

Pflanzenphysiologische Untersuchungen
über
Fermentbildung und fermentative Prozesse.

Von
Prof. Dr. W. Detmer.

Vorbemerkungen.

Es ist eine bekannte Thatsache, dass nicht allein im thierischen, sondern ebenso im vegetabilischen Organismus eine ganze Reihe fermentativer Prozesse zur Geltung kommen können. Wenn die Glyceride in freie Fettsäuren und Glycerin, und die Glycoside in Zuckerarten sowie anderweitige Körper zerfallen, oder wenn die Eiweissstoffe in den Pflanzenzellen peptonisirt werden, so sind bestimmte Fermente in allen diesen Fällen als diejenigen Körper anzusehen, durch deren eigenthümliches Verhalten das Zustandekommen der erwähnten Prozesse ermöglicht wird. Verhältnissmässig am genauesten untersucht ist aber ein weiterer fermentativer Vorgang, der sich in den Pflanzenzellen abspielt, nämlich die Stärkeumbildung durch Diastase. Dieser Process beansprucht vom pflanzenphysiologischen Standpunkte aus in der That ein ganz hervorragendes Interesse, denn die Beantwortung der Frage, auf welche Weise die Auflösung der in den Chlorophyllkörpern sowie den Stärkebildnern erzeugten Amylumkörner zu Stande kommt, und welche Producte bei dieser Auflösung entstehen, ist für die Theorie des gesammten Stoffwechsels in der Pflanze von hervorragender Bedeutung.

In neuerer Zeit haben unsere Kenntnisse über die stärkeumbildenden Fermente nach verschiedenen Richtungen hin wesentliche Erweiterungen erfahren. Einmal ist nämlich constatirt worden, dass das Vorkommen der Diastase sich nicht auf wenige Keimpflanzen (Keimpflanzen von *Hordeum* und *Triticum*) beschränkt, sondern dass stärkeumbildende Fermente, allerdings in sehr variablen Mengen, in den verschiedensten Pflanzentheilen und Pflanzen angetroffen werden¹⁾. Abgesehen von dem Nachweis des ganz

¹⁾ Es ist hier namentlich auf die Untersuchungen von Gorup-

allgemeinen Vorkommens der Diastase in den Pflanzenzellen ist weiter die Thatsache von besonderem Interesse, dass das Ferment nicht allein im Stande ist, umbildend auf Stärkekleister, sondern ebenso auf die unversehrten Amylumkörner in den Zellen einzuwirken. Ferner ist neuerdings, zumal von Brown und Heron, der Chemismus des Processes der Amylumumbildung durch Diastase sehr genau studirt worden, und endlich hat Nägeli eine Hypothese über das Wesen des in Rede stehenden fermentativen Vorgangs aufgestellt, die, wie mir scheint, als sehr beachtenswerth bezeichnet werden muss.

Weniger genau sind wir über die Bedingungen, welche eine Bedeutung für die Entstehung sowie die Wirkung der Diastase besitzen, unterrichtet, und ich habe den bezüglichlichen Verhältnissen daher seit längerer Zeit meine besondere Aufmerksamkeit zugewendet ¹⁾. Im Verlaufe meiner Beobachtungen hat sich mehr und mehr herausgestellt, dass das Studium dieser Bedingungen ein grosses pflanzenphysiologisches Interesse beansprucht, denn die Ergebnisse meiner Untersuchungen lassen auf eine Reihe sehr verschiedener Erscheinungen im Pflanzenleben, die zum Theil sogar auf den ersten Blick in gar keiner Beziehung zu fermentativen Vorgängen zu stehen scheinen, ein neues Licht fallen.

Erster Abschnitt.

Der Einfluss von Säuren auf den Verlauf des Processes der Stärkeumbildung durch Diastase.

§ 1. Constatirung der Erscheinungen.

Gewisse Untersuchungen, welche zumal von Kjeldahl und mir angestellt worden sind, haben zu den Resultaten geführt, dass der Process der Amylumumbildung durch Diastase in ganz wesentlicher Weise von der Gegenwart geringerer oder grösserer Mengen freier

Besanez, Krauch, Baranetzky und Wortmann hinzuweisen. Ich habe die Liste derjenigen Pflanzen, in denen die Diastase thatsächlich nachgewiesen werden kann, ebenfalls um einige vermehrt. Vgl. Detmer, landwirthschl. Jahrbücher, B. 10, S. 757.

¹⁾ Ueber einige Resultate meiner Untersuchungen habe ich bereits an anderer Stelle berichtet. Vgl. Detmer, landwirthschl. Jahrbücher, B. 10; Sitzungsberichte der Jenaischen Gesellschaft f. Medicin und Naturwissenschaft, 1881 u. 1882. Zeitschrift f. physiologische Chemie, B. 7; botanische Zeitung, 1883, Nr. 37.

Säuren beeinflusst wird. Es konnte namentlich, wie weiter unten gezeigt werden soll, die pflanzenphysiologisch wichtige Thatsache constatirt werden, dass sehr kleine Säuremengen den Process der Stärkeumbildung durch Diastase in sehr wesentlicher Weise beschleunigen. Meinen Beobachtungsergebnissen gegenüber sind nun gewisse Bedenken geltend gemacht worden, so dass ich auf die Frage nach dem Einfluss von Säuren auf die Stärkeumbildung noch einmal zurückkommen muss, um jeden Zweifel an der Richtigkeit des Hauptergebnisses meiner Untersuchungen zu beseitigen. Ueberdies nehme ich hier Gelegenheit, einige Resultate erst kürzlich von mir angestellter Versuche mitzutheilen.

Wird Stärkekleister mit einer Flüssigkeit, welche Diastase enthält, also z. B. mit Malzextract, vermischt, so erfolgt bekanntlich eine lebhaftere Amylumumbildung. Die ursprünglich trübe Flüssigkeit wird alsbald klar, und nach kürzerer oder längerer Zeit ist die sämmtliche Stärke durch das Ferment in Dextrin und Maltose umgewandelt. Handelt es sich darum, den Verlauf des Processes der Amylumumbildung specieller zu verfolgen, so kann man derartig vorgehen, dass man die nach Verlauf verschiedener Zeiten gebildeten Dextrin- und Maltosemengen feststellt. In vielen Fällen ist es jedoch viel bequemer, ein anderes Verfahren in Anwendung zu bringen, um ein Urtheil über den Fortgang des fermentativen Processes zu gewinnen. Der unveränderte Stärkekleister nimmt auf Zusatz von Jodtinctur eine charakteristisch blaue Färbung an; die nämliche Färbung zeigt das Gemisch des Kleisters und der diastasehaltigen Pflanzenauszüge, wenn dasselbe soeben klar geworden ist. Im weiteren Verlauf der Stärkeumbildung nehmen Proben der Untersuchungsflüssigkeit auf Jodzusatz in Folge der successive entstehenden verschiedenen Dextrinarten keine blauen Färbungen mehr an. Sie färben sich vielmehr zunächst violett, dann braun, später gelbbraun und schliesslich nur noch schwach gelb. In dem Maasse, wie die Jodreaction der Amylum und Diastase enthaltende Flüssigkeit sich ändert, macht bekanntlich auch die Zuckerbildung in der Flüssigkeit Fortschritte, und sonach kann die erwähnte Jodreaction in vielen Fällen als bequemes Mittel zur Verfolgung des Verlaufs der Stärkeumbildung durch Diastase Verwendung finden. Wenn z. B. zwei aus Stärkekleister und Malzextract bestehende Flüssigkeitsgemische von vollkommen gleichartiger Beschaffenheit verschiedenen Versuchsbedingungen ausgesetzt werden, und eine Probe der einen Flüssigkeit sich auf Jodzusatz violett, eine Probe der zweiten Flüssigkeit sich aber nach

Verlauf derselben Zeit auf Jodzusatz braun färbt, so folgt daraus, dass die Amylumumbildung in der ersteren Flüssigkeit langsamer als in der zweiten stattgefunden hat.

Von den sehr zahlreichen Versuchen, welche ich anstellte, um den beschleunigenden Einfluss, den Gegenwart kleiner Säuremengen auf den Verlauf des Processes der Stärkeumbildung durch Diastase ausübt, nachzuweisen, will ich hier einige specieller aufführen.

Phosphorsäure.

25 Ccm. 1procentigen Stärkekleisters wurden mit 5 Ccm. Malzextract versetzt (a). 25 Ccm. 1procentigen Stärkekleisters wurden mit 5 Ccm. Malzextract versetzt und der Flüssigkeit mit Hilfe eines Glasstabes eine Spur verdünnter Phosphorsäure hinzugefügt (b). Temperatur 19,5° C. Beginn der Versuche 3 U. 15 M. Zu den nachstehend angegebenen Zeiten zeigten Proben der Flüssigkeiten auf Jodzusatz die folgenden Farbenerscheinungen:

	a.	b.
3 U. 19 M.	Blau.	Violett.
3 „ 21 „	Violett.	Braun.
3 „ 26 „	Braun.	Gelbbraun.

Salzsäure.

Je 25 Ccm. Stärkekleister wurden mit 5 Ccm. Malzextract versetzt. Der Flüssigkeit b wurde mit Hilfe eines Glasstabes eine Spur verdünnter Salzsäure hinzugefügt. Beginn der Versuche um 2 U. 54 M.

	a.	b.
2 U. 56 M.	Blau.	Blau.
3 „ — „	Blau.	Violett.
3 „ .5 „	Violett.	Braun.
3 „ 10 „	Violett.	Braun.
3 „ 15 „	Braun.	Gelbbraun.

Citronensäure.

Im Folgenden sind die Resultate einer recht lehrreichen Versuchsreihe mitgetheilt, über welche ich bereits an anderer Stelle berichtet habe. Je 25 Ccm. 1procentigen Stärkekleisters wurden mit je 5 Ccm. Malzextract versetzt und erhielten noch folgende Zusätze: 1) 5 Ccm. Wasser; 2) 5 Ccm. Wasser mit 0,0001 Grm. Citronensäure; 3) 5 Ccm. Wasser mit 0,0005 Grm. Citronensäure; 4) 5 Ccm. Wasser mit 0,001 Grm. Citronensäure; 5) 5 Ccm. Wasser

mit 0,002 Grm. Citronensäure; 6) 5 Ccm. Wasser mit 0,005 Grm. Citronensäure; 7) 5 Ccm. Wasser mit 0,010 Grm. Citronensäure; 8) 5 Ccm. Wasser mit 0,020 Grm. Citronensäure; 9) 5 Ccm. Wasser mit 0,050 Grm. Citronensäure.

Beginn der Versuche 11 Uhr 15 Minuten.

Jodreaction um

	11 Uhr 40 Min.	12 Uhr.
1)	Blau.	Violett.
2)	Blau.	Violett.
3)	Violett.	Violett.
4)	Braun.	Gelbbraun.
5)	Braun.	Gelbbraun.
6)	Braun.	Gelbbraun.
7)	Blau.	Blau.
8)	Blau.	Blau.
9)	Blau.	Blau.

Es liess sich im Verlaufe der Versuche noch feststellen, dass die Stärkeumbildung in der Flüssigkeit Nr. 2 (0,0001 Grm. Citronensäure) schneller vor sich ging als in der Flüssigkeit Nr. 1 (kein Zusatz von Citronensäure).

Um 3 Uhr zeigte eine Probe der Flüssigkeit Nr. 7 auf Jodzusatz eine violette Färbung; Proben der Flüssigkeiten Nr. 8 und 9 färbten sich aber noch blau. Am anderen Tage um 10 Uhr färbte sich eine Probe der Flüssigkeit Nr. 7 auf Jodzusatz braun, eine Probe der Flüssigkeit Nr. 8 violett, aber eine Probe der Flüssigkeit Nr. 9 nahm auf Jodzusatz noch immer eine blaue Färbung an.

Die vorstehend mitgetheilten Beobachtungsergebnisse lassen also erkennen, dass bereits erstaunlich kleine Mengen der Citronensäure beschleunigend auf den Verlauf des Processes der Amylumumbildung durch Diastase einwirken. Bis zu einem gewissen Grade wächst auch mit zunehmendem Citronensäuregehalt der Flüssigkeiten die beschleunigende Wirkung der Säure.

Ich habe auch durch besondere Versuche nachgewiesen, dass eine gewisse Amylummenge in Berührung mit einer bestimmten Quantität Malzextract in der Zeiteinheit bei Gegenwart kleiner Citronensäuremengen thatsächlich mehr Zucker als bei Abwesenheit derselben liefert. Ferner hat sich herausgestellt, dass kleine Citronensäurequantitäten nicht allein beschleunigend auf den Process der Stärkeumbildung einwirken, wenn derselbe durch Diastase vermittelt wird, die im Extract aus gekeimter Gerste vorhanden

ist, sondern dass die Säure ebenso die Wirkung der Diastase, welche der Weizenkeimpflanzenextract enthält, in hohem Maasse begünstigt.

Ebenso wie kleine Mengen von Phosphor-, Salz- und Citronensäure beschleunigend auf den Process der Stärkeumbildung einwirken, sind auch, wie ich speciell feststellte, kleine Salpeter- und Oxalsäurequantitäten und kleine Mengen saurer Salze (Kleesalz) im Stande, die Wirkung der Diastase zu begünstigen.

Ein besonderes Interesse verdient die Thatsache, dass die Wirkung der sämtlichen hier erwähnten Säuren auf das stärkeumbildende Ferment in das Gegentheil umschlägt, wenn der Gehalt der Versuchsflüssigkeiten an Säuren zu erheblich wird. Jener Versuch, welcher bei der Besprechung der Citronensäurewirkung ausführlicher mitgeteilt worden ist, lässt erkennen, dass Citronensäuremengen von 0,010 Grm. unter den angegebenen Bedingungen nicht mehr beschleunigend auf die Stärkeumbildung, sondern im Gegentheil verlangsamt auf dieselbe einwirkten. Grössere Säuremengen verzögerten den Verlauf des fermentativen Processes noch mehr, bis endlich 0,050 Grm. Citronensäure das Zustandekommen der Amylumumbildung gänzlich unmöglich machten. In genau derselben Weise wirken irgendwie bedeutende Quantitäten der übrigen seither erwähnten Säuren auf den in Rede stehenden fermentativen Process ein. Es unterliegt wohl keinem Zweifel, dass die Diastase, wenn grössere Säurequantitäten auf dieselbe einwirken, zerstört wird, und aus diesem Grunde nicht mehr stärkeumbildend wirken kann. Der folgende, mehrfach von mir wiederholte Versuch führt sicher zu der gleichen Anschauung.

Ein kräftig wirkender Malzextract wurde mit so viel Salzsäure versetzt, dass die resultirende Flüssigkeit nicht mehr im Stande war, amyllumbildend zu wirken. Jetzt wurde der Flüssigkeit so lange eine verdünnte Aetzkalklösung hinzugefügt, bis sie nur noch sehr schwach sauer reagirte. Stärkeumbildung konnte durch die auf die angegebene Weise hergestellte Mischung nicht mehr erzielt werden; der Salzsäurezusatz musste das Ferment völlig zerstört haben, denn dasselbe erwies sich auch nach Abstumpfung des grössten Theils der Säure nicht mehr wirksam.

Kohlensäure.

Ich habe bereits vor längerer Zeit Mittheilungen darüber gemacht, dass die Kohlensäure beschleunigend auf den Verlauf des Processes der Stärkeumbildung durch Diastase einwirkt. Bei der

Ausführung meiner ersten Versuche leitete ich die Kohlensäure, nachdem dieselbe mit Hilfe von destillirtem Wasser gewaschen worden war, in die Gemische von Stärkekleister und Malzextract ein. Diesem Verfahren gegenüber könnte man aber noch das Bedenken geltend machen, dass der Kohlensäurestrom Spuren der zur Entwicklung des Gases in Anwendung gebrachten Salzsäure mit fortgerissen und der diastasehaltigen Flüssigkeit zugeführt hätte, ein Bedenken, welches in sofern Berücksichtigung verdient, als kleine Salzsäurequantitäten die nämliche Wirkung wie Kohlensäure auf den Verlauf des Verzuckerungsprocesses ausüben. Aus diesem Grunde habe ich neuerdings noch einige Versuche angestellt, bei deren Ausführung ich einerseits feuchte atmosphärische Luft, die sorgfältig entkohlensäuert war, andererseits aber aus Marmor und verdünnter Salzsäure entwickelte Kohlensäure, welche zur Reinigung verdünnte Actzkalilösung passirt hatte, in die Gemische von Stärkekleister und Malzextract einleitete. Die Kohlensäure hat auch bei diesen Versuchen sehr erheblich beschleunigend auf den Verlauf des Processes der Stärkeumbildung eingewirkt. Es trat dies sogar noch dann sehr deutlich hervor, wenn die Temperatur derjenigen Flüssigkeit, durch welche atmosphärische Luft geleitet wurde, höher als die Temperatur der mit reiner Kohlensäure im Contact gelangenden war. Beachtenswerth ist auch der Umstand, dass beliebig grosse Kohlensäuremengen beschleunigend auf die Stärkeumbildung durch Diastase einwirken, während irgendwie grössere Mengen anderer Säuren, wie gezeigt worden ist, die Wirkung der Diastase schwächen oder das Ferment gar vernichten.

