Ueber die Stoffe, welche das Material zum Wachsthum der Zellhäute liefern.

Von

Dr. **Julius Sachs.**

Die Beobachtungen, welche ich in der vorliegenden Abhandlung zusammenstelle, haben mich zu der Ansicht geführt, dass die Stärke, das Oel, die Zuckerarten, das Inulin und gewisse Ablagerungen von Zellstoff selbst, entweder unmittelbar oder mittelbar das Material zum Wachsthum der Zellhäute liefern, dass ferner alle diese Stoffe, wo man sie innerhalb der Pflanze auch immer antreffen möge, in letzter Instanz aus dem Chlorophyll der Blätter (und der grünen Rinde) abgeleitet werden können, welches fortwährend Stärke erzeugt, die ihrerseits als solche oder als ein Derivat derselben zu denjenigen Theilen hingeleitet wird, deren Zellen im Wachsthum begriffen sind; dass ferner die Ablagerungen von Stärke, Oel, Zucker, Inulin und Zellstoff, zu Gunsten der Keime der nächsten Generation, aus denselben Quellen stammen, dass also, wenn auch oft erst nach vielfachen Metamorphosen, die im Chlorophyll entstehenden Stärkekörnchen das Material liefern, aus welchem sämmtliche Zellhäute der Pflanzen ihre Nahrung schöpfen.

Anmerkung. Nachdem schon P. De Candolle (Physiol. I. p. 170 ff.) die Bedeutung von Stärke, Zucker, Inulin als Material zur Bildung neuer Pflanzenorgane im Allgemeinen erkannt hatte, hob H. v. Mohl zuerst den Gegensatz zwischen diesen und den „Proteinstoffen" hervor, indem er sie als Bestandtheile des Protoplasmas erkannte und auf ihre Gegenwart in den entwickelungsfähigen Geweben (Wurzelspitzen, Blatt- und Blüthenknospen, Pollen, Embryosack, Saamen) bestimmt hinwies (die Vegetabil. Zelle, p. 250). Th. Hartig zeigte durch Entlaubungs- und Ringelungs-Versuche die Abhängigkeit der Stärke im Stamm von der Thätigkeit der Blätter, und betrachtete sie als Bildungsmaterial für die

Zellhäute des Holzes (Botan. Zeit. v. Mohl u. Schlechtendal, 1858, No. 44). Ich habe 1859 (Keimung der Schminkbohne, Sitzungsber. d. Akad. Wien 1859, p. 56 u. 57) die Zellhäute der fertigen Keimpflanze als Umwandlungsprodukte der Stärke der Cotyledonen erkannt, und zugleich die Eiweissstoffe der letzteren als das Material zur Erzeugung des Protoplasmas der ersten Wurzeln und Blätter bezeichnet. Nachdem das Manuscript der vorliegenden Abhandlung schon im October 1861 abgesendet war, erschien im Februarheft 1862 der Ann. für Chemie u. Pharm. von Wöhler und Liebig eine Abhandlung „die Pflanze" von J. v. Liebig, deren ich jetzt bei der Correctur nur kurz erwähnen kann. Liebig hebt die verschiedene Bedeutung der stickstofflosen und stickstoffhaltigen assimilirten Stoffe für die Organbildung an einigen Beispielen hervor; p. 193 sagt er, von der Keimung des Weizen sprechend, die Stärke liefere die Elemente zur Bildung der Zellwand, und am Schluss macht er den Gedanken geltend, dass die Stoffe, welche im Saamen, in Knollen u. s. w. das Baumaterial für die Keime darstellen, auch während der Vegetation in den Blättern gebildet und zu den wachsenden Theilen hingeleitet werden müssen.

Wenn es sich, wie ich glaube, beweisen lässt, dass Stärke, Zucker, Inulin, fettes Oel u. s. w. von der Pflanze nur zu dem Zweck bereitet werden, um eher oder später diese Stoffe als Bildungsmaterial für wachsende Zellhäute zu benutzen, so dürfte es nicht unpassend sein, diese Stoffe unter einen gemeinschaftlichen Namen zusammenzufassen. Wenn das fette Oel nicht dabei wäre, so würden alle anderen durch die Bezeichnung Kohlehydrate hinlänglich charakterisirt sein; dieser Name würde aber das Oel vollständig ausschliessen, während dieses in seinem physiologischen Verhalten sich doch ganz eng an die anderen genannten Stoffe anschliesst. Dagegen dürfte die Bezeichnung „Zellstoffbildner" sich dadurch rechtfertigen, dass alle diese Stoffe durch, wie es scheint, sehr einfache Metamorphosen in Zellstoff übergehen können, und zugleich deutet der Name nur den letzten physiologischen Zweck an, den diese Stoffe in der Pflanze zu erfüllen haben, ohne auf ihre chemische Verwandtschaft Rücksicht zu nehmen; die Beobachtungen über die Ablagerung von fettem Oel, welches später als Reservenahrung ganz in derselben Art, wie Stärke oder Zucker, zum Wachsthum der Keimtheile verwendet wird, der Uebergang des Oels in Stärke, welchen ich bei der Keimung ölhaltiger Saamen

allgemein gefunden habe, sind einstweilen rein physiologische Thatsachen, und insofern scheint mir auch eine diesen Thatsachen entsprechende rein physiologische Bezeichnung, wie sie in dem Namen „Zellstoffbildner“ liegt, gerechtfertigt. Dem entsprechend könnte man die eiweissartigen Stoffe, welche durch die dünnwandigen Leitzellen (Gittergewebe, Cambiform) der Gefässbündel den Vegetationspunkten zugeführt werden, als „Protoplasmabildner“ bezeichnen.

I. Mikrochemische Methoden.

Im Allgemeinen bestand mein Verfahren, wie die unten mitgetheilten Beobachtungen zeigen, darin, dass ich Pflanzen aus möglichst verschiedenen Ordnungen in möglichst verschiedenen Entwicklungszuständen untersuchte und zwar so, dass ich sie, von den Wurzelspitzen anfangend durch den Stamm hinauf bis zu den Blättern, Blüthen und reifenden Früchten hin, auf ihren Gehalt an Stärke und Zucker prüfte, und den Entwickelungszustand der betreffenden Theile bemerkte. Das Oel habe ich nur während der Fruchtreife und während der Keimung verfolgt, wo es in grosser Menge auftritt.

1. Stärke. Obgleich die Stärke, wenn sie in grösseren Körnern und in älteren Zellen enthalten ist, durch die bekannte Jodreaction sehr leicht erkannt wird, so gehört doch die Nachweisung dieses Stoffes in sehr vielen Fällen zu den schwierigsten Operationen am Microscop. In dem sehr jungen und noch sehr kleinzelligen Parenchym, welches sich aus dem Urmeristem der Vegetationspunkte entwickelt, ist die Stärke durch alcoholische oder alcalische Jodlösung allein fast niemals zu entdecken, während ein umständlicheres Verfahren zeigt, dass sie grade hier jederzeit vorhanden ist.*)

*) Das allgemeine Vorkommen von Stärke in den sich streckenden Geweben der jungen Organe scheint bisher nicht erkannt worden zu sein. Payen sagt in seiner klassischen Arbeit über die Stärke (Annales des sciences nat. Tom. X. 2. Serie 1838 p. 202): On ne rencontre jamais l'amidon dans les tissus qui sont à l'état rudimentaire; ceux-ci ne récèlent encore que les principes immédiats, indispensables à leurs prémiers développemens, c'est-à-dire que j'ai démontré, être dèslors constamment réunies: les unes tres riches en azote, les autres non azotées. — Ainsi les spongéoles des radicelles, les plus jeunes rudiments des bourgeons foliacées et fructifères, l'intérieur des ovules non fécondés, et sans aucune exception, toutes l'organisation naissante est dépourvue de fécule amylacée. Meine Beobachtungen zeigen, dass gerade alle hier genann-

Wenn die jungen Gewebe kein Chlorophyll enthalten, genügt es, wie ich schon früher angegeben habe, möglichst feine Schnitte in starker Kalilauge zu erwärmen oder längere Zeit liegen zu lassen, sie dann mit Wasser auszuwaschen, mit Essigsäure zu neutralisiren und endlich eine schwache Jodlösung (nach v. Mohl's Angabe alcoholische starke Lösung mit viel Wasser verdünnt) zuzusetzen; man erkennt dann mit starker Vergrösserung entweder aufgequollene blaue Körnchen in dem gelben Plasma oder einen blauen Kleister. Im letzteren Falle ist es natürlich unmöglich zu entscheiden, ob die Stärke hier in Körnchen vorhanden war oder in Lösung, die vielleicht innig mit dem stickstoffhaltigen Plasma vereinigt war.

