aufnehmen: Arten von *Lamium*, *Veronica*, *Senecio*, *Viola*). Besonders unter den beiden letzten Gruppen gibt es zarte Pflanzen, die uns gegen äußere Einflüsse außerordentlich empfindlich zu sein scheinen, die auch speziell gegen das Vertrocknen gar nicht geschützt sind. Um so mehr setzt ihre Widerstandsfähigkeit gegen Kälteeinwirkung in Erstaunen.

Welche Schutzmittel sind es nun, die den Pflanzen gegen die Kälte zur Verfügung stehen? Soviel ist sicher, daß alle hier in Betracht kommenden Schutzmittel den Erfolg haben müssen, die Eisbildung in der Pflanze zu verhindern, zu verzögern oder herabzusetzen.

Da wir für wahrscheinlich halten, daß ein spezifisches Temperaturminimum bei den winterharten Pflanzen nicht vorhanden ist oder doch so tief liegt, daß schon bei höherer Temperatur infolge Eisbildung der Tod eintritt, so können wir auch nicht der Meinung *Mez'* beipflichten, daß die Pflanze sich vor Unterkühlung zu schützen habe. Tatsächlich sinkt ja die Temperatur bei Unterkühlung besonders rasch, da der Temperaturabfall nicht durch die bei der Eisbildung freierwerdende Wärme verzögert wird. So könnte auch das spezifische Minimum schneller erreicht werden. Tatsächlich ist aber eine schädigende Wirkung der Unterkühlung *ohne nachfolgende Eisbildung* nicht erwiesen. Die Geschwindigkeit der Eisbildung, die ja zwischen „Unterkühlungspunkt“ und „Gefrierpunkt“ sehr groß ist, hat sicherlich Bedeutung. Im übrigen wird aber die Unterkühlung eher nützlich sein, da durch sie die Eisbildung verzögert wird oder ganz unterbleiben kann. Diejenigen Einrichtungen, die geeignet sind, eine Unterkühlung zu verhindern, sind daher wohl kaum als Schutzmittel gegen das Erfrieren anzusprechen.

Ebenso kommen, um das gleich vorweg zu nehmen, eine Anzahl Schutzmittel, die wir aus der Tierbiologie und aus Erfahrung am eigenen Leibe

als sehr wirksam kennen, für die Pflanzen so gut wie gar nicht in Betracht.

Zunächst die *schlechten Wärmeleiter* sind deswegen nur *wenig wirksam*, weil sie die Abkühlung der Pflanzen nur kurze Zeit verzögern können. Es fehlt den Pflanzen im allgemeinen die Fähigkeit, genügend Wärme zu produzieren, um deren Verlust durch Ausstrahlung zu ersetzen. Die Pflanzen sind ausgesprochen wechselwarme Organismen, es sind nur wenig Fälle bekannt, wo infolge außerordentlich schnellen Wachstums, also besonders energischen Stoffwechsels die Temperatur nennenswert über die der Umgebung steigt. Alle die Mittel, die vor Wärmeverlust schützen könnten, wie Bildung von Haaren usw., ebenso die *Verringerung der Außenfläche* durch Ausbildung dicker Blätter oder Zusammenrollen derselben — was alles bei winterharten Pflanzen beobachtet werden kann —, dienen in erster Linie dazu, die Transpiration herabzusetzen, also die Pflanze vor dem Verdorren zu schützen. Das kann allerdings für Verhütung der oben erwähnten Nachwirkungen des Gefrierens von Bedeutung sein.

Zur Ortsveränderung sind die höheren Pflanzen ebenfalls wenig befähigt, so daß ihnen auch eine *Flucht vor der Kälte* kaum zukommt. Man könnte allerdings in gewissem Sinne davon sprechen, wenn bei mehrjährigen Kräutern die oberirdischen Teile im Herbst absterben und die Pflanze sich unter die Erde zum Winterschlaf zurückzieht. Auch ist es von Wasserpflanzen bekannt, daß ihre überwinternden Teile auf den Boden niedersinken, wo sie in tiefen Gewässern, bei denen gewöhnlich nur eine Eisdecke entsteht, vor dem schädigenden Einfluß der Kälte sicher geborgen sind. Stellungsänderungen der Blätter sind im Winter an vielen Pflanzen zu beobachten. Oft hängen die Blätter herab oder rollen sich zusammen. Wie diese Bewegungen zustande kommen, ist noch nicht genauer untersucht. Da die transpirierenden Unterseiten der Blätter dabei einander genähert werden, wird vielleicht auch hier das Vertrocknen nach dem Gefrieren verhütet.