Die im Vorstehenden constatirte Thatsache, dass kleine Säuremengen beschleunigend auf den diastatischen Process einwirken, ist, wie wir weiter unten eingehender sehen werden, von erheblicher pflanzenphysiologischer Bedeutung, und es muss hier zur Sicherstellung derselben noch auf verschiedene Punkte hingewiesen werden.

Die Säurequantität, welche diastasehaltigen Flüssigkeiten zugesetzt werden muss, um den Verzuckerungsprocess bis zu einem bestimmten Grade zu beschleunigen, ist natürlich nicht unter allen Umständen dieselbe. Wenn das Gemisch des Kleisters und des Malzextracts von vornherein säurearm ist, oder wenn das Gemisch in einem anderen Falle relativ viel Säure enthält, so werden verschiedene Säurezusätze erforderlich sein, um die nämliche Beschleunigung im Verlaufe des Processes der Amylumumbildung

hervorzurufen. Der ursprüngliche Säuregehalt der Versuchsflüssigkeiten ist aber abhängig von der Natur der Diastase enthaltenden Flüssigkeit sowie von der Natur des Stärkekleisters. Wenn der anfängliche Säuregehalt der Gemische relativ gross ist, so kann der Fall eintreten, dass selbst ein unbedeutender Säurezusatz nicht mehr beschleunigend, sondern verzögernd auf den Process der Stärkeumbildung einwirkt, und auf ein solches Verhältniss sind ohne Zweifel gewisse Beobachtungsergebnisse von Baswitz¹⁾ zurückzuführen, nach denen Säurezusatz eben nicht in allen Fällen begünstigend auf den Verlauf des diastatischen Processes einwirkt.

Ich vertrete die Anschauung, dass kleine Säuremengen nicht auf irgend eine indirecte Weise beschleunigend auf die Stärkeumbildung durch Diastase einwirken, sondern dass die in Rede stehende Erscheinung zu Stande kommt, indem die Säure in ganz unmittelbarer Weise einen bestimmten weiter unten zu besprechenden Einfluss auf das Ferment geltend macht und in Folge davon die Wirksamkeit desselben steigert. (Vgl. diesen Abschnitt unter § 4.) Es ist dagegen von Soxhlet behauptet worden, dass der Stärkekleister häufig eine schwach alkalische Reaction besitze, und dass kleine Säuremengen nur deshalb beschleunigend auf die Amylumumbildung durch Diastase einwirken, weil die Säure das für den Verlauf des fermentativen Processes nachtheilige Alkali neutralisire. Bei meinen Versuchen kam es aber gar nicht auf diese Verhältnisse an, denn der reine Kartoffelstärkekleister, mit dem ich experimentirte, zeigte stets eine neutrale Reaction. Ueberdies zeigten die Gemische von Kleister und Malzextract bei allen meinen Versuchen schon von vornherein in Folge des Säuregehaltes des letzteren, eine schwach saure Reaction, so dass der die Beschleunigung der Stärkeumbildung veranlassende nachträgliche Säurezusatz also gar nicht neutralisirend wirken konnte.

Ein weiteres meiner oben geltend gemachten Anschauung gegenüber erhobenes Bedenken scheint von grösserem Gewicht zu sein. A. Mayer²⁾ meint nämlich in einer kürzlich erschienenen werthvollen Schrift, dass Säurezusatz zu den Gemischen von Kleister und Malzextract deshalb beschleunigend auf die Amylumumbildung einwirkt, weil der Säure an sich, d. h. auch bei Ab-

1) Vgl. Baswitz, Berichte d. deutschen chemischen Gesellschaft. 1879 und 1880.

2) Vgl. A. Mayer: Die Lehre von d. chemischen Fermenten oder Enzymologie 1882, S. 80.

wesenheit des Fermentes, die Fähigkeit zukommt, die Verzuckerung des Amylums zu bewerkstelligen. In der That ist es bekannt, dass Säuren, zumal bei höherer Temperatur, aber auch bei gewöhnlicher Zimmertemperatur, in Contact mit Kleister zuckererzeugend wirken, aber es handelt sich für unseren Zweck um die ganz bestimmte Frage, ob sehr kleine Säuremengen innerhalb relativ kurzer Zeiten im Stande sind, in nachweisbarer Weise verändernd auf den Stärkekleister einzuwirken. Ich habe viele bezügliche Beobachtungen angestellt. Es wurden z. B. 100 Ccm. $\frac{1}{2}$ procentigen Stärkekleisters mit 0,015 Grm. Citronensäure versetzt. Nach 18 Stunden, ja selbst nach 8 Tagen war die Flüssigkeit noch trübe, Proben derselben färbten sich auf Jodzusatz noch blau, und andere Proben derselben ergaben mit Fehlingscher Lösung erhitzt gar keine Zuckerreaction. Andere Versuche lieferten das nämliche Ergebniss, und ebenso sind kleine Salzsäuremengen, die sich 20 Stunden lang mit Stärkekleister in Berührung befinden, nicht im Stande, Zucker zu erzeugen ¹⁾.

Ferner ist die mögliche Anschauung über das Wesen der Beschleunigung des Processes der Stärkeumbildung bei Gegenwart kleiner Säuremengen ausgeschlossen, nach welcher die Diastase nur die erste Spaltung des Amylums in Maltose und ein complicirt zusammengesetztes Dextrin bewerkstelligt, während die Säure alsdann dieses Dextrin weiter in Maltose sowie einfacher zusammengesetzte Dextrine zerlegt, denn ich konnte nachweisen, dass kleine Säuremengen in relativ kurzen Zeiten keine Wirkung auf Dextrine ausüben. Es wurden wässrige Lösungen von Amylodextrin und Erythro-dextrin hergestellt. Proben der ersteren färbten sich auf Jodzusatz violett, Proben der letzteren aber braun. Wenn die Dextrinlösungen, nachdem denselben wenig Citronensäure beigemischt worden war, 16 Stunden lang sich selbst überlassen blieben, so zeigten Proben der Flüssigkeiten nach dieser Zeit auf Jodzusatz noch die nämlichen Farbenreactionen wie zu Beginn der Versuche, während die Dextrinlösungen auf Malzextract-zusatz alsbald eine völlig veränderte Jodreaction erkennen liessen. In diesem letzteren Falle wurde das Amylo- sowie das Erythro-

¹⁾ Es sei hier noch bemerkt, dass Flüssigkeitsgemische, die aus Stärkekleister und Malzextract bestehen, und die einen kleinen Säurezusatz empfangen haben, sich in Folge der durch den Säurezusatz erhöhten Fermentwirkung schneller klären, als entsprechende Flüssigkeitsgemische ohne Säurezusatz.

dextrin verzuckert, und Proben der Lösungen nahmen nach kurzer Zeit auf Jodzusatz nur noch eine schwach gelbe Färbung an.

Die im Vorstehenden zur Kenntniss gebrachten Untersuchungen lassen also keinen Zweifel darüber bestehen, dass kleine Säuremengen deshalb beschleunigend auf den Process der Verzuckerung des Amylums und Dextrins durch Diastase einwirken, weil sie einen bestimmten Einfluss auf das Ferment geltend machen, der im Stande ist, die Leistungsfähigkeit desselben beträchtlich zu steigern. Grössere Säuremengen beeinträchtigen die amyllum- oder dextrinum-bildende Kraft der Diastase erheblich und zerstören das Ferment schliesslich vollkommen.

§ 2. Die pflanzenphysiologische Bedeutung der festgestellten Thatsachen ¹⁾).

a. Es ist bekannt, dass die Translocation stickstofffreier plastischer Stoffe, zumal der Stärke sowie des Zuckers, in erster Linie im Parenchym der Gewächse erfolgt. Es muss nun offenbar auffallen, dass gerade die Zellen des Parenchyms diejenigen sind, welche besonders reichliche Mengen freier Säuren oder saurer Salze enthalten. Freilich kann der Process der Amyllumumbildung auch in neutraler Lösung erfolgen, ja selbst die Gegenwart kleiner Quantitäten freien Alkalis macht das Zustandekommen des Vorganges der Verzuckerung der Stärke durch Diastase, wie ich gefunden habe, nicht absolut unmöglich, aber auf alle Fälle verläuft der in Rede stehende fermentative Process bei Gegenwart nicht zu erheblicher Säuremengen unter sonst günstigen Umständen am schnellsten. Demnach muss gewiss der saure Charakter des Inhaltes der Zellen des Parenchyms als eine Erscheinung betrachtet werden, die nicht ohne Bedeutung für die Function der erwähnten Gewebe, als Leitungsbahnen der Kohlehydrat im vegetabilischen Organismus zu dienen, ist. Allerdings wissen wir nur mit Bestimmtheit, dass der vom Protoplasma eingeschlossene Zellsaft der Zellen des Parenchyms sauer reagirt; über die Reaction der vom Protoplasma dieser Zellen selbst imbibirten Flüssigkeit liegen keine exacten Untersuchungen vor. Wenn auch manche Protoplasmanmassen, z. B. diejenigen der Plasmodien von Myxomyceten, sicher alkalisch reagiren, so würde es doch voreilig sein, einen derartigen Befund ohne weiteres zu verallgemeinern, denn die Ernährungsverhältnisse verschiedener Pflanzen sind ja keineswegs die gleichen.

¹⁾ Vgl. auch meine bezüglichen Bemerkungen in den landwirthschaftl. Jahrbüchern. B. 10, S. 762.

Es ist mir im Gegentheil viel wahrscheinlicher, dass dem Protoplasma der Zellen des Parenchyms höherer Gewächse ebenso wie dem vom Protoplasma umschlossenen Zellsaft sehr häufig eine saure Reaction zukommt, da doch die im letzteren abgeschiedenen Pflanzensäuren ursprünglich durch Stoffwechselprocesse im Protoplasma entstanden sind.

b. Für das Flächenwachsthum der Zellhäute sind in erster Linie zwei Momente von Bedeutung. 1. die Dehnung der mit Plasma ausgekleideten Zellhaut durch den Turgor; 2. die Ausgleichung der Elasticitätsspannung der gedehnten Zellschichten. Dass die organischen Pflanzensäuren eine grosse Bedeutung für das Zustandekommen der Turgorverhältnisse besitzen, ist eine bekannte Thatsache, denn sie sind vor allen Dingen als diejenigen Substanzen anzusehen, welche auf osmotischem Wege Wasser in das Innere der Zellen befördern. Die Grösse der Turgorausdehnung der Zellen ist bis zu einem bestimmten Grade abhängig von den Mengen der im Zellsaft gelösten Pflanzensäuren. Aber auch mit Rücksicht auf das zweite der oben erwähnten Wachsthumsmomente beanspruchen die organischen Säuren unser Interesse.

Wenn die Ausgleichung der Elasticitätsspannung der gedehnten Zellschichten erfolgen soll, so muss Material vorhanden sein, welches für den Zweck des Wachsthums verwerthet werden kann. Als ein solches Material ist aber bekanntlich vor allem die Glycose anzusehen. Der Zucker entsteht aus dem Amylum unter Beihilfe von Fermenten, und ich habe den sicheren Nachweis geliefert, dass der Process der Stärkeumbildung in seinem Verlaufe ganz wesentlich durch die Gegenwart bestimmter Säuremengen begünstigt wird. Man sieht also, dass organische Säuren mit Rücksicht auf die beiden oben erwähnten Wachsthumsmomente unsere Aufmerksamkeit verdienen. Anwesenheit einer zu geringen Säuremenge drückt die Turgescenz der Zellen gewöhnlich nicht unerheblich herab; aber eine zu geringe Säuremenge verlangsamt zugleich die Stärkeumbildung, so dass die Ausgleichung der Elasticitätsspannung der gedehnten Zellschichten nicht schnell erfolgen kann. Die Gegenwart grösserer Säuremengen erhöht den Turgor der Zellen und wirkt zugleich dahin, dass in der Zeiteinheit grössere Mengen solcher Körper entstehen, die für den Zweck der Ausgleichung der Elasticitätsspannung der gedehnten Zellschichten verwerthet werden können¹⁾.

¹⁾ Vgl. auch mein Lehrbuch der Pflanzenphysiologie, 1883, S. 297 und 301.

c. Allerdings kann auch unter Umständen in den Pflanzenzellen der Fall eintreten, dass eine recht bedeutende Menge organischer Säuren im Protoplasma gebildet wird, und die Diastase in Folge dessen in ihrer Wirkung auf die Amylumkörner eine erhebliche Schwächung erleidet. Derartige Verhältnisse geben dann zur Entstehung pathologischer Zustände des pflanzlichen Organismus Veranlassung. Und in der That dürften wohl gewisse krankhafte Erscheinungen, die man künstlich an Pflanzen hervorzurufen im Stande ist, mindestens zum Theil ihren Grund in einer durch zu bedeutende Säureanhäufung im Protoplasma hergerufenen Schwächung oder völligen Vernichtung der Diastase haben. Man hat nämlich mehrfach beobachtet, dass Pflanzen Krankheitserscheinungen zeigen und schliesslich zu Grunde gehen, wenn ihnen in einer Nährstofflösung beträchtlichere Mengen gewisser Chloride dargeboten werden. Rautenberg und G. Kühn sahen z. B. eine Nährstofflösung, welcher Chlorammonium zugesetzt worden war, so sauer werden, dass bei grösserem Zusatz dieses Körpers die cultivirten Mais- und Bohnenpflanzen zu Grunde gingen¹⁾. Grössere Mengen solcher Chloride wie Chlorammonium und ebenso Chlorkalium wirken ohne Zweifel häufig schädlich auf die Pflanzen ein, weil der eine ihrer Bestandtheile in beträchtlichen Quantitäten vom vegetabilischen Organismus verarbeitet wird und damit eine Zersetzung der Chloride unter Salzsäurebildung verbunden ist, oder weil auf andere Weise Salzsäure entsteht. Die Salzsäure kann freilich nach aussen ausgeschieden werden, aber doch bereits vorher in der Pflanze ihren schädigenden Einfluss auf vorhandene Fermente geltend gemacht haben.

Verschiedene Verhältnisse, die sich auf die pflanzenphysiologische Bedeutung der Thatsache beziehen, dass Säuren einen ganz bestimmten Einfluss auf den Process der Stärkeumbildung durch Diastase ausüben, sollen noch im zweiten Abschnitt dieser Schrift besprochen werden.

§ 3. Der Einfluss von Spaltpilzen auf die stärkeumbildende Kraft diastasehaltiger Flüssigkeiten.

Baranetzky ist der Meinung, dass durch das Auftreten von Bacterien die fermentartige Eigenschaft einer Flüssigkeit immer geschwächt werde. Wortmann²⁾ glaubt dagegen annehmen zu

¹⁾ Vgl. die Zusammenstellungen bei Pfeffer, Handbuech d. Pflanzenphysiologie, B. 1, S. 65.

²⁾ Vgl. Wortmann, Zeitschrift f. physiologische Chemie, B. 6, S. 328.

müssen, dass die Bacterien die Stärkeumbildende Kraft einer diastasehaltigen Flüssigkeit gewöhnlich erhöhen. Der zuletzt genannte Beobachter hat nämlich sicher festgestellt, dass die Bacterien im Stande sind, Diastase zu erzeugen, und zwar bilden die niederen Organismen dies Ferment, was für unsere weiteren Erörterungen von Wichtigkeit ist, nur dann, wenn ihnen ausser Amylum keine andere für die Zwecke ihrer Ernährung verwertbare Kohlenstoffquelle zur Disposition steht. Die ganze Frage, um welche es sich hier handelt, ist indessen, wie auch Wortmann hervorhebt, noch keineswegs eingehend genug untersucht worden, und in der That haben meine Beobachtungen zu Resultaten geführt, durch welche ein neues Licht auf die in Rede stehenden Verhältnisse fällt.