Zur sicheren Erkennung der Stärke im Chlorophyll ist es nöthig, die betreffenden Pflanzentheile vorher in starkem Alcohol an der Sonne zu bleichen und dann das vorhin angegebene Verfahren an möglichst feinen Schnitten anzuwenden. Diese von Dr. Jos. Böhm (Sitzungsberichte der Kais. Academie der Wissensch., Wien 1857, p. 21 der Abhandlung: „Beiträge zur näheren Kenntniss des Chlorophylls) der Hauptsache nach angegebene Methode (Böhm erwärmt jedoch nicht in Kali, sondern lässt die Schnitte der durch Alcohol gebleichten Blätter längere Zeit in kaltem Kali liegen, ohne sie vor dem Jodzusatz zu neutralisiren) liefert ausgezeichnet klare Objecte; die Stärkereaction tritt um so besser und schöner hervor, je länger man die chlorophyllhaltigen Theile in Alcohol liegen liess.

2. Zucker. Ich habe schon in einer früheren Abhandlung

---

ten Theile fast ohne Ausnahme Stärke enthalten. Nur die noch im Zustande der Theilung begriffenen Zellen, welche die Spitze der Stammtheile und Wurzeln bilden, scheinen keine zu enthalten, in dem ein wenig älter gewordenen Parenchym der wachsenden Theile habe ich sie selten vergeblich gesucht. Nägeli (worauf ich unten noch zurückkomme) hat die Stärke in sehr jungen noch wachsenden Organen mehrfach gesehen, und er geht also wohl zu weit, wenn er sagt: „Die Stärkekörner sind ausschliesslich Reservenahrung u. s. w.", p. 382 des zweiten Heftes: Pfl. physiologische Untersuchungen von Nägeli und Cramer. Nägeli's weitere Bemerkung (a. a. O. p. 390): „die jungen Gewebe enthalten keine Stärke, so die Enden der Stammtheile, die jungen Blätter, die Wurzelspitzen, die Knospen im jüngsten Zustande, die Ovula vor der Befruchtung," finde ich zu unbestimmt, da alle diese Theile, so lange sie noch ganz aus Urmeristem bestehen, allerdings keine Stärke enthalten, sobald sich aber ihre Gewebe mehr differenziren und sich zu strecken beginnen, zeigen sie regelmässig im jungen Parenchym Stärke, die dann, sobald die Streckung vorüber ist, verschwindet.

gezeigt, wie man das Trommersche Reagens auf Zucker dazu anwenden kann, sowohl Trauben- als Rohrzucker innerhalb der Zellen microchemisch nachzuweisen (über einige microscopisch-chemische Reactionsmethoden, Sitzungsber. der Kais. Acad. der W. 1859). Ich glaube seitdem die Sache um einen Schritt weiter gebracht zu haben, und gebe hier die nöthigen Andeutungen etwas abweichend von den früheren. Um einen Pflanzentheil auf seinen Gehalt an Zucker und Dextrin zu prüfen, nehme ich davon Quer- und Längsschnitte, welche wenigstens 2—3 Zelldicke haben, und lege sie sogleich in ein Schälchen mit concentrirter Kupfervitriollösung; während sie hier das Salz aufnehmen, wird ein kleines mit starker Kalilauge gefülltes Porzellanschälchen, welches etwa 5—6 C. C. fasst, über der Spirituslampe bis zum Kochen erhitzt. Alsdann nehme ich mit einer feinen Pincette die Schnitte aus der Kupferlösung und tauche sie mehrmals in ein grösseres Gefäss mit reinem Wasser, worauf sie sogleich in die heisse Kalilauge gelegt werden. Enthalten die Zellen Traubenzucker oder Dextrin, so entsteht fast augenblicklich, zuweilen erst nach einigen Sekunden, eine prächtig rothe, opake Färbung, die sich bald dem Ziegelrothen, bald dem rein Gelben mehr nähert. Diese Färbung rührt von dem in den Zellen entstandenen Niederschlag von Kupferoxydul her, welches unter starker Vergrösserung in Gestalt kleiner rundlicher Körnchen in den Zellen erscheint. In den meisten Fällen ist indessen die Reaction so glänzend, dass über die Gegenwart des Niederschlags selbst dann das blosse Auge entscheidet, wenn er auch nur in einzelnen Zellen auftritt; doch ist es immer rathsam, Vergrösserungen zu Hülfe zu nehmen. Enthält dagegen der Schnitt Rohrzucker, so entsteht bei dem Eintauchen des mit Kupfersalz getränkten und dann abgespülten Schnittes in Kali eine schöne himmelblaue Färbung, welche einer klaren in den Zellen enthaltenen Flüssigkeit angehört; durch Kochen in Kali tritt in diesem Falle kein Niederschlag von rothem Kupferoxydul auf, die Flüssigkeit bleibt blau und diffundirt sehr schnell in das Kali.

Um zu entscheiden, ob die Reduction des rothen Kupferoxyduls von Traubenzucker oder von Dextrin herrührt, lege ich Schnitte derselben Pflanzentheile, von deren Reaction ich mich bereits überzeugt habe, in Alcohol von 90 bis 95 pCt. Da das Dextrin nach Payen selbst in 84procentigem Alcohol schon unlöslich ist, so kann diese Substanz durch einen bedeutend stärkeren Alkohol den Zellen nicht mehr entzogen werden; solche Schnitte

müssen also nach mehrstündigem Liegen in jenem dann mit Kupfervitriol und Kali (erhitzt) noch die rothe Reduction ergeben; wenn dagegen die Zellen Traubenzucker enthalten, so wird ein Alcohol von 90—95 pCt. denselben nach 10—24stündigem Liegen aus den dünnen Schnitten ausziehen müssen, da nach Payen Alcohol selbst bei 95 pCt. noch den Traubenzucker auflöst; wenn also ein Schnitt vor dieser Behandlung mit Alcohol Kupferoxydul reducirt, nach dieser Behandlung aber keinen Niederschlag von rothen Körnchen giebt, so glaube ich schliessen zu dürfen, dass die Reduction des Kupferoxyduls von Traubenzucker und nicht von Dextrin herrührte. Zu meiner Ueberraschung zeigte sich nun, dass mit Ausnahme sehr weniger Fälle eine mehrstündige Maceration der Schnitte in 95procentigem Alcohol genügte, um ihnen die reducirende Materie vollständig zu entziehen; bei Keimpflanzen von Kürbis, Mais, bei den Stammquerschnitten von fructificirenden Kartoffelstauden, am Ricinus, von Blattstielen der Runkelrübe, bei unreifen Früchten von Ricinus, Mais u. s. w., welche im frischen Zustand reichlich Kupferoxydul reduciren, erhielt ich nach 5—15stündigem Liegen dünner Schnitte in 95procentigem Alcohol keine Spur von Niederschlag mehr, und ich glaube daher, dass in allen diesen Fällen die Reduction in den frischen Schnitten von Traubenzucker herrührte. Wenn diese Folgerung richtig ist, so würde die Existenz nachweisbarer Mengen des Dextrins zu den grössten Seltenheiten in frischen, unveränderten Pflanzenzellen gehören. Nur in den keimenden Knollen von Dahlia erhielt ich auch nach 36stündigem Liegen in 95procentigem Alcohol noch die, wenn auch schwächere, Reaction wie vorher; in diesem Falle musste also Dextrin vorhanden gewesen sein.

Für den hier verfolgten Zweck ist es übrigens ohne grosse Bedeutung, ob die Reduction rothen Kupferoxyduls von Traubenzucker oder von Dextrin herrührt; da ich aber das Erstere (mit Ausnahme von Dahlia) für wahrscheinlicher halte, so werde ich unten immer Traubenzucker angeben, wo ich in den Zellen jene Reaktion erhielt. Ueber die Genauigkeit der Methode in quantitativer Hinsicht war es mir bisher unmöglich, genügende Aufklärung zu erhalten. Es ist noch die Frage, ob man die kleinsten Mengen von Zucker und Dextrin auf diese Weise kenntlich machen kann, ein Vorwurf, der freilich auch alle anderen microchemischen Methoden in gleicher Weise trifft.