Alle die bisher erwähnten Kälteschutzmittel sind, wie ich schon hervorgehoben habe, von untergeordneter Bedeutung und kommen auch gerade für die Wintergrünen gar nicht immer in Betracht. Schon lange ist man daher zu dem Standpunkt gelangt, den wesentlichen Schutz vor dem Erfrieren in der Zelle selbst, speziell im Protoplasma zu suchen. *Lidforß* hat durch eine gründliche Untersuchung unsere Kenntnisse sehr erweitert, indem er von der Frage ausging, wie es kommt, daß gewisse Pflanzen vollständig (besser sehr stark!) gefrieren können, ohne die Vitalität zu verlieren, während andere schon bei sehr geringer Eisbildung zugrunde gehen? Und weiter: Worauf beruht es, daß eine und dieselbe Pflanze im Winter das Gefrieren ohne Schaden erträgt, im Frühling dagegen bei relativ niedriger Tem-

peratur abstirbt? Es lag nahe, vor allem bei Beantwortung der zweiten Frage, an Änderungen des Stoffwechsels, Bildung besonderer Stoffwechselprodukte zu denken. Schon seit *Müller-Thurgau* wissen wir, daß das Süßwerden der Kartoffeln, eine Verwandlung von Stärke in Zucker, bei niederen Temperaturen in der Nähe von  $0^{\circ}\text{C}$ . erfolgt, daß es sich dabei um einen Stoffwechselprozeß der lebenden Kartoffel handelt, und daß die süß gewordenen Kartoffeln tiefere Temperaturgrade ertragen als die von geringem Zuckergehalt. *A. Fischer* brachte dann den Nachweis, daß die im Herbst in der Rinde vorhandene Stärke vor dem Ausbruch des Winters ganz allgemein in Glukose verwandelt wird; die im Innern der Bäume vorhandene Stärke schwindet dagegen nur bei den sogenannten Fettbäumen, wo sie sich in fette Öle umsetzt.

An diese bekannten Tatsachen anknüpfend, untersuchte *Lidforß* die Blätter einer großen Zahl wintergrüner Gewächse auf ihren Stärke- und Zuckergehalt. „Die geringere Zahl der Pflanzen zeigte während des ganzen Jahres einen mehr oder weniger großen Zuckerreichtum (*Helleborus*, *Gentiana acaulis*, *Ruscus* u. a.). Die übrigen Arten zeichneten sich fast alle durch im Sommer stärkereiche Blätter aus, welche im Herbst gewöhnlich ein Stärkemaximum erreichen.“ Beim Herannahen des Winters, meistens im Laufe des November, werden nun diese Stärkemengen aufgelöst und in Zucker verwandelt. „Auch in den Blättern der sogenannten Fettbäume (*Linde*, *Birke*, *Coniferen*) wurde reichlich Zucker gebildet. Bei manchen Blättern (*Plex-Arten*, *Sedum* u. a.) ließ sich neben der Zuckeranhäufung auch eine Fettspeicherung zu Beginn des Winters konstatieren. Im Frühjahr wird dann der Zucker wieder in Stärke umgesetzt. — Die Beobachtung, daß gerade Frühjahrsfröste so oft unsere Wintergrünen schädigen, die während des Winters bei tieferen Temperaturen ausgehalten haben, die merkwürdige Tatsache, daß von der Sonne beschienene Teile einer Pflanze, die an wärmeren Tagen auch im Winter Stärke bilden, weniger kälteresistent sind, und manche andere Überlegung machen es wahrscheinlich, daß der Zucker beim Kälteschutz der Pflanzen eine nicht zu unterschätzende Rolle spielt. Während *Lidforß* hauptsächlich Blätter untersuchte, ist neuerdings (*Winkler* 1913) auch die Resistenz von Zweigen unserer Laub- und Nadelhölzer, deren lebende Elemente meist nur durch eine dünne Korkschicht gegen äußere Einflüsse geschützt sind, nachgeprüft worden. Die untersuchten Bäume ertragen ohne Ausnahme im Winter  $20^{\circ}\text{C}$ . Kälte, die Widerstandsfähigkeit des Holzes sinkt im Sommer auf  $-8$  bis  $-10^{\circ}\text{C}$ . Die Resistenz steigt sehr rasch von Oktober zu November und sinkt ebenso schnell zwischen März und April. Vergleichen wir diese Resultate mit denen *Fischers* über den Stärkegehalt der Bäume zu verschiedenen Jahreszeiten, so gewinnen wir auch hier wieder den Ein-

druck von einer Schutzwirkung des Zuckers (oder des Öles?) gegen das Erfrieren.