Ich machte die Beobachtung, dass Diastase enthaltende Flüssigkeiten, nachdem sie einige Zeit lang sich selbst überlassen worden sind, energischer umbildend auf Stärkekleister als zu Beginn der Versuche einwirkten. Diese Erscheinung tritt indessen nur unter bestimmten Umständen hervor. Wenn man z. B. Malzextract 24 Stunden lang bei 15 ° C. hinstellt, so hat die fermentative Kraft desselben keine wesentliche Veränderung erfahren. Dasselbe ist der Fall, wenn der Malzextract 48 Stunden lang bei etwa 3 ° C. sich selbst überlassen bleibt. Nach Verlauf der angegebenen Zeiten hat der Malzextract in diesen Fällen sein ursprünglich klares Aussehen vollkommen behalten. Etwas ganz anderes ist der Fall, wenn man Malzextract 48 Stunden lang bei 15 ° C. hinstellt; er ist dann in Folge einer erheblichen Spaltpilzansammlung trübe geworden und besitzt einen eigenthümlichen Geruch. Eine bestimmte Menge dieses durch das 2 Tage lange Stehen bei 15 ° C. trübe gewordenen Malzextractes wirkt nun weit schneller stärkeumbildend, als eine gleiche Menge des Extractes von gleichem Ursprung, der aber 2 Tage lang bei einer Temperatur von 3 ° C. sich selbst überlassen gewesen ist und keine Trübung erfahren hat. Wird Malzextract endlich 4 Tage lang bei etwa 16 ° C. sich selbst überlassen, so ist nach dieser Zeit die fermentative Kraft der vorhandenen Diastase keine grössere als zu Anfang, sondern im Gegentheil eine viel geringere.

Ich bezweifle die Richtigkeit der von Wortmann festgestellten Thatsache nicht, dass Bacterien im Stande sind, unter bestimmten Umständen Diastase zu erzeugen, aber trotzdem darf die von mir beobachtete Erscheinung, dass die fermentative Kraft eines Malzextractes in Folge längeren Stehens unter erheblicher Spaltpilzansammlung zunimmt, nicht mit einer durch den

Lebensprocess der niederen Organismen hervorgerufenen Diastasebildung in Zusammenhang gebracht werden. Einer solchen Auffassung gegenüber sind ja schon die Ergebnisse geltend zu machen, zu denen Wortmann selbst gelangte. Er fand, wie bereits erwähnt wurde, dass die Bacterien nur dann zur Diastasebildung befähigt sind, wenn ihnen, abgesehen vom Amylum, keine andere als Kohlenstoffquelle verwertbare Substanz zur Disposition steht. Der von mir benutzte Malzauszug war aber stets stärkefrei; er enthielt dagegen viel Zucker sowie Eiweissstoffe, und diese Körper konnten den Spaltpilzen, welche sich in meinen Versuchsflüssigkeiten entwickelten, und sich sicher ebenso verhielten, wie die von Wortmann cultivirten, als Nahrungsmittel dienen. Bei alledem wird die Erscheinung, dass längeres Stehen von Malzextract die fermentative Kraft desselben erhöht, durch die Spaltpilze vermittelt, denn das in Rede stehende Phänomen ist eben an das Auftreten dieser Organismen gebunden. Die Spaltpilze wirkten bei meinen Versuchen freilich nicht als Diastasebildner, sondern in anderer Weise.

Es muss nämlich hervorgehoben werden, dass die Entwicklung von Spaltpilzen in derartigen Flüssigkeiten wie Malzextract mit einer nicht unerheblichen Säurebildung verbunden ist. Wenn man frisch bereiteten Malzextract, der stets schwach sauer reagirt, vorsichtig mit wenig verdünnter Aetzkalilösung versetzt, bis die Flüssigkeit eine schwach alkalische Reaction angenommen hat, und die klare Lösung sich nunmehr selbst überlässt, so erscheint sie nach Verlauf einiger Tage trübe und besitzt jetzt wieder eine saure Reaction. Durch den Lebensprocess der Spaltpilze ist also freie Säure gebildet worden. Eine durch niedere Organismen bedingte Säurezunahme des längere Zeit sich selbst überlassenen Malzextracts kann aber nach allem, was wir bereits in diesem Abschnitt unter 1 erfahren haben, nicht ohne Einfluss auf die stärkeumbildende Kraft der vorhandenen Diastase sein. Dieselbe muss vielmehr gesteigert werden, und somit erklären sich die oben erwähnten Erscheinungen in einfacher Weise. Wenn Malzextract sich längere Zeit, z. B. 4 Tage bei 15° C., überlassen bleibt, und eine bedeutende Spaltpilzvegetation in der Flüssigkeit eingetreten ist, so nimmt dieselbe in Folge dessen eine sehr saure Reaction an. Ein solcher Malzextract besitzt nur noch eine geringe fermentative Kraft, weil die erhebliche Säuremenge die stärkeumbildende Fähigkeit der Diastase beträchtlich geschwächt hat.

Bei den von mir angestellten Beobachtungen haben die Spalt-

pilze die fermentative Kraft der Diastase also immer nur in Folge der durch sie hervorgerufenen Veränderung der Reaction des Malzextractes in dieser oder jener Weise beeinflusst. Es sind freilich auch Fälle denkbar, in denen die stärkeumbildende Fähigkeit einer diastasehaltigen Flüssigkeit erhöht wird, indem die Spaltpilze als Diastasebildner fungiren und somit den Gehalt einer solchen Flüssigkeit an Diastase steigern.

§ 4. N ä g e l i ' s Theorie der Fermentwirkung.

Unter allen Anschauungen, welche ausgesprochen worden sind, um ein tieferes Verständniss des Wesens der fermentativen Prozesse herbeizuführen, scheinen mir jene von C. v. N ä g e l i ¹⁾ geltend gemachten in aller erster Linie Bedeutung zu beanspruchen ²⁾. N ä g e l i ' s Theorie lässt sich wie folgt kurz charakterisiren: Nach der heute massgebenden Vorstellungsweise der Molekularphysik führen die Moleküle, abgesehen von fortschreitenden Bewegungen, auch um einen Gleichgewichtspunkt schwingende Bewegungen aus, und diese schwingenden Bewegungen kommen ebenso jedem Atom oder jedem Atomcomplex in den Molekülen zu. Wenn nun ein Körper mit einem anderen Körper in innige Berührung gelangt, so muss natürlich eine Ausgleichung der Bewegungszustände der Moleküle und Atome dieser beiden Körper erfolgen, und ein solcher Ausgleich kann unter Umständen eine weittragende Bedeutung gewinnen. Mit Bezug auf die Fermentwirkung muss man nach N ä g e l i annehmen, dass die Moleküle und Atome der Fermente sich in sehr lebhafter schwingender Bewegung befinden. Wenn die Fermente mit anderen Stoffen in Contact gelangen, wenn z. B. die Diastase auf Amylum einwirkt, so wird die Bewegung der Stärkeatome so erheblich gesteigert, dass die Amylummoleküle unter Wasseraufnahme in Dextrin- sowie Maltosemoleküle zerfallen. Die Diastasemoleküle, welche dabei natürlich eine Verminderung ihrer Bewegungsenergie erfahren, können ihre ursprüngliche Bewegungsenergie durch Bindung freier Wärme wieder erlangen, und damit findet die höchst wunderbare Thatsache ihre Erklärung, dass eine minimale Fermentmenge im Stande ist, ungemein viel Amylum zu zersetzen. Ebenso werden eine grosse Reihe anderer Erscheinungen, welche man bei dem Studium der Fermentwirkung beobachtet, vom Standpunkte der N ä g e l i ' s c h e n Theorie aus

¹⁾ Vgl. C. v. N ä g e l i, Theorie d. G ä h r u n g. 1879. S. 26.

²⁾ Aehnliche Anschauungen wie N ä g e l i vertritt auch A. M a y e r: Die Lehre von den chemischen Fermenten. 1882, S. 120.

verständlich, und ich habe hier speciell das Phänomen der Erhöhung der Fermentwirkung durch die Gegenwart kleiner Säuremengen im Auge. Man hat sich vorzustellen, dass die Säuren in Folge der specifischen schwingenden Bewegungen ihrer Moleküle und Atome in ähnlicher Weise wie Erhöhung der Temperatur auf die Diastase einwirken. Kleine Säuremengen üben innerhalb kurzer Zeit, wie ich gezeigt habe, keinen directen und nachweisbaren Einfluss auf die Stärke aus; sie steigern aber die schwingenden Bewegungen der Diastasemoleküle und Atome, ein Umstand, der den Zerfall des Amylums in Dextrin sowie Maltose wesentlich beschleunigt. Wenn erheblichere Säuremengen auf die Diastase einwirken, so wächst die Bewegungsenergie der Moleküle und Atome des Fermentes so sehr, dass dasselbe vollkommen zerfällt. Das Ferment wird durch grössere Säuremengen ebenso wie durch eine zu weit getriebene Temperatursteigerung völlig zersetzt. Die Thatfachen, welche ich bei dem Studium des Einflusses von Säuren auf die Diastase feststellen konnte, scheinen mir in der That in hohem Grade geeignet zu sein, als Stützen der Nägeli'schen Theorie der Fermentwirkung zu dienen.

Zweiter Abschnitt.

Der Einfluss von Chloriden auf den Verlauf des Processes der Stärkeumbildung durch Diastase und die Function der Chloride im vegetabilischen Organismus.

§ 5. Der Einfluss von Chloriden auf den Verlauf des Processes der Stärkeumbildung durch Diastase.

Verschiedene Beobachter, zumal O. Nasse und A. Mayer¹⁾, haben sich bereits mit der Frage nach den Einfluss von Chloriden auf den Verlauf des Processes der Stärkeumbildung durch Diastase beschäftigt. Die Resultate, zu denen man seither gelangt ist, widersprechen einander aber erheblich, denn während Nasse das Chlorkalium z. B. zu denjenigen Stoffen rechnet, welche einen ungünstigen Einfluss auf den fermentativen Vorgang geltend machen, soll der nämliche Körper nach Mayer denselben unter bestimmten

¹⁾ Vgl. A. Mayer's Zusammenstellungen in dessen Lehre von den chemischen Fermenten, S. 79.

Umständen beschleunigend beeinflussen. Die Ursachen der eigenthümlichen Wirkung von Chloriden auf den Process der Amylumumbildung durch Diastase sind überdies nicht weiter untersucht worden, trotzdem gerade die bezüglichlichen Fragen, wie ich zeigen werde, ein ganz hervorragendes pflanzenphysiologisches Interesse beanspruchen.

Bei der Ausführung derjenigen Versuche, welche ich zur Beantwortung der Frage nach dem Einfluss von Chloriden auf den Verlauf des Processes der Amylumumbildung durch Diastase anstellte, habe ich ein sehr einfaches Verfahren eingehalten. Ich will hier nur wenige meiner zahlreichen Versuche specieller besprechen.

Versuch mit Chlornatrium.

Es wurde Malzextract durch Behandlung von 1 Thl. Malzpulver mit 4 Thl. Wasser hergestellt. Der Auszug besass bei diesem Versuche ebenso wie bei den folgenden, was von Wichtigkeit ist, eine schwach saure Reaction.

- a. 25 Ccm. Malzextract ohne Zusatz;
- b. 25 „ „ + 1 Grm. NaCl.;
- c. 25 „ „ + 0,025 „ Citronensäure;
- d. 25 „ „ + 0,025 „ „ + 1 Grm. NaCl.

Die Gemische blieben 18 Stunden lang bei 17° C. ruhig stehen. Darauf wurden je 25 Ccm. Kartoffelstärkekleister mit je 5 Ccm. der Flüssigkeitgemische a, b, c und d versetzt. Mit Hilfe der Jodreaction liess sich leicht constatiren, dass 5 Ccm. von b lebhafter stärkeumbildend wirkten als 5 Ccm. von a; eine Probe des Flüssigkeitgemisches, welches aus 25 Ccm. Kleister und 5 Ccm. von b bestand, färbte sich auf Jodzusatz bereits braun, als eine Probe des aus 25 Ccm. Kleister und 5 Ccm. von a bereiteten Flüssigkeitgemisches auf Jodzusatz noch eine violette Färbung annahm. 5 Ccm. von d wirkten aber viel langsamer als 5 Ccm. von c. Die eine Flüssigkeit (25 Ccm. Kleister + 5 Ccm. von d) färbte sich auf Jodzusatz noch blau, als die andere (25 Ccm. Kleister + 5 Ccm. von c) nur noch einen schwach gelblichen Farbenton annahm.

Versuch mit Chlorkalium.

- a. 25 Ccm. Malzextract ohne Zusatz;
- b. 25 „ „ + 1 Grm. KCl.;
- c. 25 „ „ + 0,030 „ Citronensäure;
- d. 25 „ „ + 0,030 „ „ + 1 Grm. KCl.

Nach 18 Stunden wurden je 25 Ccm. Kleister mit 5 Ccm. von a, b, c und d versetzt. 5 Ccm. von b wirkten schneller als 5 Ccm. von a. 5 Ccm. von d wirkten viel langsamer als 5 Ccm. von c.

Ich habe auch einen Versuch angestellt, bei dessen Ausführung einmal 25 Ccm. Malzextract ohne Zusatz blieben (a), während andererseits 25 Ccm. Malzextract mit mehr Chlorkalium versetzt wurden, als die Flüssigkeit zu lösen vermochte (b). Nach 20 Stunden wurden je 25 Ccm. Kleister mit 5 Ccm. dieser Flüssigkeiten versetzt. 5 Ccm. von b wirkten auch in diesem Falle lebhafter amyllumumbildend als 10 Ccm. von a.

Versuch mit Chlorkalium.

- a. 25 Ccm. Wasser + 0,125 Grm. Citronensäure;
 b. 25 „ „ + 0,125 „ „ + 1 Grm. KCl.

Die Flüssigkeiten blieben 18 Stunden lang bei 20° C. ruhig stehen. Nach dieser Zeit wurden je 25 Ccm. Kleister mit 5 Ccm. eines Malzextractes und 10 Ccm. der Flüssigkeiten a und b versetzt. Die Amyllumumbildung verlief in der Flüssigkeit, welcher 10 Ccm. von b zugesetzt worden waren, viel langsamer als in derjenigen, welche den Zusatz der 10 Ccm. von a erhalten hatte.

Es geht also aus meinen Beobachtungen hervor, dass die Chloride (Chlorkalium und Chlornatrium) beschleunigend auf den Process der Amyllumumbildung durch Diastase einwirken, wenn die fermenthaltige Lösung eine nur schwach saure Reaction besitzt, dass die Chloride aber im Gegentheil einen verlangsamenden Einfluss auf den Process der Stärkeumbildung geltend machen, wenn die fermenthaltige Flüssigkeit stärker sauer reagirt.

§ 6. Die Ursachen der constatirten Erscheinungen.

Wenn es sich darum handelt, die Ursachen des eigenthümlichen Verhaltens der Chloride bei dem Processe der Stärkeumbildung durch Diastase festzustellen, so ist in erster Linie zu betonen, dass weder Chlorkalium noch Chlornatrium im Stande sind, bei Abwesenheit des Ferments innerhalb kurzer Zeit einen nachweisbaren Einfluss auf den Stärkekleister geltend zu machen. Die unter Umständen bei Anwesenheit von Chloriden hervortretende Beschleunigung des Vorganges der Amyllumumbildung durch Diastase kommt also nicht durch eine in gleichem Sinne erfolgende Einwirkung des Fermentes einer- und der Chloride andererseits auf die Stärke zu Stande. Ich habe z. B. je 25 Ccm. Stärkekleister

mit 1 Grm. KCl. oder mit 1 Grm. NaCl. versetzt, und die Gemische 20 Stunden lang bei gewöhnlicher Zimmertemperatur sich selbst überlassen. Nach Verlauf dieser Zeit war keine Spur Zucker in den Flüssigkeiten nachzuweisen; sie erschienen noch trübe und färbten sich auf Jodzusatz blau.

Man könnte vom Standpunkte der Nägeli'schen Theorie der Fermentwirkung aus ferner sagen, dass die Chloride die Wirksamkeit der Diastase unter gewissen Umständen deshalb begünstigen, weil sie — ebenso wie kleine Mengen von Säuren — in Folge der eigenthümlichen schwingenden Bewegungen ihrer Moleküle und Atome das Ferment zu erhöhter Thätigkeit befähigen. Ich werde aber zeigen, dass die Wirksamkeit der Chloride auf ganz andere Ursachen zurückgeführt werden muss.

Wir haben eine Flüssigkeit vor uns, welche Amylum, Diastase kleine Mengen organischer Säuren (nämlich die im Malzextract vorhandenen) sowie Chloride enthält. Im anderen Falle haben wir es mit einer Flüssigkeit zu thun, welche sich von der ersteren nur dadurch unterscheidet, dass eine gewisse Citronensäuremenge neben den erwähnten Stoffen vorhanden ist. Eine Beschleunigung, resp. eine Verlangsamung des Processes der Stärkeumbildung könnte in diesen Flüssigkeiten im Vergleich zu dem Verlauf des Vorganges in solchen Flüssigkeiten, die keine Chloride enthalten, sonst aber genau ebenso wie die ersteren zusammengesetzt sind, unter folgenden Voraussetzungen eintreten. Es müssten die organischen Säuren zersetzend auf das Chlorkalium oder Chlornatrium eingewirkt haben, so dass freie Salzsäure gebildet worden wäre, und diese Salzsäure müsste das Vermögen besitzen, einen energischeren Einfluss auf die Diastase ausüben zu können, als die äquivalente Menge der zur Salzsäurebildung nothwendigen organischen Säuren. Die unter bestimmten Umständen zur Geltung kommende Beschleunigung des Processes der Amylumumbildung durch die Diastase bei Gegenwart der Chloride wäre unter den gemachten Voraussetzungen ebenso verständlich, wie jenes andere von mir constatirte Phänomen, dass die Chloride unter gewissen Bedingungen den Verlauf des Verzuckerungsvorganges der Stärke verlangsamen. In letzterem Falle müsste die Salzsäure vermöge ihrer besonders energischen Wirkung auf die Diastase, das Ferment nachtheilig beeinflusst haben. Es kommt nun natürlich alles darauf an, jene beiden oben gemachten Voraussetzungen zu begründen.