Sowohl bei der Reaction auf Traubenzucker (und Dextrin)

als bei der auf Rohrzucker, kann für den Ungeübten ein Irrthum eintreten. Die Häute der Holzzellen und Gefässe färben sich nämlich bei der angegebenen Behandlung schön orangegelb, oft röthlich, so dass für das unbewaffnete Auge zuweilen der Eindruck entsteht, als ob Reduction von Kupferoxydul im Holzkörper (was auch zuweilen geschieht) stattgefunden hätte; eine hinreichende Vergrösserung, wobei der Schnitt in Kali liegt, giebt übrigens sogleich Aufschluss; man erkennt die homogen orange gefärbten Zellhäute des Holzes sogleich als solche, und wenn zugleich Reduction von Kupferoxydul eingetreten war, so findet man in den betreffenden Zellen die Körnchen des Kupferoxyduls. Dagegen nehmen die Wandungen der jungen Bastzellen, des Collenchyms, der jungen Holzzellen und manchmal des Parenchyms bei Behandlung mit Kupfersalz und Kali eine intensive und prachtvoll rein blaue Färbung an, die selbst bei den stärksten Vergrösserungen noch kenntlich bleibt*), bei Betrachtung mit freiem Auge aber bei dem Ungeübten leicht den Irrthum veranlassen könnte, dass er Zellen mit blauer Flüssigkeit (Rohrzuckerreaction) vor sich habe.

Wenn ein Querschnitt, wie es häufig geschieht, zugleich Traubenzucker im Parenchym enthält, fertiges und junges Holz, jungen Bast und Collenchym, so erhält man Präparate von überraschendem Farbenglanz; bei schwächeren Vergrösserungen giebt das prächtige Blau der Zellhäute des Collenchyms und jungen Holzes einen sehr auffallenden Contrast zu dem Orange der verholzten Zellwände und zu dem rothen Niederschlag des Kupferoxyduls im Parenchym; das Cambium nimmt zugleich eine intensiv violette Färbung an, welche seinen Gehalt an eiweissartigen Stoffen bekundet.

Da Schwefelsäure und Zucker mit eiweissartigen Stoffen eine rosenrothe Färbung giebt, so könnte man die Gegenwart von Zucker dann vermuthen, wenn Schwefelsäure in den Zellen eine rosenrothe Färbung veranlasst, was bei jungen und an eiweissartigen Substanzen reichen Geweben häufig vorkommt. Allein die Röthung ist kein Beweis für die Existenz von Zucker in diesen Ge-

---

*) Diese durch Kupfervitriol und Kali eintretende, schön blaue Färbung ist ein Zeichen besonderer Reinheit des Zellstoffs, ähnlich wie das Blauwerden mit Jod. Alte und mit stickstoffhaltigen Substanzen imprägnirte Häute werden orangegelb bis roth.

weben, denn die Einwirkung der Schwefelsäure selbst erzeugt aus dem vorhandenen Zellstoff und der etwa benachbarten Stärke Zucker, der dann natürlich die Zuckerreaction hervorbringt*).

II. Ueber das Verhalten der Zellstoffbildner bei dem Wachsthum der Zellhäute im Allgemeinen.

Gewebe, deren Zellen dazu bestimmt sind, sich zu strecken, also ihre Zellwände zu vergrössern, sind jederzeit mit Stärke oder Oel, oder Zucker, oder Inulin, oder auflöslichem Zellstoff selbst versehen: entweder enthalten sie selbst einen oder mehrere dieser Stoffe, oder diese finden sich in ihrer Nachbarschaft und werden ihnen während der Streckung auf nachweisbare Art zugeführt; diese Stoffe verschwinden in dem Grade, als die Zellhäute wachsen und sind daher als Nahrungsmaterial derselben zu betrachten.

Ohne in theoretische Erörterungen einzugehen, will ich nur im Allgemeinen die Thatsachen angeben, welche den eben ausgesprochenen Satz zu rechtfertigen scheinen.

1) Die Sporen**) enthalten entweder Oel oder Stärke oder beides, und diese Stoffe verschwinden aus dem Inhalt, wenn die Keimschläuche austreiben, wenn also die Zellhäute wachsen, während die stickstoffhaltige Substanz sich hauptsächlich in die wachsenden Spitzen hinzieht.

2) Die Pollenkörner enthalten entweder Stärke oder Oel oder beide Stoffe zugleich***). Wenn diese Stoffe bei dem Hinabwachsen des Pollenschlauchs zum Ovulum auch nicht immer ganz verschwinden, wie es aus mehrfachen Angaben Hofmeister's†) in Bezug auf Stärke hervorgeht, so dürfte doch auch hier Oel und Stärke nur zum Zweck der Ernährung der Haut des Pollenschlauches vorhanden sein. Das erste Austreiben des Schlauches lässt kaum eine andere Annahme zu; sein weiteres Wachsthum

*) Schacht (Lehrbuch der Anatomie und Physiologie, II. 369) nimmt die Existenz von Zucker in dem Pollen neben eiweissartigen Stoffen an, weil Schwefelsäure den Inhalt oft roth färbt. Die im Pollen oft enthaltenen Stärkekörnchen werden natürlich durch Schwefelsäure in Traubenzucker verwandelt.

**) Siehe Nägeli a. a. O. p. 388.

***) Nägeli a. a. O. p. 388 u. 389.

†) Hofmeister, Neue Beitr. z. Kenntniss der Embryobildung der Phanerog. II. Monocotyledonen, p. 685: „Jene Wanderung (des Polleninhalts bei

mag dagegen allerdings auf Kosten des Zuckers und anderer Stoffe des Staubweges stattfinden und dann der weitere Verbrauch der eigenen Zellhautbildner des Pollenchlauchs unnöthig werden, so dass der Rest unverändert übrig bleibt. In anderen Fällen, wo der Pollenschlauch neben bedeutendem Längenwachsthum auch namhafte Dickenzunahmen seiner Wand zeigt, ist wohl kaum anzunehmen, dass dazu der Inhalt des Pollenkorns selbst hinreichendes Material biete; in diesen Fällen scheint eine Ernährung der Pollenschlauchhaut durch das umgebende Gewebe ebenfalls nothwendig. Uebrigens kann neben dieser Ernährung von Aussen her ein Verbrauch des Inhalts des Pollenkorns gleichzeitig stattfinden. Schacht (Lehrb. der Anat. u. Phys. der Gew. II. p. 375) giebt an: „Wenn der Pollenschlauch bis zum Embryosack der Saamenknospe gelangt, ist das Stärkemehl in der Regel verschwunden; nur bei Nadelhölzern (P. sylvestris und P. Strobus) ist der in's Corpusculum getretene Pollenschlauch bisweilen noch mit Stärkemehlkörnern angefüllt."

3) Das Amylum in den jungen Schleudern der Lebermoose verschwindet nach Mohl (Die vegetabilische Zelle p. 207), wenn die Spiralfaser in denselben sich entwickelt.

4) In den jungen Haaren auf sehr jungen Stengelgliedern von Dahlia variabilis fand ich deutlich Stärke, welche in den älter gewordenen Haaren mit ausgebildeten Zellwandungen verschwunden war.

5) Nach meinen Beobachtungen enthält das junge Parenchym unter den Vegetationspunkten, sobald es zwischen seinen Zellwänden kleine Intercellularräume erkennen lässt, feinkörnige (zuweilen vielleicht kleisterartige) Stärke, welche verschwindet, wenn dieselben ihre definitive Grösse erreichen.

6) Alle phanerogamen Keime enthalten in ihren Cotyledonen oder in ihrem Endosperm entweder Oel oder Stärke, oder Zellstoffablagerungen, oder diese Stoffe gleichzeitig; dieselben werden während der Keimung den sich entwickelnden Keimorganen zugeführt und am Ende der Keimung, wenn die Zellwände der ersten Wurzeln, Stammtheile und Blätter ausgewachsen sind, sind jene

---

dem Auswachsen des Pollenschlauches) ist besonders augenfällig bei Najas major, wo das Pollenschlauchende auch nach seinem Zusammentreffen mit dem Embryosack, mit den im Pollenkorn enthalten gewesenen spindelförmigen Amylumkörnern vollgestopft erscheint." Ein ähnliches Verhältniss bei Pinus sylvestris und P. Strobus.

Stoffe verschwunden; die jetzt ausgebildeten Zellwände sind auf Kosten jener Stoffe gewachsen*).

7) Bei der Keimung der Kartoffeln verschwindet bekanntlich die in ihnen enthaltene Stärke in dem Maasse, als die neuen Triebe sich entfalten.

8) Bei dem Frühjahrstrieb der Bäume, wo, wie bei der Keimung, die bereits angelegten Organe sich schnell entfalten, ein rasches Wachsthum der Zellhäute stattfindet, wird das im Holzkörper und sonst vom vorigen Jahre her angesammelte Stärkemehl aufgelöst und den wachsenden Knospentheilen zugeführt, um bei deren Ausbildung zu verschwinden, d. h. in Gestalt von Zellhäuten sich abzulagern (Hartig: Botanische Zeitung von Mohl und Schlechtendal, 1858, p. 382).