Der Beweis allerdings, daß die Erhöhung der Kälteresistenz durch die Erhöhung der Zuckerkonzentration bewirkt werde, ist mit dem gleichzeitigen Auftreten beider Erscheinungen noch nicht erbracht. *Lidforß* hat deshalb Versuche angestellt mit künstlicher Einführung von Zucker in das Gewebe. Er stellte abgeschnittene Zweige verschiedener Pflanzen (*Viburnum Tinus*, *Nerium*, *Oleander*, *Myrtus communis* u. a.) in Zuckerlösungen von verschiedener Konzentration und zur Kontrolle andere in Wasser. Setzte er nach einigen Tagen beiderlei Objekte zu gleicher Zeit Temperaturen von  $-5$  bis  $-11^{\circ}\text{C}$ . aus, so zeigten sich die in Zuckerlösung gehaltenen deutlich kälteresistenter als die anderen.

Darüber, wie der Zucker zu dieser Schutzwirkung befähigt wird, gehen die Meinungen noch auseinander. Von *Lidforß* wurde die Ansicht einer chemischen, von *Maximow* die einer physikalischen Wirkung vertreten. *Lidforß* geht von der Tatsache aus, daß durch die Eisbildung neben der Konzentration des Zuckers auch die der verschiedenen im Protoplasma vorhandenen Salze erhöht wird, und stellt sich nun vor, daß diese Salze, nachdem sie genügend konzentriert sind, das Eiweiß des Protoplasten aussalzen und das um so mehr, je weniger Zucker in der Zelle vorhanden ist. Eine Schutzwirkung des Zuckers gegen Aussalzen von Eiweiß ist ja wohl bekannt. Sehr für diese Ansicht *Lidforß'* sprechen die Angaben *Gorkes*, nach denen erfrorenes Gewebe weniger lösliches Eiweiß enthalten soll als lebendes. *Gorke* bestimmte den Stickstoffgehalt von Preßsäften. Er fand, daß der Preßsaft erfrorener Pflanzen stickstoffärmer sei, was er dadurch erklärte, daß ein Teil des Eiweißes beim Erfrieren ausgefällt werde und infolgedessen nicht mit in den Preßsaft übergehe. *Lidforß* zeigte dann, daß Eiweißlösungen beim Gefrieren getrübt werden, daß das Auftreten dieser Trübungen jedoch durch Traubenzucker verhindert werden könne. Alle diese Versuche sind doch wohl noch nicht exakt genug durchgeführt, um *Lidforß'* Meinung über die Schutzwirkung des Zuckers als richtig zu erweisen.

Auch hat *Maximow* gezeigt, daß nicht nur dem Zucker, sondern ebenso einer ganzen Anzahl von Salzen eine Schutzwirkung gegen den Kältegrad zukommt. Die Erniedrigung der Erfriertemperatur war stets sehr deutlich. Eine gewisse Beziehung scheint zu bestehen zwischen dem eutektischen Punkt der schützenden Lösung und deren Wirksamkeit. Wenn, wie wir angenommen haben, der Eintritt des Kältetodes von der Eisbildung, wo diese überhaupt in Frage kommen kann, abhängig ist, so ist es ja wohl erklärlich, daß ein Salz von tieferem eutektischen Punkt eine besonders hohe schützende Kraft besitzt. Indes hat *Maximow* auch Ausnahmen von der Regel gefunden, die er durch Giftwirkung, also

mittels eines sehr vagen Begriffes erklärt. Immerhin können wir es als wahrscheinlich ansehen, daß die erwähnten Schutzwirkungen von Zucker und Salzen wenigstens zum Teil rein physikalischer Natur sind und durch Verminderung der Eisbildung zustande kommen. Doch ist keineswegs ausgeschlossen, daß je nach der Pflanzenart auch noch eine chemische Wirkung im Sinne *Lidforß'* vorkommt.

Eine Schwierigkeit entsteht der ganzen Theorie der Schutzwirkung durch Versuche *Maximows* mit stark zuckerhaltigen, dabei recht frostempfindlichen Blättern des Rotkohls. Ganze Blätter und Rotkohlschnitte starben bei  $-5,8^{\circ}\text{C}$ . ab; wurde jedoch aus dem Rotkohl der Saft ausgepreßt und die Kohlschnitte in diesem (sozusagen ihrem eigenen) Saft gefrieren lassen, so erhöhte sich die Resistenz bis zu  $-17^{\circ}\text{C}$ .! Aus diesen und anderen Versuchen zog *Maximow* den schon erwähnten Schluß, daß der Kältetod eingeleitet werde durch Schädigungen der Plasmahaut, also der peripheren Partie des Protoplasten. Daß diese Partie besonders schutzbedürftig sei, wäre schon daraus herzuleiten, daß, wie erwähnt, die Eisbildungen in den Interzellularen, also an der äußeren Grenze der Zelle beginnt. Durch diese Auffassung würde auch die von *Bartetzko* an \*Schimmelpilzen gemachte Erfahrung erklärt, daß die Schutzwirkung verschiedenprozentiger Salzlösungen nicht in einfacher Beziehung steht zum Turgorwert der Zelle. Es kommt also scheinbar nicht so sehr darauf an, wieviel von der in der schützenden Lösung vorhandenen Substanz in die Zelle aufgenommen wird wie auf die Konzentration der Lösung selbst. Unter diesen Umständen ist es aber fraglich, ob die Schutzwirkung, welche durch künstliche Einführung von Zucker oder Salzen in die Interzellularen, durch *Heranführung* derselben an die Zelle, erreicht wird, etwas beweist für die Schutzwirkung des Zuckers in der Natur, wo er sich ja *innerhalb* der Zelle befindet. Dieser Einwurf ist vor allem gegen die Versuche *Maximows* geltend zu machen.