Ich habe viele Versuche angestellt, um den directen Nach-

weis zu liefern, dass freie Chlorwasserstoffsäure entsteht, wenn organische Säuren in wässriger Lösung bei gewöhnlicher Temperatur auf Chlorkalium oder Chlornatrium einwirken. Es wurden wässrige Lösungen der Chloride in einem geräumigen Kolben mit wässriger Citronensäurelösung vermischt, und der Kolben nach dem Verschliessen etwa 24 Stunden stehen gelassen. Nach Verlauf dieser Zeit wurde in die Mündung des Kolbens ein doppelt durchbohrter Kork eingeführt, und in die eine Bohrung ein langes Glasrohr eingeschoben, welches mit dem einen Ende in die saure Flüssigkeit eintauchte. Die zweite Bohrung des Korkes diente zur Aufnahme des einen Schenkels eines kurzen, in einem rechten Winkel gebogenen Glasrohres. Wenn nun mit Hilfe eines Aspirators längere Zeit ein Luftstrom durch den Apparat geleitet wurde, und die den Kolben verlassende Luft eine Auflösung von salpetersaurem Silberoxyd passirte, so hätte sich in der Höllensteinlösung, wie offenbar zu erwarten stand, eine durch abgechiedenes Chlorsilber hervorgerufene Trübung bemerklich machen müssen. Derartiges trat aber nicht ein. Als ich den Apparat genau in derselben Weise, wie es angegeben worden ist, zusammensetzte, in den Kolben aber verdünnte Salzsäure brachte und nun Luft durchleitete, liess sich aber ebenfalls selbst nach mehrstündiger Versuchsdauer keine Chlorsilberbildung in der Höllensteinlösung feststellen. Die Untersuchungsmethode erwies sich demnach als unbrauchbar. Die Salzsäure wird unter den bezeichneten Umständen so fest vom Wasser gehalten, dass es nicht gelingt, ihre Gegenwart auf die angegebene Weise zu constatiren. Ich schritt daher zu weiteren Versuchen.

Es ist bekannt, dass sich die Lösungen der meisten Eisenoxydsalze auf Zusatz von Rhodankalium blutroth färben, eine Färbung, die durch essigsäures Natron wieder zum Verschwinden gebracht werden kann, durch einen Zusatz von Mineralsäuren aber aufs Neue hervortritt. Die Lösung des essigsäuren Eisenoxyds färbt sich auf Zusatz des Rhodankaliums im Gegensatz zu den Lösungen anderer Eisenoxydsalze nicht direkt blutroth, sondern erst auf Zusatz einer Mineralsäure, z. B. der Salzsäure. Ich habe nun wässrige Lösungen von Citronensäure, denen Chlorkalium oder Chlornatrium beigemischt worden war, nach längerem Stehen in eine Lösung, welche wenig essigsäures Eisenoxyd und Rhodankalium enthielt, eingetragen. Die ursprünglich schwach gelblich gefärbte Lösung nahm zwar einen etwas dunkleren Farbenton an, aber die nämliche Erscheinung liess sich constatiren, wenn ich die

Lösung des essigsäuren Eisenoxyds und Rhodankaliums nur mit Citronensäure versetze. Eine blutrothe Färbung, welche auf Gegenwart freier Salzsäure hätte schliessen lassen, machte sich in keinem Falle geltend. Man darf freilich nur erwarten, dass sich kleine Salzsäuremengen bilden, wenn die Citronensäure auf Chloride bei gewöhnlicher Temperatur einwirkt, und es ist daher möglich, dass die in Anwendung gebrachte Reactionsmethode nicht empfindlich genug ist, um diese kleinen Salzsäuremengen nachzuweisen. Directe Versuche haben mich leider davon überzeugt, dass die Empfindlichkeit der hier erwähnten Reaction sehr viel zu wünschen übrig lässt, so dass ich den eingeschlagenen Weg der Untersuchung alsbald wieder verlassen musste.

Trotzdem es mir bis jetzt nicht gelungen ist, den directen Nachweis zu liefern, dass sich freie Salzsäure bildet, wenn Citronensäure bei gewöhnlicher Temperatur in wässriger Lösung auf Chloride einwirkt, habe ich die Säurebildung auf indirectem Wege constatiren können. Eine Reihe von Versuchen wurden nämlich in folgender Weise angestellt.

a. Zu 25 Ccm. Kleister brachte ich mit Hilfe eines Glasstabes eine kleine Menge einer verdünnten Citronensäurelösung. Zu 25 Ccm. Kleister brachte ich ferner eine kleine Menge verdünnter Salzsäure. Die den zweiten 25 Ccm. Kleister hinzugefügte Salzsäuremenge war aber geringer als die den ersten 25 Ccm. Kleister hinzugefügte Citronensäurequantität, wie mit Hilfe von Lackmuspapier constatirt werden konnte. Ein Tropfen des Citronensäure enthaltenden Kleisters färbte blaues Reagenspapier schwach roth; ein Tropfen des salzsäurehaltigen Kleisters bewirkte in Berührung mit dem blauen Lackmuspapier eine erheblich schwächere Röthung desselben. Wenn nun den 25 Ccm. des citronensäure- sowie des salzsäurehaltigen Kleisters je 5 Ccm. Malzextract hinzugefügt wurden, so erfolgte der Process der Stärkeumbildung, wie sich mit Hilfe der Jodreaction verfolgen liess, in der salzsäurehaltigen Flüssigkeit, trotzdem dieselbe schwächer sauer reagirte als die citronensäurehaltige, schneller als in dieser letzteren.

b. Je 25 Ccm. Kleister wurden mit Citronensäure und Salzsäure versetzt. Der Säurezusatz war immer noch ein geringer, aber doch ein erheblich grösserer als bei den unter a angeführten Versuchen. Mit Hilfe des Lackmuspapieres liess sich zeigen, dass die salzsäurehaltige Flüssigkeit ebenso sauer oder in anderen Fällen schwächer sauer als die citronensäurehaltige Lösung reagirte. Auf Zusatz von je 5 Ccm. Malzextract ergab sich, dass

der Process der Amylumumbildung in der salzsäurehaltigen Flüssigkeit sehr viel langsamer als in der citronensäurehaltigen vor sich ging.

Es gehört einige Uebung dazu, um bei derartigen Versuchen, wie sie hier Erwähnung gefunden haben, zu brauchbaren Resultaten zu gelangen. Ich schliesse aus meinen Beobachtungen, dass der Process der Amylumumbildung durch Diastase bei Gegenwart einer sehr kleinen Salzsäuremenge in höherem Maasse begünstigt wird, als bei Gegenwart einer dieser Salzsäuremenge aequivalenten Citronensäurequantität. Wenn etwas grössere Salzsäuremengen in Anwendung gebracht werden, so benachtheiligen diese den Process der Amylumumbildung durch Diastase in höherem Maasse, als aequivalente Citronensäurequantitäten.

Wenn der eigenthümliche Einfluss, den die Chloride auf den Verlauf des Processes der Amylumumbildung durch Diastase geltend machen, auf Salzsäurebildung zurückgeführt werden soll, so muss die Salzsäure, wie oben ausführlicher erörtert worden ist, das Vermögen besitzen, einen energischeren Einfluss auf die Diastase ausüben zu können, als die aequivalente Menge der zur Salzsäurebildung nothwendigen organischen Säuren. In der That ist dies nach den unter a und b angeführten Versuchen bei schwächer sowie bei stärker saurer Reaction der amyllumhaltigen Flüssigkeiten der Fall, und ich schliesse somit, dass den organischen Säuren wirklich die Fähigkeit zukommt, freie Salzsäure zu erzeugen, wenn sie bei gewöhnlicher Temperatur in wässriger Lösung auf Chlorkalium oder Chlornatrium einwirken.

§ 7. Die Salzsäurebildung in Pflanzenzellen.

Abgesehen von einer Reihe bestimmter Verbindungen nehmen die Wurzeln der Gewächse auch Chloride aus dem Boden auf. Die Quantitäten von Chlorkalium, Chlornatrium, Chlorcalcium und Chlormagnesium, welche im Boden vorkommen, sind freilich je nach Umständen sehr verschiedene, indessen gewisse Mengen der Chloride, namentlich des Chlornatriums, stehen den Pflanzenwurzeln doch stets zur Disposition. Dass die Chloride, wie anderweitige Mineralstoffe, in Folge der durch Transpiration eingeleiteten Wasserströmung und auch noch auf andere Weise eine Verbreitung im vegetabilischen Organismus erfahren können, unterliegt gar keinem Zweifel. Hingegen sind wir über andere Fragen, die sich hier unmittelbar aufdrängen, nicht genau unterrichtet. Namentlich bedarf die Frage nach dem Verhalten der Chloride dem

Protoplasma gegenüber noch speciellerer Untersuchung. Es darf sicher behauptet werden, dass die Chloride die Hautschicht des Protoplasma nur schwierig zu passiren vermögen, aber der Umstand, dass die in Rede stehenden Verbindungen, wie namentlich in folgenden Paragraphen gezeigt werden wird, einen nicht unwesentlichen Einfluss auf eine Reihe physiologischer Processe, die sich im Protoplasma abspielen, geltend zu machen vermögen, lässt keinen Zweifel über ein thatsächliches Eingreifen der Chloride in den Lebensprocess der Gewächse bestehen. Auf Grund dieser Betrachtungen und zumal unter Berücksichtigung der Auseinandersetzungen im folgenden Paragraphen wird kein Physiolog die Ansicht zurückweisen, wonach die Chloride in der Pflanze mit den vom vegetabilischen Organismus erzeugten Pflanzensäuren (z. B. Apfel-, Citronen-, Oxalsäure) oder den vorhandenen sauren Salzen dieser Säuren in Wechselwirkung gerathen können. Nach dem, was wir im § 6 gesehen haben, muss aber unter solchen Umständen freie Salzsäure in der Pflanze gebildet werden¹⁾.

Ueberdies wurde schon im §. 2 unter c darauf hingewiesen, dass die Pflanze wirklich unter bestimmten Bedingungen Salzsäure erzeugt. Biedermann²⁾ stellte ferner durch analytische Ermittlungen fest, dass verschiedene Chloride eine Zersetzung erfahren, wenn Samen in den Lösungen derselben eingequollen werden. Die Ursachen, welche die Chlorwasserstoffsäurebildung in diesen speciellen Fällen bedingen, sind freilich von den Experimentatoren nicht untersucht worden, aber es liegt, nach dem was wir gesehen haben, auf der Hand, dass die Einwirkung organischer Säuren auf Chloride hier mindestens als eine derjenigen Ursachen, die zur Salzsäureerzeugung führten, angesehen werden muss.

§ 8. Die Function der Chloride im vegetabilischen Organismus und die unter Umständen hervortretende nachtheilige Wirkung der Chloride auf die Pflanze.

Die Frage nach der Function der Chloride im vegetabilischen Organismus ist bereits mehrfach ventilirt worden, und manche Beobachter behaupten, dass diesen Verbindungen unter bestimmten Umständen eine nicht unwesentliche Bedeutung für das Pflanzen-

¹⁾ Die Salzsäurebildung ist auch besonders leicht bei gewöhnlicher Temperatur möglich, wenn Oxalsäure in wässriger Lösung auf Chlorcalcium einwirkt.

²⁾ Vgl. Biedermann, Versuchsstationen. B. 9, S. 312.

leben zukomme. Im Gegensatz hierzu stehen Erfahrungen, nach denen die Chloride nicht allein entbehrlich für das Gedeihen der Gewächse, sondern unter gewissen Bedingungen sogar als Körper erscheinen, die geradezu giftig auf die Pflanzenzellen einwirken. Wir haben es hier also auf jeden Fall mit verschiedenen verwickelten Fragen zu thun, die, was besonders wichtig ist, wohl aus einander gehalten werden müssen, wenn es sich darum handelt, den Gegenstand um einen Schritt weiter zu fördern. Ich will zunächst die einzelnen Punkte, auf die es ankommt, specieller präcisiren, um dieselben dann auf Grund der bereits in dieser Schrift zur Kenntniss gebrachten Thatsachen zu beleuchten.

a. Während Knop¹⁾ das Chlor als einen durchaus entbehrlichen Pflanzennährstoff betrachtet und behauptet, dass selbst die Buchweizenpflanze des Chlors nicht zur normalen Ausbildung aller ihrer Theile bedürfe, weichen andere Beobachter ganz wesentlich von dieser Anschauung ab. Nobbe²⁾ hat gefunden, dass die Buchweizenpflanze zu keiner normalen Fruchtbildung gelangt, wenn die zur Cultur dienende Nährstofflösung chlorfrei ist. Nobbe³⁾ stellte weiter fest, dass die Fruchtbildung der Buchweizenpflanze selbst dann nicht normal zu Stande kommen kann, wenn die Nährstofflösung zwar Chlor enthält, wenn dasselbe aber nicht in Verbindung mit Kalium als Chlorkalium, sondern in Verbindung mit einem anderen Elemente vorhanden ist.

b. In der landwirthschaftlichen Praxis werden zur Melioration und Düngung des Bodens bekanntlich eine Reihe von Körpern in Anwendung gebracht, die bedeutende Mengen verschiedener Chloride (Chlorkalium, Chlornatrium, Chlormagnesium) enthalten. Abgesehen vom Kochsalz, benutzt man namentlich die Stassfurter Salze für den bezeichneten Zweck, und zwar in erster Linie deshalb, um dem Boden hinreichende Kalimengen zuzuführen. Die Düngung der kaliarmen Moorböden und auch vieler Sandböden mit Stassfurter Salzen hat gerade in neuester Zeit zu glänzenden, ganz unerwartet guten Erfolgen geführt, aber im Grossen und Ganzen sind die Stassfurter Salze in unseren Tagen einigermassen in Misskredit gekommen. Verschiedene her-

¹⁾ Vgl. Knop, Kreislauf des Stoffes. B. 1, S. 616.

²⁾ Vgl. Nobbe, Versuchsstationen. B. 7, S. 371 und Bd. 13, S. 396, Anmerkung.

³⁾ Vgl. Nobbe, Versuchsstationen. B. 13, S. 398.

vorragende Autoren, zumal M. Maercker¹⁾ und J. Kühn²⁾ sind der Ansicht, nach welcher den erwähnten Düngmitteln im Allgemeinen nur ein geringer landwirthschaftlicher Werth zukommen soll, mit Recht energisch entgegengetreten. Es unterliegt nämlich zunächst gar keinem Zweifel, dass die Stassfurter Salze sehr oft am unrechten Platze und ohne Rücksicht auf anderweitige Productionsfactoren in Anwendung gebracht worden sind, so dass sie gar nicht im Stande sein konnten, eine günstige Wirkung geltend zu machen. Auf einem Boden, der reich an solchen Substanzen ist, aus denen die Pflanzen ihren Kalibedarf zu decken vermögen, kann die Düngung mit Stassfurter Salzen natürlich relativ wenig nützen. Ebenso ist die Wirkung der Salze höchstens eine geringfügige — und dies Moment hat man, trotzdem dasselbe selbstverständlich ist, oft übersehen —, wenn sie ohne Beigabe anderer Düngmittel auf einem Boden in Anwendung gebracht werden, der zwar kaliarm ist, aber den Pflanzen zugleich nicht die erforderlichen Mengen anderweitiger Nährstoffe, zumal Phosphorsäure, zur Disposition stellen kann. Wenn man diese Verhältnisse berücksichtigt und ferner bedenkt, dass die Stassfurter Salze nicht allein infolge ihres Gehaltes an Pflanzennährstoffen, sondern auch vermöge ihrer Fähigkeit, lösend und zersetzend auf viele Bodenbestandtheile einzuwirken, einen fördernden Einfluss auf das Gedeihen der Pflanzen auszuüben vermögen, so erscheinen jene Düngmittel schon in einem ganz anderen Lichte wie bei oberflächlicher Betrachtung. Von vielen Seiten ist als Ursache der oft nachtheiligen Wirkung der Stassfurter Salze auf das Pflanzenwachsthum ihr bedeutender Gehalt an Chloriden hingestellt worden. Wir werden in der That sehen, dass die Chloride unter Umständen einen schädlichen Einfluss auf die Vegetation geltend machen; in der landwirthschaftlichen Praxis besitzt man aber ein einfaches Mittel, um eine derartige Gefahr abzuwenden. Führen wir einem Boden z. B. Chlorkalium zu, so wird das Kalium sehr energisch absorbirt. Das Chlor tritt dagegen in Verbindung mit Calcium oder Natrium, und die entstandenen Mengen von Chlorcalcium oder Chlornatrium versinken auf einem guten Boden, da sie nicht absorbirt werden, allmählich mit dem Wasser in die Tiefe des Bodens. Werden daher an Chloriden reiche Dünge-

¹⁾ Vgl. M. Maercker, Die Kalisalze und ihre Anwendung. Berlin 1880.