9) Der Rohrzucker, welcher die Perenchymzellen der Runkelrübe erfüllt, verschwindet im nächsten Frühjahr, wenn die neuen Blätter und Internodien sich entfalten.

10) Das Austreiben der inulinhaltigen Knollen von Dahlia und Helianthus tuberosus kann nur auf Kosten des Inulins stattfinden, da sich neben einer geringen Menge Oel und Zucker (?) keine anderen Zellstoffbildner in den Knollen vorfinden**).

Für den letzten Zweck, die Ernährung der Zellhäute, scheint es also gleichgültig, ob der vorhandene Nährstoff (Zellhautbildner) als Stärke, Zucker, Oel, Inulin oder Zellstoff selbst vorhanden ist. Während die Keimpflanze von Helianthus und Dahlia sich aus einem ölhaltigen Samen ernährt, nimmt der Knollentrieb die seinige aus einem inulinhaltigen Gewebe, während der Saamenkeim von Beta sich von dem Stärkemehl seines Endosperms ausbildet, nimmt der Trieb des zweiten Jahres den in der Rübe enthaltenen Rohrzucker zu demselben Zweck in Anspruch; ebenso entwickelt sich die Keimpflanze der Kartoffel aus einem ölhaltigen Saamen, ihre Knollentriebe verbrauchen dagegen zu ihrer Entwickelung die Stärke der Knollen.

Es scheint aber, dass jeder Zellstoffbildner erst transitorisch in Stärke übergehen muss, bevor er fähig ist, als Nährstoff für Zellhäute aufzutreten. So geht, wie ich in meiner Abhandlung „über das

*) S. meine Abhandlung „über das Auftreten der Stärke bei der Keimung ölhaltiger Saamen", Botan. Zeitung, 1859, und „Physiolog. Untersuchungen über die Keimung der Schminkbohne", Sitzungsber. der K. Acad. d. Wissenschaften, Wien 1859.

**) Rochleder, Phytochemie. 1854 p. 181.

Auftreten der Stärke bei der Keimung ölhaltiger Saamen" gezeigt habe, dies Oel der Cotyledonen oder des Endosperms in Stärke über, um unter Zuckerbildung die Streckung der Keimtheile zu ermöglichen; so sah ich den Embryo von Ceratonia siliqua bei der Keimung sich mit Stärke erfüllen, während das stärkefreie Endosperm ausgesogen wurde; ebenso fand ich in den jungen Knollentrieben von Dahlia variabilis Stärke, nachdem sich in dem inulinhaltigen Knollen Dextrin gebildet hatte.

Umgekehrt scheinen die anderen Zellhautbildner sich gewöhnlich erst aus Stärke zu entwickeln. Aus den unten mitzutheilenden Beobachtungen glaube ich entnehmen zu müssen, dass das Oel der Saamen aus Zucker und dieser aus Stärke entsteht, dass ferner der Rohrzucker der Runkelrübe aus der in den Blättern (im Chlorophyll) gebildeten und hinabgeleiteten Stärke sich bildet, dass ebenso das Inulin der Dahliaknolle aus der Stärke entsteht, welche in dem Chlorophyll der Blätter reichlich gebildet und wahrscheinlich durch die Stärkeschicht abwärts geleitet wird.

Die Erzeugung des Oels aus Stärke tritt besonders deutlich da hervor, wenn der unreife Saamen statt des späteren Oels zuerst Stärke enthält, wie bei Brassica Napus (Nägeli a. a. O. p. 391 u. 562), Taxus baccata (Nägeli a. a. O. 536), ferner bei den durch Conjugation entstandenen Sporen von Zygnema, Cosmarium, Desmidium (Nägeli a. a. O. p. 532); nach v. Mohl (die vegetab. Zelle, 207) verschwindet im Albumen des Palmensaamens gegen die Zeit der Saamenreife das Amylum, und es tritt fettes Oel, zu welchem es ohne Zweifel das Material liefert (v. Mohl), an seine Stelle.

Die Gleichwerthigkeit von Stärke und Oel als Nährstoff für junge Organe drängt sich besonders dann auf, wenn beide Stoffe in unbestimmtem Verhältniss neben einander abgelagert sind, und bald der eine bald der andere prävalirt. Diese Erscheinung lässt sich als eine Art Hemmungsbildung betrachten, wo die Stärke nicht vollständig, sondern nur theilweise in Oel übergeht. Nach Nägeli (a. a. O.) enthalten viele Keime ohne Eiweiss zugleich Stärke und Oel in den Cotyledonen, bald mehr von dem einen, bald von dem anderen; so bei den Alismaceen, Hydrocharideen, Najadeen, Ceratophylleen, Laurineen, Hernandiaceen, Clusiaceen, Mangifera, Anacardium, Indigofera, Galega, Colutea. Aehnliche Angaben macht Nägeli in Bezug auf die ruhenden Sporen von

Sphaeroplea, Oedogonium, die Gynosporen von Isoetes und den Stamm von Isoetes lacustris.

Die Stärke scheint also innerhalb der Pflanze eine Art Vermittler zu sein, bei der Bildung und Verwendung der Zellstoffbildner, und sie ist, wie es scheint, zugleich die ursprüngliche Form, insofern ich die sämmtlichen Zellstoffbildner aus der Stärke in dem Chlorophyll der Blätter glaube ableiten zu müssen.

In Bezug auf den Zusammenhang der Stärke in dem Chlorophyll der Blätter mit der in den jugendlichen Knospentheilen und mit der Ablagerung von Zellstoffbildnern in den Saamen und Knollen, scheint die Stärkeschicht der Gefässbündel die wichtigste Rolle zu spielen.

III. Die Stärke-Schicht.

In den Stammtheilen, Blattstielen und Blattnerven werden die Gefässbündel von einer Gewebeschicht begleitet, welche jene entweder ganz oder theilweise umgiebt, und sich dadurch auszeichnet, dass sie mit sehr seltenen Ausnahmen immer mit Stärkekörnern mehr oder weniger erfüllt ist, was besonders dann recht auffallend wird, wenn, wie es öfter vorkommt, das übrige Parenchym keine Stärke enthält; so ist es z. B. gewöhnlich in den Nerven der Blätter, der Blattstiele bei vollständig ausgebildeten frischen Blättern und im Stamm zwischen vollendeter Keimung und der Zeit, wo die Blüthenknospen anfangen, sich zu zeigen. Wegen dieser Eigenthümlichkeit, Stärke zu führen, nenne ich diese Schicht „Stärkeschicht".

Wenn ein centrales Gefässbündel oder ein geschlossener Gefässbündelkreis vorhanden ist, so bildet die Stärkeschicht einen geschlossenen Cylinder, welcher jene unmittelbar umgiebt. So fand ich die Stärkeschicht in dem hypocotylen Gliede der Keimpflanzen von Phaseolus, Iberis, Raphanus, Prunus, Convolvulus, Amygdalus, Beta, Zea, Triticum, Quercus, Acer, ferner in dem Tragfaden der Kartoffelknollen, der jungen Zweige und Knollentriebe der Dahlia, im Stamm des blühenden Ricinus und der blühenden Dahlia.

Wenn dagegen bei Dicotyledonen die Gefässbündel zerstreut im Kreise gestellt sind, also breite Markstrahlen zwischen sich lassen, so können zwei Fälle eintreten; die Stärkeschicht kann nämlich

auch hier einen geschlossenen Cylinder bilden, der die im Kreis gestellten Gefässbündel gemeinsam umgiebt, oder es wird jeder Gefässbündel für sich auf seiner äussern Seite von einer besonderen stärkeführenden Schicht umhüllt und begleitet.

Der erste Fall, wo die Stärkeschicht bei zerstreuten Gefässbündeln der Dicotyledonen dennoch einen geschlossenen Cylinder bildet, innerhalb dessen Mark und Gefässbündel liegen und ausserhalb dessen nur die primäre Rinde liegt, findet sich in dem hypocotylen Gliede der Keime von Cucurbita und Ricinus; die Stärkeschicht umgiebt auch hier den Basttheil jedes Bündels, aber sie verbreitert sich auch durch das Parenchym der breiten Markstrahlen bis zu den nächsten Bündeln hinüber; so findet man demnach auf dem Querschnitt einen vollständigen Ring, dessen Zellen Stärke führen. Ebenso bei den Trieben der Topinamburknollen.

Der andere Fall, wo von den getrennten Gefässbündeln jeder seine besondere Stärkeschicht hat, ist der gewöhnliche in der Mittelrippe und im Stiel der Blätter und bei den vegetativen Stammtheilen mit getrennten Bündeln, z. B. Brassica oleracea.