Wir müssen jedoch bedenken, daß die verschiedenen Versuche über Kälteresistenz zum Teil an ganz verschiedenen Pflanzenarten vorgenommen wurden und wir werden uns vor Verallgemeinerungen hüten müssen. Mag bei der einen Pflanze tatsächlich die Plasmahaut zuerst geschädigt werden, so dürfen wir deshalb dieses Verhalten nicht bei allen Pflanzen erwarten und damit brauchen wir auch nicht eine Lokalisation der schützenden Substanzen an der Außenwand der Zelle zu fordern.

Zum Schluß möchte ich noch betonen, daß die erwähnten Schutzwirkungen des Zuckers und gewisser Salze in der Natur wohl sehr verbreitet sein mögen, daß damit jedoch nicht alles erklärt ist. Wahrscheinlich wird auch hier die Natur mit viel mannigfaltigeren Mitteln zu Werke gehen, als wir uns träumen lassen. Es zeigen sich in der Kälteresistenz so große individuelle Unter-

schiede, die soweit gehen können, daß direkt nebeneinander liegende Zellen sich ungleich verhalten; wir finden die Kälteresistenz abhängig vom Alter, vom Entwicklungszustand der Gewebe. Wir kennen eine Erhöhung der Resistenz durch Gewöhnung an niedere Temperaturen. Wir haben daher wohl noch mit unbekannten Größen zu rechnen, mit unbekannten Zuständen des Protoplasten, die ihn im einen Falle mehr, im anderen weniger empfindlich machen gegen Kälteeinwirkung, gegen Eisbildung und ihre Folgen — bis, in den extremsten Fällen, selbst die Temperatur der flüssigen Luft machtlos geworden ist.

Alle die Dauerformen, die wir als Früchte, Samen, Sporen usw. kennen, sind im Zustande extremer Widerstandsfähigkeit. Sie unterscheiden sich vom normalen Zustande einer lebens-tätigen Pflanze am auffallendsten durch die geringe Intensität des Stoffwechsels. Wir können uns vorstellen, daß ebenso wie ein Stein, der gegen einen festen Widerstand geschleudert wird, um so sicherer zertrümmert wird, je größer seine Geschwindigkeit ist, so auch die Pflanze um so leichter getötet werden wird, je reger der Stoffwechsel in ihr ist, ehe die Kälte ihn unterbricht.

Eine besondere Art von Schutzmittel wäre es dann, wenn die Pflanzen vor der schädigenden Einwirkung durch Sinken der Temperatur in einen resistenten Ruhezustand übergeführt würden. Besonders bei Frühlingsblumen, bei Moosen und Flechten, die gegen Temperaturwechsel besonders resistent sind, könnte diese Schutzwirkung eine Rolle spielen.

Ich habe in dem vorliegenden Aufsatz in der Hauptsache die neueste Literatur berücksichtigt. Eine kritische Würdigung älterer Arbeiten findet sich in *Pfeffers* Handbuch der Pflanzenphysiologie, nähere Literaturangaben in *Maximows* neuester Arbeit (*Jahrbücher f. wissensch. Botanik* Bd. 53).

## Goethes Stellung zum Entwicklungsgedanken.

Von Prof. Dr. J. H. F. Kohlbrugge, Utrecht.

Goethe selbst hat die Bemerkung gemacht, daß er in einer besonders interessanten Periode der Entwicklung der Wissenschaft gelebt habe. Solche Gefühle beschleichen wohl einen jeden Forscher, der am Abend seines Lebens zurückschaut auf den zurückgelegten Weg, und schließlich mögen auch alle recht haben.

Doch läßt sich zeigen, daß *Goethe* allerdings mit mehr Berechtigung als seine Epigonen diese Behauptung aussprechen durfte, weil seine Jugendzeit in eine Periode fiel, die wir als die Geburtsstunde heutiger Wissenschaft bezeichnen dürfen. Man kann ruhig behaupten, daß, wenn man einige Philosophen zur Seite läßt (*Baco, Descartes, Leibniz*), die Geschichte der modernen