²⁾ Vgl. J. Kühn, Fühlings landwirthschaftl. Zeitung, 1883, H. 5, 6 u. 7.

mittel frühzeitig genug in Anwendung gebracht, z. B. zu Sommerfrüchten schon im Herbst vor der Frühjahrsbestellung auf den Boden ausgestreut, so ist die Gefahr einer schädlichen Wirkung der Chlorverbindungen auf die Vegetation beseitigt. Die Stassfurter Salze repräsentiren nach alledem, wenn sie nur unter den geeigneten Verhältnissen und in richtiger Weise benutzt werden, ohne Zweifel höchst werthvolle Düngemittel.

Auf jeden Fall ist übrigens die Thatsache von nicht untergeordnetem physiologischem Interesse, dass die Chloride unter Umständen nachtheilig auf die Vegetation einwirken, und ich habe hier zunächst den Einfluss im Auge, welchen die Chloride auf die Ausbildung der Rübenwurzeln sowie der Kartoffelknollen geltend machen. Gegenwart grösserer Mengen der Chlorverbindungen beeinträchtigt freilich nach sehr vielen Erfahrungen den Gesamtertrag eines Bodens an Rüben und Kartoffeln nicht, aber wirkt in bedeutsamer Weise deprimirend auf den Zuckergehalt der Wurzeln und auf den Stärkegehalt der Knollen ein.

c. Weniger empfindlich als die Rüben und Kartoffeln einer Düngung mit Stoffen gegenüber, die reich an Chloriden sind, erweisen sich nach den vorliegenden Erfahrungen andere Pflanzen, z. B. die Getreidearten. Sehr erhebliche Mengen der Chloride schädigen diese Gewächse aber ebenfalls und tödten sie sogar schliesslich. Ich habe Weizenpflanzen in Blumentöpfen cultivirt, und den Boden, nachdem sich die Untersuchungsobjecte zunächst einige Zeit lang unter günstigen Vegetationsbedingungen kräftig entwickelt hatten, in dem einen Falle auch fernerhin mit Brunnenwasser, im anderen aber mehrfach mit einer verdünnten Chlornatriumlösung begossen. Die Pflanzen im ersteren Topfe gediehen freudig weiter; diejenigen im zweiten gingen allmählich zu Grunde. Auf die Ursachen dieser letzteren Erscheinung, welche mannigfaltiger Natur sein können, komme ich weiter unten zurück. Einige Gewächse, z. B. die Salsola- und Salicorniaarten, können selbst einen sehr bedeutenden Gehalt des Bodens an Chloriden ohne jeden Schaden ertragen.

Zu a. Mit Rücksicht auf die Untersuchungen Nobbes über den Einfluss des Chlors auf die Vegetation verdient die Thatsache besonders hervorgehoben zu werden, dass bei Chlormangel oder dann, wenn den Untersuchungsobjecten das Chlor nicht in Verbindung mit Kalium als Chlorkalium, sondern in anderer Verbindungsform dargeboten wurde, in den Assimilationsorganen der Pflanzen eine bedeutsame Stärkeansammlung zur Geltung kam.

Das durch Assimilation gebildete Amylum wurde nicht schnell genug aufgelöst; es häufte sich daher an dem Orte seiner Entstehung an, und damit war die Ursache der abnormen oder völlig unterbleibenden Fruchtbildung gegeben. Es liegt nun sehr nahe, diese Erscheinungen mit den Thatsachen in Verbindung zu bringen, welche wir im Laufe unserer Darstellungen bereits kennen lernten. Da die Chloride durch organische Säuren unter Bildung freier Salzsäure zersetzt werden können, diese Salzsäure aber unter Umständen förderlicher auf den Verlauf der Stärkeumbildung durch Diastase als die Menge der organischen Säure, welche zur Bildung der Salzsäure nothwendig war, einwirkt, und sowohl die Bedingungen für das Zustandekommen des Processes der Amylumumbildung durch das Ferment als auch die Bedingungen zur Entstehung von Chlorwasserstoffsäure in den Assimilationsorganen der Pflanzen gegeben sind, so ergibt sich die Ansicht ganz von selbst, dass den Chloriden in der Pflanze die Function zukommt, einen beschleunigenden Einfluss auf die Auflösung der Amylumkörner geltend zu machen. Dass bei Nobbe's Untersuchungen, die im 13. Bande der Versuchsstationen mitgetheilt sind, gerade das Chlorkalium so besonders günstig auf den Auflösungsprocess der Amylumkörner, resp. auf die Translocation des stickstofffreien plastischen Materials in der Buchweizenpflanze einwirkte, ist mir auch wohl verständlich. Die Nährstofflösungen Nobbes (l. c. p. 332), in welchen das Chlor nicht in Verbindung mit Kalium als Chlorkalium vorhanden war, enthielten, abgesehen von allen übrigen unentbehrlichen Nährstoffen, Chlorcalcium. Dieser Körper liefert, wie schon früher hervorgehoben worden ist, zumal in Contact mit Oxalsäure relativ grosse Salzsäuremengen, und wenn bedeutendere Chlorwasserstoffsäurequantitäten in den Pflanzenzellen entstehen, so wirken dieselben nicht beschleunigend, wie kleinere Salzsäuremengen, sondern im Gegentheile verlangsamen auf den Process der Stärkeumbildung durch Diastase ein.

Im vegetabilischen Organismus können nicht allein die Chloride, sondern ebenso andere Verbindungen, z. B. die Nitrate, und ohne Zweifel auch schwefelsaure sowie phosphorsaure Salze unter Vermittelung der Pflanzensäuren eine Zersetzung erleiden¹⁾. Da es nun wahrscheinlich ist, dass kleine Salpetersäure-, Schwefelsäure- und Phosphorsäuremengen wie kleine Salzsäuremengen den Process

¹⁾ Ueber die Zersetzung der Nitrate in der Pflanze vgl. Emmerling, Versuchsstationen. B. 17, S. 161.

der Amylumumbildung in bedeutsamerer Weise begünstigen als die zur Bildung dieser Säuren erforderliche Menge organischer Säuren, so sollte man meinen, dass den Chloriden jene Function, welche wir ihnen zugeschrieben haben, gar nicht allein zukäme. In der That ist es zuweilen gelungen, Pflanzen bei Ausschluss von Chloriden zu normaler Entwicklung zu bringen, und dieser Umstand hat A. Mayer¹⁾ sowie mich²⁾ zu der Ansicht geführt, dass die Chloride, wenn die zur Cultur der Pflanzen dienenden Nährstofflösungen eine bestimmte Zusammensetzung besitzen, entbehrt werden können. Wenn dies in sehr vielen Fällen aber nicht möglich ist, wenn die Chloride, zumal das Chlorkalium, im Gegentheil häufig als sehr nützliche Componenten der Nährstofflösungen erscheinen, so erklärt sich diese Erscheinung wie folgt. Die aus ihren Verbindungen unter Beihülfe organischer Säuren in Freiheit gesetzte Salpeter-, Schwefel- und Phosphorsäure wird von der Pflanze verarbeitet. Die Salpetersäure z. B. dient zur Bildung von Proteinstoffen, sie verschwindet also als solche nach ihrer Entstehung wieder aus den Pflanzenzellen und kann daher höchstens einen ganz untergeordneten Einfluss auf den Process der Stärkeumbildung durch Diastase geltend machen. Anders verhält es sich mit der Salzsäure. Sie erfährt keine Verarbeitung im Organismus, muss sich daher allmählich, wenn auch im Ganzen nur in kleinen Mengen, in den Zellen anhäufen und kann somit continuirlich beschleunigend auf den Verlauf des Stärkeumbildungsprocesses einwirken.

Zu b. Während kleine Mengen der Chloride nach dem Gesagten sehr oft förderlich auf das Gedeihen der Gewächse einwirken, rufen grössere Mengen derselben, zumal bei Rüben- und Kartoffelpflanzen, gewisse abnorme Erscheinungen hervor. Sie beeinträchtigen zwar die Gesamtproduction dieser Gewächse nicht, aber wirken deprimirend auf den Zucker- resp. Stärkegehalt der Reservestoffbehälter ein. Es scheint in der That, wie schon A. Mayer³⁾ hervorgehoben hat, durch die Chloride in diesen Fällen der Verbrauch des plastischen stickstofffreien Materials auf Kosten der Ablagerung desselben begünstigt zu werden, und

1) Vgl. A. Mayer, Lehrbuch der Agriculturchemie. 1876, Th. 1, S. 253.

2) Vgl. Detmer, Lehrbuch d. Pflanzenphysiologie. 1883, S. 58.

3) Vgl. A. Mayer, Lehrbuch d. Agriculturchemie. 1876, Th. 1, S. 256.

damit steht die Thatsache in Verbindung, dass chlorhaltige Substanzen, wenn sie gleich eine Qualitätsverschlechterung der Rüben und Kartoffeln hervorrufen, doch sehr oft sogar eine Erhöhung des Gesamtertrages an Wurzeln und Knollen bedingen.

Wenn einem Organ grössere Mengen plastischer Stoffe zur Disposition gestellt werden, so muss dasselbe natürlich — wenn eine gewisse Quantität des plastischen Materials nicht überschritten wird — schneller wachsen als bei Gegenwart kleinerer Quantitäten derartiger Stoffe. Der aus der durch Assimilation gebildeten Stärke entstehende Zucker ist aber im eigentlichsten Sinne des Wortes ein plastischer Stoff, und wenn bestimmte Bedingungen seine Bildung begünstigen, so ist damit die Ursache für das Zustandekommen eines lebhafteren Wachstums der Zellen gegeben. Wenn z. B. in einer Kartoffelknolle die Umbildung der aus den Blättern der Knolle zugeführten Stärke besonders lebhaft zu Stande kommt, so wird ein grösserer Theil des der Hauptsache nach für die Ablagerung in den Zellen des unterirdischen Organs bestimmten Materials den Zwecken des Wachstums der Zellhäute preisgegeben als dann, wenn die Zuckerbildung langsamer vor sich geht. Unter den im vegetabilischen Organismus herrschenden Bedingungen muss eine Erhöhung der den Pflanzen zur Disposition stehenden Menge an Chloriden die Salzsäurebildung unter Vermittelung von Pflanzensäuren begünstigen, und damit ist zugleich auch die Bedingung für das Zustandekommen einer schnelleren Umbildung der Amylumkörner, die dann ihrerseits die bezeichneten Folgen haben kann, gegeben.

Zu c. Wenn die Quantität der Chloride, die in den vegetabilischen Organismus übergeht, recht gross ist, und somit eine besonders reichliche Salzsäuremenge in den Zellen entsteht, so wird die Entwicklung der Pflanzen oft in hohem Maasse beeinträchtigt, oder dieselben sterben sogar ab. Die Chloride, resp. die aus diesen hervorgehende Salzsäure, können auf verschiedene Weise nachtheilig auf die Pflanzenzellen einwirken, aber hier verdient die Thatsache unser besonderes Interesse, dass grössere Salzsäurequantitäten einen sehr verlangsamenden Einfluss auf den Process der Amylumumbildung durch Diastase geltend machen und dadurch die Translocationsvorgänge stickstoffreicher organischer Stoffe in der Pflanze in bedeutsamer Weise beeinträchtigen. Eine solche Störung der Wanderung des plastischen Materials muss aber aus Gründen, die auf der Hand liegen, von den nachtheiligsten Fol-

gen für die Weiterentwicklung des gesammten Organismus werden ¹⁾).

Uebrigens ist es von vornherein sicher, dass die gleichen Mengen der Chloride keineswegs den nämlichen nachtheiligen Einfluss auf verschiedene Pflanzen geltend machen werden, und damit hängt es auch gewiss zusammen, dass sich manche Gewächse, z. B. Salsola- und Salicorniaarten, der Wirkung der Chloride gegenüber höchst unempfindlich erweisen, während andere sich in der in Rede stehenden Beziehung sehr empfindlich zeigen. Für eine sachgemässe Beurtheilung der Wirkungen der Chlorverbindungen in der Pflanze ist es nämlich, wie bereits an anderer Stelle in dieser Abhandlung betont worden ist, von Wichtigkeit, abgesehen von der Menge der Chloride, auch die Quantität sowie die Natur der in den Zellen vorhandenen und zur Salzsäurebildung dienenden Pflanzensäuren ins Auge zu fassen. Ferner dürfen für den gleichen Zweck die specifischen Eigenthümlichkeiten der Stärkekörner in den Zellen und ebenso das specifische Verhalten des Protoplasma verschiedener Pflanzen den Chloriden, resp. der Salzsäure gegenüber nicht ausser Acht gelassen werden.

Wir sind nach alledem unter Zugrundelegung der Thatsache der eigenthümlichen Wirkung der Chloride auf den Process der Amylumumbildung durch Diastase in der Pflanzenzelle im Stande eine ganze Reihe complicirter physiologischer Erscheinungen auf ihre Ursachen zurückzuführen, und ich glaubte daher den besprochenen Verhältnissen meine besondere Aufmerksamkeit zuwenden zu müssen.

¹⁾ Der Gedankengang, welcher diesen Auseinandersetzungen zu Grunde liegt, schliesst sich in mancher Hinsicht an die durchdachten Darstellungen, welche A. Mayer (Versuchsstationen, B. 16, S. 77) kürzlich gegeben hat, an. Ich lege aber weniger Gewicht auf das Gesamtverhältniss zwischen der den Pflanzen zur Disposition stehenden Menge an Basen einer- und Säuren andererseits, sondern insbesondere auf die Quantitäten von Chloriden, welche den Pflanzen dargeboten werden.

Dritter Abschnitt.

Der Einfluss niederer Temperaturen und verschiedener Substanzen auf den Process der Stärkeumbildung durch Diastase.

§ 9. Der Einfluss niederer Temperaturen.

Mit Rücksicht auf eine Reihe physiologischer Fragen (vgl. den fünften Abschnitt) war es mir von Interesse zu wissen, ob niedere Temperaturen die Diastase oder den Verlauf des durch dieselbe vermittelten fermentativen Processes in bestimmter Weise beeinflussen. Zunächst untersuchte ich, ob die Stärkeumbildung durch Diastase noch bei Wärmegraden erfolgt, die nur wenig höher als der Gefrierpunkt des Wassers liegen. Kleine Gefässe, die verdünnten Kartoffelstärkekleister, und andere, die Malzauszug enthielten, wurden nach dem Verschliessen ihrer Mündungen unter Wasser, in welchem Eisstücke schwammen, gebracht. Das Vermischen des abgekühlten Kleisters und Malzauzugs erfolgte bei genau bekannter Temperatur, und diese Temperatur wurde auch fernerhin erhalten. Mit Hülfe der Jodreaction liess sich constatiren, dass der Process der Amylumumbildung noch bei einer Temperatur von 4° C., ja selbst noch bei einer solchen von $+1.5^{\circ}$ C., wenn auch nur langsam, vor sich geht.

Eine Reihe weiterer Versuche zur Feststellung des Einflusses niederer Temperaturen auf die Diastase sind z. B. in folgender Weise angestellt worden:

Malzextract verweilte 19 Stunden lang bei 15° C. (a). Malzextract verweilte 19 Stunden lang bei 3° C. (b). Nachdem die letztere Flüssigkeit nunmehr auf eine Temperatur von 15° C. gebracht worden war, wurden je 25° C. 0.5procentigen Kartoffelstärkekleisters mit 5 Ccm. von a und b versetzt. Mit Hülfe der Jodreaction liess sich zeigen, dass der abgekühlt gewesene Malzextract ebenso schnell stärkeumbildend wie der nicht abgekühlte wirkte.

Malzextract verweilte 18 Stunden lang bei 12° C. (a). Malzextract verweilte 18 Stunden lang bei -6° C. (b). Nachdem beide Flüssigkeiten nunmehr auf gleiche Temperatur gebracht worden waren, wurden je 25 Ccm. Kleister mit 5 Ccm. von a und b versetzt. Beginn des Versuchs 2 U. 7 M.