Während nun in allen diesen Fällen die Stärkeschicht den nach aussen gekehrten Basttheil der Bündel umgiebt, findet das Umgekehrte Statt bei den zerstreuten Bündeln im Stamm und den Blattscheiden der Gräser (Zea, Triticum). Hier umhüllt die Stärkescheide den nach der Axe hin gekehrten Theil der Gefässbündel. Bei den am Umfange des Stammes von Zea dicht gedrängten Bündeln, deren jedes seine nach innen gekehrte Stärkeschicht hat, fliessen diese gewöhnlich zusammen zu einer continuirlichen stärkeführenden Schicht, welche den festen Umfang des Stammes von dem lockeren Marktheil mit seinen zerstreuten Bündeln trennt.

Während der Vegetationszeit zwischen Keimung und Blüthezeit findet man in allen oberirdischen Theilen die Stärkeschichten fast ohne Ausnahme mit Stärkekörnern mehr oder weniger erfüllt; da jedoch die Körner meist zu den kleinen Formen gehören, so entgehen sie der Beobachtung sehr leicht, wenn man sie nicht vorher durch Erwärmung in Kali aufquellen lässt, dann auswäscht, neutralisirt und endlich verdünnte Jodlösung zusetzt.

In dem Embryo des reifen Saamens von Phaseolus, Mais und Triticum findet man auf sehr feinen Längs- und Querschnitten die Stärkeschicht schon sehr deutlich charakterisirt, obgleich sie hier noch keine Stärke führt. Die Stärkeschicht ist jederzeit nur aus einer einzigen Zellenlage gebildet, deren seitliche Wände auf dem

Querschnitt bei jungen Organen radial gestellt sind. Immer sind die Zellen der Stärkeschicht kleiner als die des angrenzenden Rindenparenchyms. Wo die Schicht an die Zellen der Gefässbündel angränzt, schliessen ihre Wände unter sich und mit diesen ohne Zwischenräume zusammen; wo die Schicht dagegen an das Parenchym gränzt, lassen die Längskanten luftführende Intercellularräume übrig, gleich dem Parenchym.

Als ich in einer früheren Arbeit (Bot. Zeitung v. Mohl und Schlechtendal, 1859 No. 20. u. 21.) zuerst auf die Eigenthümlichkeit der Stärkeschicht hinwies, glaubte ich sie für identisch mit der Gefässbündelscheide oder Caspary's „Schutz-Scheide" halten zu müssen; ich bin in Bezug auf diese Deutung gegenwärtig unsicher, und muss eine definitive Ansicht hierüber weiteren Untersuchungen vorbehalten.

Einer besonderen Erwähnung werth scheinen mir die Stärkescheiden der kleinsten Gefässbündel, welche im Mesophyll verlaufen. Bei dem Mais bestehen diese Bündel blos aus einem dünnen cylindrischen Strange von engen dünnwandigen Zellen, die ich für Gitterzellen halte; sie sind von einem geschlossenen Cylinder parenchymatisch aussehender Zellen umhüllt, welche ihrerseits an die chlorophyllreichen Zellen des Mesophylls gränzen. Aehnliche sehr feine Bündel dünnwandiger cambiformer Zellen, umgeben von einer Scheide parenchymatischer Zellen (der Stärkeschicht entsprechend), bilden die letzten Endigungen der Nerven im Mesophyll bei Phaseolus, Viola odorata, Cheiranthus Cheiri, Begonia u. a. Sie sind sehr fein und oft schwierig zu erkennen.

Obgleich in den Wurzeln ebenfalls eine die Gefässbündel umhüllende Schicht zu finden ist, welche morphologisch dieselbe Bedeutung zu haben scheint, wie die Stärkescheide der oberirdischen Theile, so hat sie doch ein physiologisch anderes Verhalten, denn nach vollendeter Streckung führt sie hier gewöhnlich keine Stärke mehr. So fand ich es in den fertig gestreckten Keimwurzeln von Zea Triticum, Phaseolus, Quercus, Acer, Convolvulus.

Sowie in den Embryonen der reifen Saamen fand ich die Stärkeschicht auch in den jüngsten Knospentheilen; sie wird erkennbar, sobald das Urmeristem der Vegetationspunkte sich im Parenchym und Gefässbündel zu sondern beginnt.

Wenn die Zellen der Stärkeschicht in Bezug auf Stärke-

führung den ersten Rang einnehmen, so gebührt den Markzellen, welche dem Holztheil der Gefässbündel am nächsten liegen, der zweite, und den Rindenzellen ausserhalb des Stärkeringes der dritte Rang in dieser Hinsicht; tritt nämlich ausser dem Stärkering in fertig gestreckten Theilen noch Stärke auf, was nach der Blüthezeit gewöhnlich erfolgt, so erscheint sie zunächst im Umfange des Markes und dann in den inneren Rindenzellen um den Stärkering herum.

Für unsern Zweck ist die wichtigste Frage in Bezug auf die Stärkeschicht die, woher ihre Stärke stammt und wozu sie verwendet wird.

Was ihre Abkunft anbelangt, so glaube ich annehmen zu müssen, dass die Stärke in den Stärkeschichten aus dem Mesophyll der Blätter abzuleiten ist. Es bestimmen mich zu dieser Annahme zwei Gründe; zunächst ist es der Umstand, dass die Stärkeschicht von den unteren Stammtheilen und von den Knospen aus, sich jederzeit bis zu den Gefässbündeln verfolgen lässt, welche in dem Mesophyll der Blätter verlaufen, wo sie mit dem hier im Chlorophyll entstehenden Stärkereichthum in Berührung kommt; es geht daraus die Wahrscheinlichkeit hervor, dass die Stärke aus dem Chlorophyll der Blätter in die Stärkescheiden der kleinsten Bündel übergeht, von hier in die der grösseren Bündel der Blattstiele zusammenfliesst und endlich in die Stärkescheiden der Stammtheile geleitet wird, um von da aus zu den wachsenden Knospen einerseits oder zu den Ablagerungsorten (Knollen, Wurzeln u. s. w.) andererseits hingeleitet zu werden. Ein zweiter Grund für diese Annahme liegt darin, dass die Stärke in den Stärkeschichten der jüngeren Stammtheile und Blattstiele schon vorhanden ist, bevor die grüne Rinde dieser Theile noch anfängt, Stärke in ihrem Chlorophyll zu erzeugen. In dem Rindenchlorophyll älterer Stammtheile findet man nach der angegebenen Behandlung ebenso Stärke, wie in dem Chlorophyll der fertigen Blätter; aber die jungen Stammglieder, welche sich soeben fertig gestreckt haben, in denen die Stärke, welche zur Ernährung ihrer Zellhäute diente, verschwunden ist, führen in ihrem sich erst ausbildenden Chlorophyll noch keine Stärke, während der Stärkering gerade in diesem Falle immer Stärke enthält. Die letztere kann also nicht in dem Chlorophyll der Rinde erzeugt sein, sondern nach dem Obigen ist anzunehmen, dass sie aus dem Chlorophyll der älteren Blätter her-

geleitet worden ist, um zu den jüngsten, noch in Streckung befindlichen Knospentheilen hingeleitet zu werden. Als Beispiel für die zuletzt angegebenen Verhältnisse mögen die jungen, fertig gestreckten, aber noch nicht weiter verholzten Stammglieder an den Gipfeltheilen der Dahlia, des Solanum tuberosum dienen.

Wenn auch der Stärkering hauptsächlich die Aufgabe haben mag, die Stärke aus dem Mesophyll der fertigen, stärkebereitenden Blätter den jüngsten Theilen zuzuleiten, welche deren zum Wachsthum ihrer Zellhäute bedürfen, so scheint andererseits die Annahme einer Querleitung nach innen doch auch nöthig zu sein; denn nach vollendeter Streckung beginnt die Verdickung der Bastzellen, die Ausbildung des Holzes u. s. w. in den Gefässbündeln, welche von den Stärkescheiden begleitet werden; das Material zu dem Wachsthum dieser Zellhäute kann wohl nirgends anders herkommen, als aus dem benachbarten Stärkering.

In einem Falle scheint mir die Stärkewanderung in der Stärkeschicht der Internodien unzweifelhaft, nämlich gegen das Ende der Keimung hin. Wenn sich das oberhalb der Cotyledonen stehende, die Knospe tragende Stammglied schon gestreckt hat, so führen die Cotyledonen grosssaamiger Pflanzen (Phaseolus, Amygdalus, Citrus) noch reichlich Oel und Stärke, welche offenbar zur Ausbildung der Knospentheile dienen. Zwischen dem Nahrungsmagazin in den Cotyledonen und den nahrungsbedürftigen Knospentheilen bildet nun die Stärkeschicht in dem dazwischen liegenden Internodium die Vermittlung; sie führt so lange Stärke, als in den Cotyledonen noch solche vorhanden ist und der Knospe also noch zugeführt werden kann. Ganz ähnlich ist das Verhältniss zwischen dem Endosperm der Gräser und der Blattknospe des schon weiter vorgerückten Keimes, wobei allerdings das Schildchen noch als weiterer Vermittler der Leitung auftritt (siehe unten). Ich stelle mir vor, dass das Verhältniss während der Vegetation ein ähnliches ist. So wie für die wachsende Keimknospe die Cotyledonen oder das Endosperm das Nahrungsmagazin bilden, so sind die fertigen Blätter der vegetirenden Pflanze das Magazin, aus welchem die Knospen ihre Zellstoffbildner beziehen und der Weg, auf dem diese von den Blättern zu den Knospen hinziehen, wird durch die stärkeführende Schicht der Gefässbündel bezeichnet.

IV. Die Stärke in dem Chlorophyll.

Auf das allgemeine Vorkommen von Stärke in den Chlorophyllkörnern machte Hugo v. Mohl zuerst aufmerksam in seinen „Untersuchungen über die anatomischen Verhältnisse des Chlorophylls“ (Dissert. v. J. 1837 in den vermischten Schriften p. 355); er entdeckte sie zuerst in den Chlorophyllkörnern der Chara flexilis, dann auch bei anderen Charen; „bei solchen Conferven, deren Röhren auf ihrer inneren Seite mit Chlorophyllkörnern überzogen sind, sowohl bei Arten des süssen Wassers, wie Conferva glomerata, fracta, aegagropila, als bei denen des Meerwassers, wie C. rupestris, zeigte sich auf die Einwirkung von Jod in jedem Chlorophyllkorn ebenfalls ein sich bläuendes Amylumkorn, in manchen Fällen auch mehrere.“ Ferner fand er Stärke in dem Chlorophyll der Blattzellen von Vallisneria spiralis, Tradescantia discolor; er fand je ein Stärkekorn im Chlorophyll der Porenzellen der Epidermis bei allen Pflanzen, die er darauf untersuchte, in den Epidermiszellen von Aspidium exaltatum, von Calla aethiopica, dem Blattparenchym von Abies pectinata, Pinus alba, Camellia japonica, in der äussersten unter der Epidermis liegenden Zellenschicht des Mesophylls von Iris fimbriata, der mittleren und äusseren Schicht des Mesophylls von Orontium japonicum; zwei bis drei oder mehr Stärkekörner fand er in den Chlorophyllkörnern des Mesophylls von Aspidum exaltatum, Sempervivum tectorum, den Markzellen der Stapelia maculata, dem Blattstiel von Pothos lanceolata, und in deren mittlerer Mesophyllschicht; ebenso in manchen Chlorophyllkörnern der Blätter von Tradescantia discolor, Abies pectinata, und bei Charen. Sehr viele kleine Stärkekörnchen fand er in den Chlorophyllkörnern neben denen der vorhin genannten Art, durch mannigfache Mittelstufen in sie übergehend, z. B. im Blattstiel von Pothos lanceolata, in der äussersten, aus senkrechten Zellen gebildeten Schicht der Oberfläche des Blattes, in den äussersten Zellschichten beider Blattseiten von Orontium japonicum, und zwar hier gemischt mit Chlorophyllkörnern, welche einen grossen Kern von Amylum enthalten; bei Sedum anglicum gehörten alle Chlorophyllkörner des Blattes zur letzten Form; endlich fand er so kleine Körnchen im Chlorophyll, dass sie mit Jod nur schwierig als Stärke zu erkennen waren, doch zweifelt v. Mohl nicht an ihrer Stärkenatur, da sie alle Uebergänge zu den sich bläuenden

boten; er nennt diese Form die gewöhnlichste und führt als Beispiel an: die Blätter von Sanseviera zeylanica, die Rindezellen von Stapelia maculosa, die äussere Schicht der Rinde von Cactus hexagonus, das Mesophyll von Dracaena draco-ferrea, Calla aethiopica, Pancratium illiricum, die mittleren Blattstiele von Iris fimbriata, manche in den äussersten Blattschichten liegende Chlorophyllkörner bei Orontium japonicum.

Nägeli nennt das Vorkommen von Stärke im Chlrophyll eine „regelmässige Erscheinung" und weiter „in den Chlorophyllbläschen zeigen die Stärkekörner ein so allgemeines Vorkommen, dass es als Ausnahme zu betrachten ist, wenn sie daselbst mangeln" (Pflanzenphysiolog. Unters. II, p. 398). Die letztere Bemerkung glaube ich nach v. Mohl's, Nägeli's eigenen und meinen Beobachtungen dahin abändern zu müssen, dass das Chlorophyll der fertigen Blätter u. s. w. allgemein Stärke führt, das noch junge Chlorophyll junger Organe enthält zuweilen noch keine.

Durch Ausziehen der Blätter mit Alcohol und nachheriges Liegen feiner Schnitte in kaltem Kali, worauf sie mit Jod behandelt wurden, fand J. Böhm (Beiträge zur näheren Kenntniss des Chlorophylls, Wien, Sitzungsber. 1857) die Stärke auch in solchen Chlorophyllkörnern, wo sie vorher noch nicht aufgefunden war. Durch die Sicherheit dieser Methode, von deren Brauchbarkeit ich mich vielfach überzeugte, gewinnt auch Böhm's Angabe an Sicherheit, dass bei manchen (wenigen) Pflanzen in keinem Entwickelungsstadium Stärke im Chlorophyll zu finden ist; so bei Asphodelus luteus, Allium fistulosum, Orchis militaris, Lactuca sativa.

Durch Bleichen der Blätter in Alcohol, nachheriges Erwärmen in Kali, Auswaschen, Neutralisiren mit Essigsäure und Zusatz sehr verdünnter Jodlösung, fand ich die Stärke in den Chlorophyllkörnern fertiger Blätter (von Solanum tuberosum, Sambucas nigra, Robinia pseudacacia, Brassica oleracea, Beta vulgaris, Ricinus communis, Ilex Aquifolium, Phaseolus vulgaris und, was besonders hervorzuheben ist, den Blättern von Dahlia variabilis) überall, wo ich sie aufsuchte; ebenso im Chlorophyll der Rinde fertiger Internodien, und in allen Porenzellen oberirdischer Theile*). Nur in Allium Cepa fand ich nirgends Stärke.

*) Die sehr grossen Porenzellen auf den jungen Kartoffelknollen und ihren Tragfäden enthalten keine.

In der oben genannten Abhandlung p. 358, 359, 360 behandelt v. Mohl auch die Frage, ob die Chlorophyllkörner selbst oder die in ihnen enthaltenen Stärkekörner die ursprünglichen primären Gebilde seien. Indem er die allgemeine Beantwortung dieser Frage noch unentschieden lässt, führt er an, „dass das Chlorophyll der zuerst gebildete Theil ist, scheint bei den Conferven, besonders den Zygnemeen, keinem Zweifel unterworfen zu sein, indem bei diesen mit dem Alter der Pflanze die Grösse der Amylumkörner immer zunimmt, und in jungen Fäden häufig schon eine sehr bedeutende Ablagerung von Chlorophyll gefunden wird, während die Amylumkörner noch äusserst klein sind.“ Dagegen kommt er zu der Ansicht, es sei ihm weit wahrscheinlicher, dass in den Blättern die Amylumkörner sich zuerst bilden und erst später ihre Chlorophyllhülle erhalten; dafür spreche auch der Umstand, dass bei nicht gestielten, also von der Spitze gegen die Basis zu wachsenden fleischigen Blättern, die in den Zellen enthaltenen Körner, je weiter die Zellen gegen die Mitte und die Basis des Blattes zu liegen, desto mehr sich von der Beschaffenheit der Chlorophyllkörner entfernen und die der reinen Amylumkörner annehmen, d. h. eine desto dünnere und lichter gefärbte grüne Hülle besitzen oder derselben auch ganz entbehren. Aus diesem Umstande erhellt nämlich, dass alle Zellen die Fähigkeit haben, Amylumkörner zu bilden, dass aber zur Bildung des Chlorophylls der Einfluss des Lichts und ein gewisses Alter der Zellen gehören. Man muss daher diese Hülle als eine nur unter gewissen Umständen zu den Amylumkörnern hinzukommende betrachten und kann sie nicht für die ursprüngliche und die Amylumkörner für die secundäre Bildung erklären. Im Gegensatz zu dieser Anschauungsweise v. Mohl's möchte ich eine andere Ansicht geltend machen, die allerdings auf theoretischem Wege gewonnen ist, aber doch auch durch Beobachtungen bestätigt wird. Ich glaube die Stärke, welche während der Entwicklung der Blätter in ihnen auftritt, ist zwiefacher Herkunft; so lange die Blätter noch sehr jung sind, beziehen sie ihre Stärke aus den Ablagerungsorten derselben, also zunächst aus den Stärkeschichten des Stammes, welche sich bis in die Knospentheile hineinziehen; diese zugeleitete Stärke dient dazu, das Material zum Wachsthum der jungen Blattzellen zu liefern; daher findet man bis zu der Zeit, wo das Blatt seine definitive Grösse annimmt, Stärke, aber um so weniger, je weiter die Entwicklung vorrückt. Ist das Blatt vollständig ausgebildet, so