		Jodreaction von	
		a.	b.
2 U.	10 M.	Blau.	Blau.
2 „	15 „	Violett.	Violett.
2 „	20 „	„	„
2 „	26 „	Braun.	Braun.
2 „	33 „	„	„

Als ein Malzextract nicht bei -6°C ., sondern bei -10°C . gefror, und seine Wirkung auf Stärkekleister nachträglich mit einem anderen Extract, der gleich lange Zeit (16 Stunden) bei 8°C . verweilt hatte, verglichen wurde, liess sich ebenfalls kein Unterschied in der fermentativen Kraft der beiden Flüssigkeiten erkennen.

Höheren Temperaturen gegenüber verhalten sich die Fermente in vieler Hinsicht ähnlich wie das Protoplasma, und dies zeigt sich bekanntlich vor allen Dingen darin, dass sowohl die Fermente wie auch das Protoplasma zu Grunde gehen, wenn höhere Wärmegrade bei Gegenwart des Wassers auf dieselben einwirken, während die nämlichen Temperaturen die Fermente und das Protoplasma bei Wasserabwesenheit häufig nicht besonders nachtheilig beeinflussen. Ganz anders wirken niedere Temperaturen. Das Protoplasma der meisten Pflanzenzellen stirbt ab, wenn das Wasser in den Zellen zu Eis erstarrt ist und nachträglich ein schnelles Aufthauen eintritt. Die Lösungen der Diastase können hingegen gefrieren und schnell aufgethaut werden, ohne dass das Ferment eine nachweisbare Schwächung in seinem stärkeumbildenden Vermögen erfährt.

§ 10. Der Einfluss verschiedener Substanzen auf den Process der Stärkeumbildung durch Diastase.

Ich habe schon im 7. Bande der Zeitschrift für physiologische Chemie darauf hingewiesen, dass der Process der Amylumumbildung durch Diastase zu Stande kommen kann, wenn die Versuchsflüssigkeit eine schwach alkalische Reaction besitzt und ebenso specieller auf die Vorsichtsmaassregeln aufmerksam gemacht, welche bei der Ausführung bezüglicher Beobachtungen Berücksichtigung finden müssen. Wenn man dem Gemisch des Kleisters und des Malzextracts übrigens eine irgendwie bedeutendere alkalische Reaction ertheilt, so wird dadurch jede Wirkung des Ferments auf das Amylum aufgehoben.

In merkwürdig hohem Grade widerstandsfähig erweist sich die Diastase, wie ich bereits im 5. Bande der Forschungen auf dem Gebiete der Agriculturphysik angegeben habe, der Einwirkung des Chloroforms gegenüber. Weitere Beobachtungen haben bestätigende Resultate geliefert. Ich habe Gemische von Kleister und Chloroform einerseits und andererseits Gemische von Malzextract und Chloroform 20 Stunden lang unter häufigerem Umschütteln stehen gelassen und die Flüssigkeiten darauf vermischt. Es trat die Umbildung der Stärke durch das Ferment noch ein. Diese Thatsache beansprucht ein hohes Interesse, als das Protoplasma der Pflanzenzellen, wie ich schon früher gezeigt habe, durch die Einwirkung des Chloroforms in seinen Functionen mindestens sehr beeinträchtigt wird oder gar seine Lebensthätigkeit völlig einbüsst (vgl. Band 5 der Forschungen). Es kommt hier namentlich auf die vorhandenen Chloroformmengen an, denn während grössere Quantitäten dieses Stoffes die Pflanzenzellen tödten, können selbst gequollene Samen unter dem Einfluss kleinerer Chloroformquantitäten noch zur Keimung gelangen.

Ebenso wie erhebliche Chloroformmengen die Wirksamkeit der Diastase nicht aufheben, vermögen dies auch beträchtliche Schwefelkohlenstoff-, Alkohol- und Benzolmengen nicht. Die bezüglichen Versuche sind in genau entsprechender Weise wie diejenigen, bei deren Ausführung Chloroform benutzt wurde, angestellt worden. Es ist übrigens wahrscheinlich, dass Chloroform, Schwefelkohlenstoff, Alkohol und Benzol die Wirkung der Diastase auf das Amylum etwas beeinträchtigen. Aber auf keinen Fall üben selbst grössere Mengen jener Flüssigkeiten, wenn sie auch längere Zeit mit der Diastase in Berührung bleiben, einen sehr nachtheiligen Einfluss auf das Ferment aus.

Vierter Abschnitt.

Der Einfluss der Beleuchtungsverhältnisse auf das Wachsthum und die Zuckerbildung bei der Keimung der Knollen von *Solanum tuberosum* und auf die Entstehung der Diastase in Pflanzenzellen.

§ 11. Der Einfluss der Beleuchtungsverhältnisse auf das Wachsthum sowie die Zucker- und Fermentbildung bei der Keimung der Kartoffelknollen.

a. Das Wachsthum keimender Kartoffelknollen.

Schacht hat im Jahre 1855 die Angabe gemacht, dass im Dunkeln verweilende Kartoffelknollen viel schneller keimen als solche, die dem Einflusse des Lichtes ausgesetzt sind. Er gelangte zu diesem Resultat, indem er einerseits Kartoffelknollen in starkem Packpapier eingewickelt, andererseits aber Knollen der nämlichen Varietät bei Lichtzutritt den Keimungsbedingungen aussetzte. Den Beobachtungen Schacht's gegenüber lassen sich mancherlei Bedenken geltend machen und namentlich ist hervorzuheben, dass der Experimentator nicht ausreichend für einen gleichmässigen Feuchtigkeitszustand seiner Untersuchungsobjecte Sorge trug. Werthvoll sind dagegen die Versuche von Sachs¹⁾ über den Einfluss der Beleuchtungsverhältnisse auf das Austreiben der Knospen von keimenden Kartoffelknollen. Bei den von diesem Forscher unter Berücksichtigung der erforderlichen Vorsichtsmaassregeln angestellten Versuchen stellte sich namentlich heraus, dass das Licht die Entwicklung der Triebe der keimenden Knollen in ganz erheblicher Weise behindert, während im Dunkeln sehr lange Sprosse aus den Knospen hervorgehen.

Ich habe ebenfalls Versuche über den Einfluss der Beleuchtungsverhältnisse auf die Keimung der Knollen von *Solanum tuberosum* angestellt, und zwar benutzte ich zwei Kartoffelvarietäten (eine gelbe und eine rothgefleckte Sorte) zu meinen Experimenten. Die Knollen wurden den Keimungsbedingungen in Kästen von 6,5 Cm. Höhe, 34 Cm. Länge und 24 Cm. Breite ausgesetzt. Jeder Kasten hatte zwei Fächer, indem parallel zu den beiden Seitenwandungen in der Mitte jedes Kastens eine Scheidewand

¹⁾ Vgl. Sachs: Botanische Zeitung. 1863. Beilage, S. 15.

aus dicker Pappe aufgerichtet war. Jedes Fach der Kästen wurde mit einer Glasplatte bedeckt. Eine der Glasplatten jedes Kastens war aber, um den Zutritt des Lichtes zu den darunter befindlichen Kartoffelknollen auszuschliessen, mit vielen Bogen weissen Papiers oder mit dicker Pappe beklebt. Den Knollen wurde zu Beginn sowie im Verlaufe der Versuche kein Wasser zugeführt. Die Kästen standen im Zimmer vor dem Fenster, und ich habe namentlich noch dafür Sorge getragen, dass sie fast ausschliesslich von diffusem Lichte getroffen wurden. Die Versuche mit den gelben Kartoffeln begannen am 19. November 1882; die Knollen sind bis in den Sommer 1883 hinein beobachtet worden. Die Versuche mit den rothgefleckten Kartoffelknollen begannen am 1. Mai und dauerten bis zum 31. Juli, also 3 Monate lang. In jedem Fache eines jeden Kastens befanden sich 20 mittelgrosse Knollen.

Einen wesentlichen Unterschied mit Rücksicht auf die Keimfähigkeit und Keimungsenergie der Kartoffelknollen im Licht und im Dunkeln war nicht zu constatiren, d. h. die Anzahl der Knospen, welche unter den verschiedenen Versuchsbedingungen zur Entwicklung gelangte, war nahezu dieselbe ¹⁾ und ebenso begann die Keimung der bei Lichtzutritt sowie der im Dunkeln verweilenden Knollen zur selben Zeit. Dagegen liess sich in anderer Hinsicht ein sehr verschiedenartiges Verhalten der Knollen im Licht und im Dunkeln feststellen. Die ersteren nahmen nämlich in Folge der Bildung von Chlorophyllfarbstoff alsbald ein grünliches Aussehen an, während die Knollen im Dunkeln ihre ursprüngliche Färbung beibehielten. Ausserdem war die Evolutionsintensität der sich im Licht entwickelnden Triebe eine ganz andere wie diejenige der im Dunkeln zur Ausbildung gelangenden. Während der Versuche mit den beiden Kartoffelknollenvarietäten und bei Abschluss derselben liess sich nämlich übereinstimmend constatiren, dass die Triebe der Dunkelknollen sich viel kräftiger als diejenigen der Lichtknollen entwickelten. Messungen und Wägungen der Sprosse der rothgefleckten Kartoffeln, die am 31. Juli, also bei Abschluss der Beobachtungen, vorgenommen wurden, ergaben, dass die Sprosse der Dunkelknollen etwa vier

¹⁾ Es sei hier noch bemerkt, dass bei der Keimung der Kartoffelknollen hauptsächlich solche Knospen zur Entwicklung gelangen, welche in den Augen vereinigt sind, die ihren Platz am oberen Theil der Knollen, d. h. an demjenigen Ende derselben haben, welches dem Nabelende entgegengesetzt ist.

Mal länger und doppelt so schwer wie diejenigen der Lichtknollen waren. Man hat es hier aber nicht, was besonders betont werden muss, mit einem Unterschiede zu thun, wie er sonst zwischen etiolirten und normal entwickelten Pflanzenindividuen besteht, sondern es zeigt sich auf den ersten Blick bei dem Vergleich der einerseits im Dunkeln, andererseits bei Lichtzutritt zur Entwicklung gelangten Sprosse der Kartoffelknollen, dass hier ganz andere Verhältnisse vorliegen. Die im Dunkeln erwachsenen Triebe zeigen freilich Etiolirungserscheinungen. Die im Licht zur Ausbildung gelangten Triebe sind aber nichts weniger als normal entwickelt, vielmehr zeigen sie ein durchaus verkümmertes Aussehen, was sich namentlich in der höchst unbedeutend eingetretenen Streckung der Stengeltheile und dem dadurch bedingten sehr gedrunghenen Bau der Triebe ausprägt. Die Triebe der Kartoffelknollen müssen eben, wenn das Gesamtwachsthum der Pflanze normal erfolgen soll, ihre erste Entwicklung im Dunkeln durchmachen; Lichtzutritt behindert dieselbe aber in hohem Grade.

b. Die Zuckerbildung bei der Keimung der Kartoffelknollen im Licht und im Dunkeln.

Es war für mich von besonderem Interesse der Frage näher zu treten, welche Ursachen das beschränkte Wachsthum der Sprosse solcher Kartoffelknollen, die dem Einfluss des Lichtes ausgesetzt sind, bedingen. In dieser Beziehung liegt nun die Annahme nahe, dass die Triebe sich im Licht deshalb kümmerlich ausbilden, weil ihnen keine genügenden Mengen plastischen Materials, namentlich keine hinreichenden Zuckerquantitäten, aus der Knolle zuströmen. Ich habe deshalb Beobachtungen über den Zuckergehalt (Glycosegehalt) der im Licht einer- sowie der im Dunkeln andererseits verweilenden Knollen angestellt. Es sind stets zwei Knollen (eine Dunkel- und eine Lichtknolle) neben einander untersucht worden. Wenn die Keimung der Knollen bereits eingetreten war, so wurden die Triebe zusammen mit den Knollen in Untersuchung gezogen ¹⁾. Jede Knolle wurde auf einem Reibeisen zu einem feinen Brei zerrieben und demselben 70 Ccm. Wasser hinzugefügt. Nach Verlauf einer Stunde erfolgte das Abfiltriren der vorhandenen Lösung. 10 Ccm. der gewonnenen vollkommen

¹⁾ Die Keimung der gelben Kartoffelknollen begann im Laufe des Januar 1883.

klaren Flüssigkeit dienten unter Zuhilfenahme Fehling'scher Lösung zur Zuckerbestimmung.

Versuche mit gelben Kartoffeln:

Tag der Untersuchung.	Zuckerbestimmung in den Knollen, die	
	bei Lichtzutritt	im Dunkeln
	verweilt hatten	
13. December 1882	Wenig Zucker.	Wenig Zucker.
15. " " . .	Kein " "	Kein " "
19. " " . .	Kein " "	Kein " "
2. März 1883 . .	Kein " "	Kein " "
26. Juli " . .	Kein " "	Viel " "
29. " " . .	Kein " "	Viel " "
1. August " . .	Kein " "	Viel " "

Versuche mit rothgefleckten Kartoffeln:

Tag der Untersuchung.	Zuckerbestimmung in den Knollen, die	
	bei Lichtzutritt	im Dunkeln
	verweilt hatten	
3. Juli 1883 . .	Kein Zucker.	Viel Zucker.
9. " " . .	Kein " "	Viel " "
17. " " . .	Kein " "	Viel " "
23. " " . .	Kein " "	Viel " "

Die vorstehenden Angaben lassen also keinen Zweifel darüber bestehen, dass das Licht einen grossen Einfluss auf den Zuckergehalt der keimenden Kartoffelknollen ausübt. Auf die Zuckerbildung der keimenden Kartoffelknollen im Allgemeinen komme ich noch im fünften Abschnitte zurück. Hier ist zunächst allein die Thatsache von Interesse, dass Knollen, welche längere Zeit im Dunkeln verweilt haben, reichliche Zuckerquantitäten führen, während die dem Einfluss des Lichtes ausgesetzt gewesenen Knollen keinen Zucker enthalten. Nur einmal (bei einer am 12. Juli vorgenommenen Untersuchung rothgefleckter Kartoffeln) fand ich in der Lichtknolle eine Spur Zucker, während die Dunkelknolle wie gewöhnlich sehr zuckerreich war.

c. Die Diastasebildung bei der Keimung der Kartoffelknollen.

Da der Zucker unter Vermittelung der Diastase aus der Stärke der Kartoffelknollen hervorgeht, so liegt es nahe, den Zuckermangel in den bei Lichtzutritt verweilenden Kartoffelknollen auf eine durch das Licht bedingte beschränkte Fermentbildung in den Zellen der Knollen oder auf eine durch Lichteinfluss hervorgeru-

fene Schwächung der Wirksamkeit der Diastase zurückzuführen. Diese Anschauungen schliessen freilich eine Zuckerbildung in den Knollen nicht völlig aus; aber dieselbe wäre nach den obigen Annahmen auf jeden Fall nur eine unbedeutende und reichte höchstens hin, um eine beschränkte Menge des für das Wachsthum sowie die Athmung der keimenden Knollen erforderlichen Materials zu liefern. Ich werde im nächsten Paragraphen zeigen, dass das Licht keinen nachweisbaren Einfluss auf die Wirksamkeit einer gegebenen Diastasequantität geltend zu machen im Stande ist. Ebenso konnte ich constatiren, dass die Beleuchtungsverhältnisse die Diastasebildung nicht nachweisbar beeinflussen. Es wurden z. B. gleiche Mengen der Extracte, die aus den im Licht und im Dunkeln gekeimten Kartoffeln gewonnen waren (vgl. unter b) mit wenig Stärkekleister vermischt, und der Verlauf der Amylumumbildung in den Flüssigkeiten mit Hülfe der Jodreaction verfolgt. Ein wesentlicher Unterschied im Fortgang des in Rede stehenden Processes war nicht festzustellen, während dies doch hätte der Fall sein müssen, wenn z. B. bei Lichtzutritt in den Zellen der Kartoffelknollen weniger Diastase als im Dunkeln gebildet worden wäre.

Wir gelangen also zu der Annahme, dass bei der Keimung der Kartoffelknollen im Licht einer- und im Dunkeln andererseits die gleichen Zuckermengen entstehen. Da aber in den Lichtknollen kein Zucker nachgewiesen werden kann, und überdies nach dem früher Mitgetheilten in den Lichtknollen weniger Zucker für die Zwecke des Wachsthums der Triebe als in Dunkelknollen verbraucht wird, so folgt, dass das Licht auf irgend welche Prozesse in den Zellen der Knollen einen wesentlichen Einfluss ausüben muss, welche einen beschleunigten Verbrauch des einmal gebildeten Zuckers herbeiführen, einer Zuckeransammlung in den Zellen dagegen entgegenwirken. Es kommen hier zwei Prozesse in Betracht. Einmal ist es nämlich möglich, dass das Licht die Stärkerückbildung in den Zellen der Kartoffelknollen begünstigt; weiter könnte das Licht die Athmungsenergie der Zellen steigern und dadurch einer Zuckeranhäufung entgegenwirken. Mit Rücksicht auf den ersteren Punkt verdienen namentlich die schönen Untersuchungen Müller (Thurgaus)¹⁾ Beachtung, welche ergeben haben, dass der in den von der Mutterpflanze abgelösten Kartoffel-

¹⁾ Vgl. Müller (Thurgau), Landwirthschaftl. Jahrbücher. B. 11, S. 806.

knollen entstandene Zucker, nicht allein für die Athmung und die Zwecke des Wachsthum's Verwendung finden kann, sondern dass derselbe auch aufs Neue in Stärke überzugehen vermag. Andererseits kann die Zuckerabwesenheit in den bei Lichtzutritt keimenden Kartoffelknollen Folge einer durch das Licht bedingten Steigerung der Athmungsenergie der Zellen sein, denn obgleich ich gezeigt habe, dass das Licht die Athmung der Pflanzen im Allgemeinen nicht beeinflusst, giebt es nach meinen Beobachtungen dennoch einzelne Pflanzentheile, die im Licht lebhafter als im Dunkeln athmen¹⁾.