bedarf es keiner zugeleiteten Stärke mehr, und statt dessen fängt nun das Chlorophyll an, in sich selbst Stärke zu erzeugen, die ihrerseits jetzt durch die Stärkeschichten den jüngeren Organen zufliesst. Wo die Entfaltung der Blätter am Licht stattfindet und schon in den sehr jugendlichen Blättern Chlorophyll auftritt, können beide Prozesse sich vermischen; es können die im Wachsthum begriffenen Zellen noch Stärke zugeführt erhalten, und doch zugleich in dem bereits gebildeten Chlorophyll die erste Erzeugung neuer Stärke beginnen. Meine in dieser Beziehung an Beta vulgaris, Ricinus communis, Robinia und Sambucus nigra gemachten Untersuchungen widersprechen der eben entwickelten hypothetischen Ansicht nicht, doch muss ich zugeben, dass die Beobachtungen ihrer Natur nach so misslich sind, dass ein bündiger Beweis nicht leicht zu führen ist. Gebleichte*) Keimpflänzchen von Beta vulgaris zeigten in solchen Cotyledonen, welche sich eben erst zu entfalten begannen, alle Zellen mit Stärke erfüllt; solche Cotyledonen, welche dagegen schon ihre definitive Grösse erreicht hatten, boten nur spärliche Stärkekörnchen in dem chlorophyllreichen Gewebe; endlich Cotyledonen, die seit etwa 8 Tagen schon vollständig entfaltet waren, schienen mir wieder weit reicher an Stärke, als die der zweiten Beobachtung. Bei Robinia pseudacacia zeigten Blättchen von 1 C.M. Länge, die aber schon grün sind, Stärke in den Stärkeschichten der Bündel, aber im Mesophyll nur Spuren davon. Die älteren Blättchen von 2 C.M. Länge hatten in den beiden mittleren Mesophyllschichten sehr viel Stärke im Chlorophyll; die fertig ausgewachsenen 3 C.M. langen Blättchen hatten in den drei oberen Mesophyllschichten Stärke, während sie in dem spongiösen Gewebe der Unterseite fehlte. Bei Sambucas nigra fand ich in sehr jungen, älteren und reifen Blättchen reichlich Stärke.

Es ist klar, dass die jüngsten Blätter, so lange sie nicht grün sind, keine Stärke aus ihren entfernteren Bestandtheilen erzeugen können, dass sie diese vielmehr durch Zuleitung unter irgend einer Form anders woher beziehen müssen; es ist möglich, dass ein Theil dieser zugeleiteten Stärke sogleich in dem sich bildenden Chlorophyll erscheint, allein es ist nicht möglich, dass alle Stärke im Chlorophyll der Blätter durch Zuleitung dahin komme, denn die Blätter sind ja nach der Keimung, wo kein Nahrungsreservoir

*) Durch mehrtägiges Verweilen in Alcohol am Licht.

vorhanden ist, wo sich nirgends Stärke findet, die einzigen Organe, welche Stärke aus unorganischen Nährstoffen erzeugen können. Wenn man am Ende der Keimung bei Mais und Phaseolus nur noch Spuren von Stärke findet (in den Spaltöffnungen und nahe der Terminalknospe), später dagegen, wenn mehrere neue Blätter fertig sind, in ihrem Chlorophyll und in den Stärkescheiden Stärke antrifft, so muss man diese für neu erzeugt halten, und es ist natürlich, ihre Erzeugung den fertigen Organen zuzuschreiben und nicht denen, die sich noch mit ihrer eigenen Ausbildung beschäftigen und selbst Stärke zu ihrem Zellenwachsthum brauchen. Bei vegetirenden Maispflanzen fand ich die jüngsten Blattscheiden mit Stärke völlig erfüllt, die eben fertig gestreckten fast oder ganz ohne Stärke, die älteren dagegen führten wieder in den Stärkescheiden und sogar in dem Parenchym Stärke, eine Erscheinung, die man, wie ich glaube, dahin deuten kann, dass während der Ausbildung der Blattscheiden die Stärke zum Wachsthum der Zellhäute verbraucht wird, wofür auch das Auftreten von Zucker während dieser Zeit spricht; wenn dann das fertige Blatt selbst Stärke erzeugt, so wandert diese in die Stärkeschichten der Bündel abwärts durch die Scheiden zum Knoten, um sich in Gefässbündelscheiden des Stammes zu den jungen Organen hinzuziehen.

Bei Beta vulgaris überzeugte ich mich davon, dass die Stärke in den jungen Porenzellen noch nicht vorhanden ist, dass sie aber nach völliger Ausbildung der Spaltöffnung niemals fehlt.

Alle diese Beobachtungen lassen noch viel zu wünschen übrig, aber sie widersprechen der oben gegebenen Auffassung nicht.

Nägeli (a. a. O. 398) sagt, das Entstehen der Stärkekörner innerhalb des Chlorophylls lasse sich oft verfolgen: „Das Korn besteht anfänglich aus homogenem, grünem Schleim; in demselben treten kleine Pünktchen auf, welche sich vergrössern, und bei hinlänglicher Grösse als Stärkekörner erkannt werden. Dieselben bleiben in den einen Fällen ziemlich klein und zeitlebens von dem Chlorophyll umschlossen. In anderen Fällen dagegen vergrössern sie sich fortwährend, verdrängen nach und nach das umgebende Chlorophyll und werden zuletzt frei.“

In den Röhrenzellen junger Charenzweige*) (p. 398) fand er in den Chlorophyllkörnern 1—4 schwach begränzte Stärkekörner: in älteren Zweigen sind die Chlorophyllkörner bedeutend grösser

*) Chara hispida L.

und ganz mit den Stärkekörnern erfüllt, so dass die (1—7) an einander stossenden Stärkekörner nur noch von einer dünnen Lage Chlorophyll überzogen sind; in noch älteren Zweigen ist das letztere ganz verschwunden, und nur die farblosen Stärkekörner übrig.

Von Cramer (a. a. O. p. 399) wurde die Amylumbildung im Chlorophyll von mehreren Gefässpflanzen untersucht. In dem Mark- und Rindenparenchym von Opuntia coccinellifera findet man wandständige flache Chlorophyllkörner, die von 1 — 8 Stärkekörnern mehr oder weniger vollständig ausgefüllt werden, nachher werden sie farblos. In dem grünen Blattparenchym von Begonia sind die Chlorophyllkörner nach Nägeli anfänglich vollkommen homogen und bestehen blos aus grün gefärbtem Plasma; wenn sie grösser geworden sind, so bemerkt man darin 2 — 7 glänzende Pünktchen; in noch grösseren Chlorophyllkörnern finden sich 1—3, seltener 6 Amylumkörner; mit dem Wachsthum der letzteren wird das grüne Plasma verdrängt und zuletzt findet man nur farblose Stärkekörner.

In den „Chlorophyllbläschen" der Zygnemaceen und Desmidiaceen (p. 402) soll sich eine aus Stärke bestehende Hohlkugel bilden, welche später in einzelne Körner zerfällt.

Bei verschiedenen Palmellaceen*) beobachtete ich das Auftreten feiner punktförmiger Stärkekörnchen innerhalb der grünen Zellen, ihr Grösserwerden und endlich die völlige Ausfüllung dieser Zellen mit vielen und ziemlich grossen Stärkekörnern, wo dann zuletzt das Chlorophyll vollständig verschwindet.

Aus diesen Beobachtungen kann man wohl nicht anders, als den Schluss ziehen, dass die Stärkekörner das Produkt der chemischen Thätigkeit des Chlorophylls sind.

Auch Arthur Gris (Recherches microscopique sur la chlorophylle in Annales des sciences nat. 1857. Tom. VII.) führt unter No. VI seiner Propositionen den Satz auf: „En général les noyaux amylacés, qu'on trouve au milieu de grains de chlorophylle, sont postérieurs à la transformation de la gélées en granules (pomme de terre**), Hortensia, Magnolia)." Gegen die allgemeine Gültigkeit dieser Regel macht es nicht einmal eine Ausnahme, wenn er unter V. anführt: „La formation des grains peut résulter du dévéloppe-

*) Protococcus und Scenodesmus.