Nach alledem ist das beschränkte Wachsthum der Triebe keimender Kartoffelknollen bei Lichtzutritt Folge des Mangels an hinreichend grossen Zuckermengen. Freilich entstehen ursprünglich in den keimenden Knollen bei Lichtzutritt wie im Dunkeln die nämlichen Zuckerquantitäten, indessen im Licht wird durch erhöhte Athmung oder beschleunigte Stärkeregeneration — was noch specieller zu untersuchen ist — weit mehr Zucker als im Dunkeln verbraucht, so dass sich derselbe im ersteren Falle nicht in den Zellen anhäufen kann und nur ein beschränktes Wachsthum der jungen Triebe ermöglicht.

§ 12. Weitere Beobachtungen über den Einfluss der Beleuchtungsverhältnisse auf fermentative Prozesse.

Mit Rücksicht auf die im letzten Paragraphen angestellten Beobachtungen erschien es mir von Wichtigkeit, weiteres Material zur Begründung der Ansicht zu sammeln, dass die Beleuchtungsverhältnisse keinen Einfluss auf die Bildung der Diastase in manchen Pflanzenzellen sowie auf den Verlauf des Vorgangs der Amylumumbildung durch Diastase überhaupt geltend machen.

Je 30 Weizenkörner wurden 24 Stunden lang eingequollen und darauf 5 Tage lang normalen Keimungsbedingungen ausgesetzt. Während dieser Zeit verweilten 30 Körner stets im Dunkeln (a), andere 30 Körner dagegen wurden am Tage von diffusem Licht getroffen (b). Nach 5 Tagen wurden 16 Keimpflanzen von a und b mit je 20 Ccm. Wasser in einem Mörser zerquetscht, und je 10 Ccm. der abfiltrirten Flüssigkeiten mit 10 Ccm. Stärkekleister vermischt. Mit Hülfe der Jodreaction liess sich zeigen, dass der Extract aus den Keimpflanzen von a ebenso schnell stärkeumbildend wie der-

¹⁾ Vgl. Detmer, Sitzungsber. d. Jenaischen Gesellschaft f. Medicin und Naturwissenschaft. 1881.

jenige von b wirkte. Eine zweite Versuchsreihe führte zu dem nämlichen Resultat.

Ferner habe ich je 5 Ccm. Malzextract auf je 25 Ccm. Stärkekleister unter sonst gleichen Umständen einerseits im Dunkeln, andererseits im diffusen Licht einwirken lassen. Es konnte kein Unterschied im Verlaufe des Processes der Stärkeumbildung durch Diastase im Licht und im Dunkeln constatirt werden.

Weitere Versuche sind in folgender Weise angestellt worden. Zu einer grösseren Quantität Malzextract wurde ein Ueberschuss von Alkohol hinzugefügt, und der entstandene Niederschlag, welcher die Diastase enthielt, auf einem Filter gesammelt, mit Alkohol ausgewaschen und getrocknet. Die getrocknete Masse wurde nach dem Zerpulvern mit Wasser übergossen und durch Filtration schliesslich eine vollkommen klare diastasehaltige Flüssigkeit gewonnen. Gleiche Quantitäten der Lösung verweilten in dicht verschlossenen Glasgefässen einerseits im Dunkeln, andererseits bei Lichtzutritt. Die Lösungen blieben diesen Bedingungen 4 Tage, in anderen Versuchen sogar 10 Tage lang ausgesetzt und wurden dann auf ihre stärkeumbildende Kraft untersucht. Es stellte sich heraus, dass bestimmte Mengen der Lösungen, die bei Lichtzutritt verweilt hatten, ebenso schnell amyllumbildend wirkten wie entsprechende Quantitäten der im Dunkeln gehaltenen Flüssigkeiten.

Wenn die ursprünglich klaren Fermentlösungen einige Zeit im Licht oder im Dunkeln verweilt haben, so trüben sie sich, eine Erscheinung, die, wie wir schon früher gesehen haben, unter erheblicher Spaltpilzbildung zu einer Steigerung des Säuregehaltes der Flüssigkeiten führt. Die Säurebildung ist Folge der Spaltpilzvegetation und ruft eine gesteigerte Wirksamkeit der Diastase auf Stärkekleister hervor, vorausgesetzt natürlich, dass die Erhöhung des Säuregehaltes der Lösungen nicht zu erheblich geworden ist. Wenn nun diastasehaltige Lösungen, die während längerer Zeit im Licht oder im Dunkeln verweilt haben, nachträglich die nämliche stärkeumbildende Kraft besitzen, so folgt daraus, wie hier beiläufig bemerkt werden möge, dass die Beleuchtungsverhältnisse keinen Einfluss auf die Entwicklung der vorhandenen Spaltpilzvegetation ausüben. Beeinträchtigte Lichtzutritt z. B. die Spaltpilzentwicklung, so würde sich in einer diastasehaltigen Lösung bei Lichtzutritt auch weniger Säure als im Dunkeln anhäufen, und die stärkeumbildende Kraft einer längere Zeit dem Licht ausgesetzt gewesenen Fermentlösung müsste, was nach meinen Unter-

suchungen nicht der Fall ist, schwächer oder stärker sein als diejenige einer gleichen Fermentlösung, die im Dunkeln verweilt hatte.

Fünfter Abschnitt.

Die Diastasebildung in den Pflanzenzellen.

§ 13. Die Zucker- und Diastasebildung in keimenden Kartoffelknollen.

Die Frage nach der Entstehung des Zuckers (Glycose) in keimenden Kartoffelknollen ist bereits von verschiedenen Beobachtern behandelt worden, indessen da selbst mit Rücksicht auf die bei den bezüglichen Untersuchungen zu constatirenden That-sachen noch Meinungs-differenzen herrschen, so erschien es mir im Zusammenhang mit meinen Arbeiten über fermentative Prozesse von Wichtigkeit, die obige Frage nicht aus dem Auge zu lassen. Ich will meine Beobachtungsergebnisse zunächst in Kürze mittheilen, um dieselben dann einer Discussion zu unterziehen.

Aus einer Kartoffelknollenmenge von 50 Kilogramm (gelbe Kartoffeln) wurden 42 Stück ausgewählt und in einem lose bedeckten Kasten bei Lichtabschluss im Zimmer aufbewahrt. Die Versuche begannen am 19. November 1882 mit ungekeimten Knollen. Im Laufe des Januar 1883 begann die Keimung der Kartoffeln, so dass vom 23. Januar ab gekeimte Kartoffeln untersucht werden konnten. Von Zeit zu Zeit prüfte ich nämlich die Knollen auf Zuckergehalt. Entweder kam dabei je eine ganze Knolle zur Verwendung, oder es sind nur die ausgeschnittenen Augen, resp. Triebe der Knollen untersucht worden¹⁾. Das Untersuchungsmaterial wurde auf einem Reibeisen zerrieben, und der erhaltene Brei mit 70 Cc. Wasser (wenn eine ganze Knolle untersucht wurde) oder mit 50 Cc. Wasser (wenn die Augen, resp. Triebe einer Knolle zur Verwendung kamen) vermischt. Nach Verlauf einer Stunde erfolgte das Abfiltriren der vorhandenen Flüssigkeit. Je 10 Cc. der vollkommen klaren, stets sauer reagirenden Filtrate dienten unter Benutzung Fehling'scher Lösung zu den Zuckerbestim-

¹⁾ Die Augen, resp. Triebe wurden in Verbindung mit einem kleinen Theile des Knollengewebes ausgeschnitten.

mungen. Für meinen Zweck waren genaue Bestimmungen nicht erforderlich, vielmehr genügte die Ermittlung der in der folgenden Tabelle zusammengestellten Daten:

Zuckerbestimmungen in den Kartoffelknollen:

Tag der Untersuchung.	Untersuchungsobjecte.	Zuckergehalt.
22. November 1882 .	Augen einer Knolle . . .	Viel Zucker.
29. " " .	" " " . . .	Spur Zucker.
4. December " .	" " " . . .	Spur Zucker.
6. " " .	" " " . . .	Kein Zucker.
2. Januar 1883 . .	Eine ganze Knolle mit Augen	Kein Zucker.
5. " " . .	" " " " "	Kein Zucker.
9. " " . .	" " " " "	Kein Zucker.
23. " " . .	Triebe einer Knolle . . .	Kein Zucker.
26. " " . .	" " " . . .	Wenig Zucker.
4. März " . .	" " " . . .	Wenig Zucker.
7. Juni " . .	" " " . . .	Viel Zucker.
4. Juli " . .	" " " . . .	Viel Zucker.

Mit Bezug auf das Vorhandensein von Diastase in den Kartoffelknollen ist zunächst zu bemerken, dass die Gegenwart des Zuckers in denselben zu Beginn der Beobachtungen von vornherein auf die Anwesenheit des Ferments schliessen lässt, denn der Zucker entsteht ja aus der Stärke unter Vermittelung der Diastase. Freilich wollte es mir im Laufe des Januar nicht gelingen, in den Knollen das Vorhandensein von Diastase direct zu constatiren, indem bei verschiedenen Versuchen, die am 2. und 9. Januar angestellt wurden, in Gemischen von je 20 Cc. Extract aus ganzen Knollen und je 5 Cc. Stärkekleister selbst nach Verlauf von 24 Stunden kein Zucker nachgewiesen werden konnte und ebenso keine Veränderung der Jodreaction zu bemerken war. Aber es ist wohl sicher, dass die Knollen zur angegebenen Zeit nur zu kleine Diastasemengen enthielten, um das Vorhandensein derselben mit Hülfe der uns zur Verfügung stehenden Methoden nachweisen zu können. Wenn die Keimung der Kartoffelknollen begonnen hatte, so bildeten sich allmählich grössere Fermentmengen in ihren Zellen. Im März liess sich das Vorhandensein der Diastase in den Knollen schon sicher feststellen; später nahm die Menge der Diastase entschieden zu.

Für die Beurtheilung der Frage nach dem Zuckergehalt der reifen und keimenden Kartoffelknollen sind die vorhandenen Angaben über das Auftreten der Diastase in den Knollen natürlich

nicht ohne Bedeutung. Namentlich sind aber für die erwähnte Frage jene Resultate von Wichtigkeit, zu denen Müller (Thurgau) (vgl. landwirthschaftl. Jahrbücher B. 11) kürzlich bei seinen schönen Untersuchungen über Zuckeranhäufung in Pflanzenzellen gelangt ist. Ich setze voraus, dass der Leser der Hauptsache nach mit dem Inhalt der erwähnten Arbeit bekannt ist, und bemerke hier nur, dass sich nach Müller Zucker in den Zellen solcher Pflanzentheile ansammeln muss, die niederen Temperaturen ausgesetzt werden, weil unter diesen Umständen namentlich der Athmungsprocess der Zellen ausserordentlich herabgedrückt wird, und somit der grösste Theil des gebildeten Zuckers als solcher erhalten bleibt. Ich kann die Angaben Müller's vollkommen bestätigen, dass in Kartoffelknollen, die keinen Zucker enthalten, eine erhebliche Zuckeransammlung erfolgt, wenn die Untersuchungsobjecte längere Zeit hindurch einer Temperatur von nur 0—3° C. ausgesetzt werden, und dass ebenso die Zuckermenge in zuckerarmen Knollen unter dem Einflusse niederer Temperaturen bedeutend wächst. Bei niederer Temperatur ist freilich die Zuckerbildung in den Zellen geringfügiger als bei höherer Temperatur, aber in Folge der sehr beschränkten Athmung der Zellen tritt unter den ersteren Umständen trotzdem eine Zuckeranhäufung in den Knollen ein, während der gebildete Zucker bei höherer Temperatur seiner Gesammtmenge nach verbraucht werden kann.

Dass in den von mir untersuchten Kartoffelknollen bei Beginn der Versuche Zucker vorhanden war, ist leicht begreiflich, da die Knollen, bevor ich dieselben in die Hand bekam, in einem kalten Raum verweilt hatten. Von Anfang der Versuche ab verweilten die Knollen nun aber in einem warmen Zimmer, und jetzt verschwand der Zucker alsbald aus ihren Zellen. Das Verhältniss zwischen Zuckerbildung einer- und Zuckerverbrauch andererseits war ein derartiges, dass Zuckeranhäufung nicht stattfinden konnte. Wenn nun aber mit beginnender Keimung der Knollen die Zuckerbildung in Folge der Entstehung beträchtlicherer Fermentmengen in den Zellen bedeutender wurde, so konnte nicht mehr der sämmtliche erzeugte Zucker, selbst bei höherer Temperatur, verbraucht werden, und er häufte sich aus diesem Grunde in den Untersuchungsobjecten immer mehr und mehr an.

Bei der Beurtheilung der Frage nach dem Zuckergehalt der Kartoffelknollen ist nach alledem also Gewicht zu legen auf die äusseren Umstände, denen sich die Knollen ausgesetzt befinden, und auf das durch diese Umstände sowie durch die specifischen

Eigenschaften der Kartoffelsorten und Individuen bedingte Verhältniss zwischen Zuckerbildung einer- und Zuckerverbrauch andererseits. Die Zuckerbildung ihrerseits ist in ihrer Grösse zumal abhängig von der vorhandenen Diastasemenge, während die Grösse des Zuckerverbrauchs sich von der Athmungsenergie der Zellen, von der Lebhaftigkeit, mit der die Prozesse der Stärke-regeneration erfolgen, sowie von dem Verlaufe der Wachsthumsvorgänge bei der Keimung der Kartoffelknollen abhängig erweist. Die Resultate, zu denen man bei der Untersuchung der Kartoffelknollen auf Zucker gelangt, können demnach nur verstanden werden, wenn man in jedem einzelnen Falle die soeben geltend gemachten Momente speciell berücksichtigt. Dabei ist aber mit grosser Vorsicht zu verfahren, denn ich habe mich davon überzeugt, dass selbst im Zuckergehalt verschiedener Individuen einer Kartoffelvarietät wesentliche Differenzen bestehen können. Gewöhnlich enthalten z. B. die Kartoffelknollen vom Beginn der Keimung an mehr oder minder grosse Zuckermengen. Ich habe aber auch Kartoffelknollen gefunden, die im Dunkeln verweilt hatten, und trotz begonnener Entwicklung ihrer Triebe absolut zuckerfrei waren. Offenbar findet in solchen Individuen eine verhältnissmässig beschränkte Diastasebildung statt, und die erzeugte relativ geringe Zuckerquantität kann ihrer Gesamtmenge nach unter den herrschenden äusseren Umständen (nicht zu niedrige Temperatur) verbraucht werden.

Die älteren Angaben über das Auftreten des Zuckers in den Kartoffelknollen sind von H. de Vries (landwirthschaftl. Jahrbücher B. 7, S. 227) zusammengestellt worden. Nach dem Gesagten kann hier wohl auf eine Discussion dieser Angaben verzichtet werden; zum Theil ist eine solche auch gar nicht durchzuführen, weil die Autoren sich nicht genau genug über die Bedingungen ausgesprochen haben, denen ihr Beobachtungsmaterial vor der Untersuchung ausgesetzt gewesen war.

§ 14. Der Einfluss des atmosphärischen Sauerstoffes auf die Entstehung der Diastase in den Pflanzenzellen.

Für die vergleichende Untersuchung der Stoffwechselprocesse, welche sich in den einerseits bei Zutritt des freien atmosphärischen Sauerstoffes, andererseits bei Abschluss desselben verweilenden Pflanzenzellen abspielen, besitzt natürlich die Frage nach der Entstehung stärkeumbildender Fermente unter den bezeichneten verschiedenen Bedingungen eine recht grosse Bedeutung. Ich habe

dieser Frage daher ein besonderes Interesse zugewendet und die wichtigsten Resultate meiner Untersuchungen bereits in Nr. 37 des laufenden Jahrgangs der botanischen Zeitung mitgetheilt.

Wortmann (vgl. Zeitschrift f. physiologische Chemie, B. 6, S. 306) giebt an, dass die Bacterien nur bei Zutritt der Luft, nicht aber bei Abwesenheit des freien Sauerstoffs im Stande sind, ein stärkeumbildendes Ferment zu erzeugen. Baranetzky (vgl. dessen Abhandlung: Die stärkeumbildenden Fermente in den Pflanzen, 1878, S. 19) hat ferner darauf aufmerksam gemacht, dass Gerstenkeimpflanzen, die, in grösserer Masse zusammengehäuft, zur Entwicklung gebracht worden waren, diastaseärmer als solche Gerstenkeimpflanzen sind, welchen bei ihrer Entwicklung reichlichere Mengen freien Sauerstoffs zur Disposition standen. Diese Thatsache kann wohl dahin gedeutet werden, dass der Sauerstoff begünstigend auf den Process der Fermententstehung einwirkt, aber sie lässt in dieser Hinsicht gar keine sichere Schlussfolgerung zu, denn es ist z. B. möglich, dass die in grösseren Massen zusammengehäuften und zum Keimen gebrachten Untersuchungsobjecte nur deshalb fermentärmer sind, weil eine zu bedeutende Erwärmung derselben die Fermentbildung beeinträchtigte.

Als Untersuchungsobjecte dienten mir zur Beantwortung der Frage, ob Sauerstoffzutritt und Sauerstoffabwesenheit einen nachweisbaren Einfluss auf die Diastasebildung in den Zellen höherer Pflanzen geltend zu machen vermögen, die Körner, resp. Keimpflanzen von *Triticum vulgare*. Je 20—30 Stück wohlausgebildeter Körner von möglichst gleicher Grösse wurden in retortenartige Gefässe von ca. 90 Ccm. Capacität gebracht, und die Gefässe dann mit ausgekochtem und wieder völlig abgekühltem destillirtem Wasser angefüllt. Die Apparate wurden jetzt derartig aufgestellt, dass ihre Mündungen unter Quecksilber tauchten. Nach Verlauf von 24 Stunden, in welcher Zeit die ursprünglich lufttrockenen Früchte in den gequollenen Zustand übergegangen waren, wurde das Wasser in den retortenartigen Gefässen bis auf einen ganz kleinen Rest durch atmosphärische Luft oder reines Wasserstoffgas verdrängt. Die geringe Wassermenge blieb in den Apparaten zurück, um die Untersuchungsobjecte vor dem nachtheiligen Einflusse von Quecksilberdämpfen zu schützen.

Den Wasserstoff stellte ich durch Uebergiessen arsenfreien Zinks mit verdünnter Schwefelsäure dar. Zur völligen Reinigung, namentlich zur Beseitigung eventuell vorhandener Spuren von Schwefelwasserstoff und Kohlenwasserstoffen, wurde das Gas vor

der Verwendung zunächst durch eine wässrige Lösung von salpetersaurem Silberoxyd und dann durch eine wässrige Lösung von übermangansaurem Kali geleitet. Sämmtliche Versuche sind bei einer Temperatur von etwa 20 ° C. und bei Lichtabschluss durchgeführt worden.

Von den zahlreichen Versuchen, welche ich zur Beantwortung der gestellten Frage ausführte, mögen hier nur wenige specielle Erwähnung finden, da alle der Hauptsache nach das nämliche Resultat lieferten.

Am 25. Juni wurden 25 Weizenkörner eingequollen und das Wasser in dem retortenartigen Gefässe am 26. Juni durch atmosphärische Luft verdrängt. Am 29. Juni wurden 20 Stück der Keimpflanzen in einem Mörser mit 20 Ccm. Wasser zerquetscht, um die gewonnene Lösung abzufiltriren. 5 Ccm. des Filtrats wurden mit 10 Ccm. Stärkekleister versetzt (a). Andere 5 Ccm. des Filtrats wurden nach Hinzufügung einer Spur Citronensäure mit 10 Ccm. Stärkekleister versetzt (b). Der Verlauf des Processes der Amylumumbildung konnte mit Hülfe der Jodreaction verfolgt werden.

Beginn der Versuche um 2 U. 30 M.

		Jodreaction von	
		a	b
29.	2 U. 40 M.	Blau.	Violett.
„	3 „ 50 „	Violett.	Braun.
„	5 „ 30 „	Braun.	Gelb.
30.	10 „ — „	Gelb.	Gelb.

Dieser Versuch lehrt also, dass Weizenkörnerpflanzen nicht unerhebliche Diastasemengen enthalten, und dass die aus Weizenkeimpflanzen gewonnenen Diastaselösungen ebenso wie die aus Gerstenkeimlingen hergestellten, auf Zusatz kleiner Säuremengen energischer stärkeumbildend wirken als ohne diesen Säurezusatz.

Am 2. Juli wurden in zwei retortenartige Gefässe (a und b) je 30 lufttrockene Weizenkörner gebracht, und die ersteren mit Wasser angefüllt. Am 3. Juli wurde das Wasser des Apparates a durch atmosphärische Luft, dasjenige des Apparates b durch reines Wasserstoffgas verdrängt. Die Gefässe blieben, mit ihren Mündungen unter Quecksilber getaucht, bis zum 5. Juli ruhig stehen. Nach Verlauf dieser Zeit hatte sich der Embryo der Körner von a beträchtlich entwickelt; im Wasserstoffgas war hingegen keine Evolution der Embryonen eingetreten. Es gelangten nunmehr nicht sämmtliche Untersuchungsobjecte, sondern nur je 20

Körner von a und b zu den weiteren Beobachtungen zur Verwendung. Ausserdem wurden noch 20 ungekeimte, lufttrockene Weizenkörner in Untersuchung gezogen (c). Je 20 Weizenkeimpflanzen, resp. Weizenkörner von a, b und c wurden mit je 20 Ccm. Wasser in einem Mörser sorgsam zerquetscht, um die gewonnenen Lösungen nach einiger Zeit abzufiltriren. Die resultirenden klaren Flüssigkeiten mussten das diastatische Ferment der Untersuchungsobjecte enthalten. Um über die Quantität des vorhandenen Ferments Aufschluss zu erlangen, stellte ich die folgenden Beobachtungen an:

1. 5 Ccm. des Extracts derjenigen Keimpflanzen, die sich in Contact mit atmosphärischer Luft entwickelt hatten, wurden mit 10 Ccm. dünnflüssigen Stärkekleisters (bereitet durch Kochen von Stärkekleister mit Wasser) vermischt;

2. 5 Ccm. des Extracts der Untersuchungsobjecte, die in Wasserstoffgas verweilt hatten, wurden mit 10 Ccm. des Kleisters vermischt;

3. 5 Ccm. des Extracts derjenigen Untersuchungsobjecte, die sich mit Wasserstoffgas in Contact befunden hatten, wurden aus Gründen, die weiter unten hervorgehoben werden sollen, zunächst mit einer Spur Citronensäure versetzt und dann mit 10 Ccm. des Kleisters vermischt;

4. 5 Ccm. des Extracts aus den ruhenden Weizenkörnern wurden mit 10 Ccm. des Kleisters vermischt;

5. 5 Ccm. des Extracts aus den ruhenden Weizenkörnern wurden zunächst mit einer Spur Citronensäure versetzt und dann mit 10 Ccm. des Kleisters vermischt.

Das diastatische Ferment konnte unter den bezeichneten Umständen umbildend auf das Amylum einwirken. Mit Hülfe der Jodreaction liess sich Folgendes feststellen: 10 Minuten nach Beginn des Versuches färbten sich Proben aller Versuchsflüssigkeiten auf Jodzusatz noch blau. 3 Stunden später färbte sich eine Probe von 1 auf Jodzusatz braun; Proben von 2, 3, 4 und 5 nahmen auf Jodzusatz aber eine violette Färbung an. Nach weiteren 15 Stunden färbte sich eine Probe von 1 auf Jodzusatz nur schwach gelblich; Proben der sämtlichen anderen Flüssigkeiten nahmen aber auf Jodzusatz noch immer eine violette Färbung an. Bald nach Beginn des Versuchs war die Flüssigkeit 1 vollkommen klar. Die Flüssigkeiten 2, 3, 4 und 5 klärten sich erst nach Verlauf von etwa 2 Stunden, es ist aber zu bemerken,

dass die Flüssigkeiten 3 und 5, die einen kleinen Säurezusatz erhalten hatten, früher klar wurden als die Flüssigkeiten 2 und 4.

Am 10. Juli wurden in zwei retortenartige Gefässe (a und b) je 30 lufttrockene Weizenkörner gebracht, und die ersteren mit ausgekochtem Wasser angefüllt. Am 11. Juli wurde das Wasser des Apparats a durch atmosphärische Luft, dasjenige des Apparats b durch Wasserstoffgas verdrängt. Die Gefässe blieben, mit ihrer Mündung unter Quecksilber getaucht, bis zum 13. Juli ruhig stehen. Nach Verlauf dieser Zeit hatte sich der Embryo der Keimpflanzen von a beträchtlich entwickelt; im Wasserstoffgas war keine Keimung eingetreten. Je 20 Körner von a und b wurden nunmehr mit je 20 Ccm. Wasser im Mörser zerquetscht und je 5 Ccm. der durch Filtration gewonnenen Flüssigkeiten mit 20 Ccm. Kartoffelstärkekleister vermischt. Nach Verlauf von 20 Stunden zeigte eine Probe der Flüssigkeit von a auf Jodzusatz eine gelbe Farbe, während sich eine Probe der Flüssigkeit von b auf Jodzusatz noch violett färbte.

Die Resultate dieser Versuche sowie anderer von mir angelegter Experimente lassen deutlich erkennen, dass die ruhenden Weizenfrüchte eine kleine Menge eines diastatisch wirkenden Ferments enthalten, denn nach Verlauf längerer Zeit färbte sich das Gemisch des Extracts aus den Körnern und des Stärkekleisters auf Jodzusatz nicht mehr wie zu Beginn der Versuche blau, sondern violett. Erfolgt die Keimung des Weizens bei Zutritt der atmosphärischen Luft, so erzeugen die Keimpflanzen eine beträchtliche Menge eines diastatischen Ferments. Bei Sauerstoffmangel, d. h. in einer Atmosphäre reinen Wasserstoffes, findet keine Fermentbildung statt; die Untersuchungsobjecte, welche im Wasserstoffgas verweilt haben, enthalten die nämliche kleine Menge des diastatischen Ferments wie die ungekeimten, ruhenden Weizenkörner. Der Zutritt freien Sauerstoffs ist demnach eine nothwendige Bedingung für die Entstehung des stärkeumbildenden Ferments.

Dieser Schlussfolgerung gegenüber liessen sich vielleicht noch einige Bedenken geltend machen.

1. Man könnte sagen, dass die im Wasserstoffgas verweilenden Untersuchungsobjecte deshalb keine Diastase bilden, weil sich in ihren Zellen überhaupt gar keine Lebensprocesse abspielen, und weil sie alsbald absterben. Ein solches Bedenken muss indessen zurückgewiesen werden. Wir wissen nämlich, dass in den Zellen solcher Pflanzentheile, die bei Sauerstoffausschluss verwei-

len, recht lebhaft, mit innerer Athmung verbundene Stoffwechselprocesse zur Geltung kommen, und ich habe specielle Beobachtungen angestellt, deren Resultate beweisen, dass die Weizenkörner nach längerem Verweilen im Wasserstoffgas noch in hohem Grade lebensfähig sind. Wurden dieselben nämlich nachträglich normalen Keimungsbedingungen ausgesetzt, so entwickelten sich die Embryonen alsbald.

2. Es ist von mir der unzweifelhafte Nachweis geliefert worden, dass Säuregegenwart den Verlauf des Processes der Amylumumbildung durch Diastase in wesentlicher Weise beeinflusst. Sehr kleine Säurequantitäten wirken beschleunigend, grössere aber verlangsamt auf diesen Vorgang ein. Man könnte nun sagen, dass der Extract jener Untersuchungsobjecte, welche im Wasserstoffgas verweilt hatten, deshalb weniger energisch umbildend auf den Stärkekleister einwirkte, weil sein Gehalt an freier Säure im Vergleich zu demjenigen der Keimpflanzen, welche sich in Contact mit atmosphärischer Luft entwickelt hatten, entweder zu gering oder zu bedeutend gewesen war. Dagegen ist aber zu bemerken, dass die Reaction der Extracte aus den Untersuchungsobjecten, die sich mit atmosphärischer Luft einer- und mit Wasserstoffgas andererseits in Berührung befunden hatten, keine wesentlichen Differenzen erkennen liess. Um aber jeden Zweifel zu beseitigen, habe ich einem Theil der Extracte aus den Wasserstoffuntersuchungsobjecten und ebenso einem Theil der Extracte aus den ruhenden Weizenkörnern, wie dies oben specieller angegeben wurde, eine Spur Citronensäure hinzugefügt. Dieser Säurezusatz beschleunigte die Fermentwirkung aber nur in ganz unbedeutendem Grade, während ein entsprechender Säurezusatz zu den Extracten aus den Luftkeimpflanzen die Wirkung derselben auf den Stärkekleister im hohen Grade begünstigte. Daraus folgt, dass die schwache Wirkung der Extracte aus den ruhenden Weizenkörnern sowie den Untersuchungsobjecten, die in Contact mit Wasserstoffgas verweilt hatten, nicht Folge eines zu unbedeutenden Säuregehaltes derselben gewesen sein kann. Andererseits geht aber auch aus den Versuchen hervor, dass die erwähnten Extracte nicht etwa in Folge eines zu erheblichen Säuregehaltes eine nur schwache stärkeumbildende Kraft besaßen, denn wäre dies der Fall gewesen, so hätte der Säurezusatz die Wirkung der diastasehaltigen Flüssigkeiten auf den Stärkekleister nicht, wie es thatsächlich der Fall gewesen ist, um ein Geringes begünstigen können.

Aus meinen Untersuchungen geht nach alledem unzweifelhaft hervor, dass in den Zellen höherer Pflanzen bei Abwesenheit des freien Sauerstoffs kein stärkeumbildendes Ferment erzeugt werden kann. Zutritt freien Sauerstoffs ist eine nothwendige Bedingung für die Entstehung der Diastase, und zwar bildet sich das Ferment unter Vermittelung des freien Sauerstoffes ohne Zweifel aus den Eiweissstoffen des Protoplasma.

Inhaltsübersicht.

	Seite
Vorbemerkungen	350

Erster Abschnitt.

Der Einfluss von Säuren auf den Verlauf des Processes
der Stärkeumbildung durch Diastase.

§	1. Constatirung der Erscheinungen	351
§	2. Die pflanzenphysiologische Bedeutung der festgestellten Thatsachen	359
§.	3. Der Einfluss von Spaltpilzen auf die stärkeumbildende Kraft diastasehaltiger Flüssigkeiten	361
§.	4. Nägeli's Theorie der Fermentwirkung	364

Zweiter Abschnitt.

Der Einfluss von Chloriden auf den Verlauf des Processes
der Stärkeumbildung durch Diastase und die Function
der Chloride im vegetabilischen Organismus.

§	5. Der Einfluss von Chloriden auf den Verlauf des Processes der Stärkeumbildung durch Diastase	365
§	6. Die Ursachen der constatirten Erscheinungen	367
§	7. Die Salzsäurebildung in Pflanzenzellen	371
§	8. Die Function der Chloride im vegetabilischen Organismus und die unter Umständen hervortretende nachtheilige Wirkung der Chloride auf die Pflanze	372

Dritter Abschnitt.

Der Einfluss niederer Temperaturen und verschiedener Substanzen auf den Process der Stärkeumbildung durch Diastase.

§ 9.	Der Einfluss niederer Temperaturen	380
§ 10.	Der Einfluss verschiedener Substanzen auf den Process der Stärkeumbildung durch Diastase	381

Vierter Abschnitt.

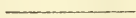
Der Einfluss der Beleuchtungsverhältnisse auf das Wachstum und die Zuckerbildung bei der Keimung der Knollen von *Solanum tuberosum* und auf die Entstehung der Diastase in Pflanzenzellen.

§ 11.	Der Einfluss der Beleuchtungsverhältnisse auf das Wachstum sowie die Zucker- und Fermentbildung bei der Keimung der Kartoffelknollen	383
§ 12.	Weitere Beobachtungen über den Einfluss der Beleuchtungsverhältnisse auf fermentative Prozesse	388

Fünfter Abschnitt.

Die Diastasebildung in den Pflanzenzellen.

§ 13.	Die Zucker- und Diastasebildung in keimenden Kartoffelknollen	390
§ 14.	Der Einfluss des atmosphärischen Sauerstoffes auf die Entstehung der Diastase in den Pflanzenzellen	393



ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Jenaische Zeitschrift für Naturwissenschaft](#)

Jahr/Year: 1884

Band/Volume: [NF_10](#)

Autor(en)/Author(s): Detmer Wilhelm

Artikel/Article: [Pflanzenphysiologische Untersuchungen über Fermentbildung und fermentative Prozesse. 350-400](#)