**) Blätter.

ment de gros noyaux d'amidon, qui s'envéloppent de gélée verte et s'isolent peu à peu (Aucaba Japonica)."

Die Gegenwart von Oel im Chlorophyll ist von Nägeli (a. a. O. p. 400 u. 401) beobachtet worden. In den Parenchymzellen des Markes von Rhipsalis funalis Salm fand sich Oel neben Stärke in den Chlorophyllkörnern. „Unter der Epidermis des Stengels von Cereus variabilis Pfeiff. befinden sich mehrere Zellschichten mit wandständigen Chlorophyllkörnern. Dieselben sind vorzüglich um den Zellkern angehäuft und enthalten jedes im Innern meist eine grössere Menge von glänzenden Kügelchen. Man zählt deren 4 bis über 20. Durch absoluten Alcohol werden die Chlorophyllkörner entfärbt und die glänzenden Kügelchen in ihrem Innern verschwinden vollständig. — Statt der verschwundenen Oeltröpfchen sieht man eine gleiche Zahl von kleinen, röthlich erscheinenden Höhlungen."*)

Diese Beobachtungen scheinen zu beweisen, dass schon am Entstehungsorte selbst die Stärke durch Oel substituirt werden kann, so wie sie in den Saamen dadurch vertreten wird.

Die Stärke scheint nur durch Chlorophyll ursprünglich, d. h. aus ihren entfernteren Bestandtheilen erzeugt werden zu können, wenigstens lässt die Stärke der nicht chlorophyllhaltigen Organe und Pflanzen sich als blos abgeleitete betrachten. Soweit dies von nicht grünen Theilen grünblättriger Pflanzen gilt, werden die Gründe für die eben gemachte Annahme aus den unten mitzutheilenden Beobachtungen hergenommen werden. In Bezug auf die nicht grünen Schmarotzer, die dennoch Stärke enthalten, machte ich an Cuscuta Hassiaca (?) Koch eine Beobachtung, die mir keinen Zweifel darüber lässt, dass ihre Stärke nicht von ihr selbst, sondern von der Nährpflanze bereitet wird. An den Stengeln von Medicago sativa, welche von der Cuscuta nur erst theilweise umschlungen waren, fand ich an denjenigen Stellen, welche von den umwindenden Schmarotzertheilen entfernt waren, den Stärkering der Medicago mit Stärke erfüllt, auch in der grünen Rinde derselben fand sich Stärke. Dagegen fand ich in der Nähe der Saugwurzeln der Cuscuta in der Medicagorinde keine Stärke mehr, die sich dafür aber in grosser Menge in dem

*) Aeltere vegetative Theile der Moose enthalten nach Nägeli (a. a. O. 534) zuweilen reichlich Oel (Dicranum scop.); doch findet man ziemlich regelmässig kleine Amylumkörnchen im Chlorophyll.

Parenchym der Saugwurzeln, der Rinde und des Markes von Cuscuta vorfand. Diese Erscheinung war besonders an solchen Stellen recht deutlich, wo die Saugwurzeln erst vor kurzem sich in die Rinde der Medicago eingebohrt hatten; in der unmittelbaren Nähe derselben schien das Rindengewebe völlig gesund, nur fehlte ihm die Stärke, welche noch in den entfernteren Zellen reichlich zu finden war.

Nach Nägeli enthält auch Lathraea und Orobanche Stärke, welche Schmarotzer ebenfalls kein Chlorophyll enthalten. Nägeli's Bemerkung (a. a. O. p. 390), dass beim Blühen der Orobanche die Stärke von unten nach oben verschwinde, erinnert an die Keimung grosssaamiger Pflanzen. Das Verhältniss des Keimes zu seinem Endosperm ist wohl ungefähr dasselbe, wie das des Schmarotzers zu seiner Nährpflanze; jedenfalls ist die Verbindung zwischen jenen nicht inniger als zwischen diesen.

Die allermeisten nicht grünen Pflanzen enthalten dagegen nicht Stärke, sondern Oel und Zuckerarten, welche sie, wie es scheint, aus den Zersetzungsproducten anderer Pflanzen erzeugen. So enthalten die grösseren Schwämme Oel und häufig viel Mannit (Schwammzucker*); die Chroococcaceen und Nostochaceen, welche kein Chlorophyll und niemals Stärke enthalten**), bilden Oel, welches sie wohl ebenfalls aus Zersetzungsproducten organischer Stoffe erzeugen. An dem aus chlorophyllhaltigen Algen bestehenden Wandbeleg in Glasgefässen sah ich öfters die grüne Färbung im Umkreise solcher Stellen verschwinden, wo Oscillarienhaufen sich zu entwickeln anfingen; die Erscheinung machte mir immer den Eindruck, als ob die Oscillarien auf die sie umgebenden chlorophyllhaltigen, also stärkebildenden Algen tödtlich wirkten; sie leben wahrscheinlich von deren Assimilationsproducten. Auch für die nicht grünen Diatomeen, Corallineen, Fucoideen, Florideen macht ihr Aufenthaltsort eine Ernährung durch organische Zersetzungsproducte mehr als wahrscheinlich; sie enthalten nach Nägeli keine Stärke oder nur Spuren davon***). Monotropa (ohne Clorophyll) enthält nach Schacht niemals Stärke, und soll mit ihrer Ernährung auf die Zersetzungsproducte der Nadelwälder angewiesen sein, sie würde in dieser Hinsicht also den nicht schmarotzenden Pilzen sehr nahe stehen.

*) Rochleder, Phytochemie p. 247 u. f.

**) Nägeli a. a. O. p 531.

***) Nägeli a. a. O. p. 532 u. 533.

Aus diesen Thatsachen scheint der Schluss gezogen werden zu müssen, dass nur in den Chlorophyllkörnern Stärke durch Assimilation erzeugt werde, dass dagegen alle nicht grünen Theile ihre Stärke aus dem von dem Chlorophyll bereiteten Materiale beziehen oder dass sie gar keine Stärke, sondern andere Zellstoffbildner enthalten, deren Material aber doch in letzter Instanz vom Chlorophyll grüner Pflanzen in Form von Stärke erzeugt wird.

V. Stärke in jungen Organen.

Trotz vielfacher Bemühungen war es mir nicht möglich, Stärke in dem Urmeristem der Vegetationspunkte aufzufinden, obgleich dieselbe sogleich nach der Sonderung des jungen Gewebes in Parenchym und Gefässbündel unterhalb jener regelmässig im jungen Parenchym auftritt. Ebenso fand ich bei jungen, erst aus wenigen Zellen bestehenden Anlagen der Embryonen bei Zea und bei Ricinus, in denen später sehr viel Stärke auftritt, keine solche; auch giebt v. Mohl (verm. Schrift. p. 361) an, es finde sich in der wachsenden Spitze der Confervenfäden zwar Chlorophyll, aber noch keine Stärke, welche dagegen in den älteren Fadentheilen auftritt. Auch die in Theilung begriffenen Zellen des Cambiums der Gefässbündel enthalten nach Nägli's Angabe und nach meinen grade auf diesen Punkt gerichteten Beobachtungen niemals Stärke. Schacht (Anat. u. Phys. d. Gew. II, 375) sagt: das Stärkemehl scheine überhaupt mit der Bildung neuer Zellen nicht verträglich zu sein; er kenne zum wenigsten keinen Fall einer Zellenbildung bei Gegenwart von Stärkemehl in der Mutterzelle.

Dafür fand ich aber immer in der nächsten Nachbarschaft solcher Gewebe, welche in Zelltheilung begriffen sind, deutlich Stärke, z. B. im fertigen Gewebe der Saamenknospe, wenn das Endosperm oder der Embryo anfängt, sich zu bilden; dasselbe gilt von der Stärkeschicht der Gefässbündel in Bezug auf das Cambium und den Bast.

Die in der Nähe der Theilungsgewebe abgelagerte Stärke kann wohl keinen anderen Zweck haben, als den, den sich theilenden Zellen das Material für die Bildung der primären Zellmembranen zu liefern. In welcher Form dieses aus der Stärke abzuleitende Material in den sich theilenden Zellen zugegen ist, ist

unbekannt; möglich, dass es in Gestalt von Zucker mit dem Plasma vereinigt ist; in manchen Fällen (junges Endosperm bei Ricinus) lässt sich derselbe nachweisen.

Sobald dagegen die Zelltheilung in dem jungen Parenchym aufhört und die Kanten auseinander zu weichen beginnen, um feine Interzellularräume zu bilden, findet sich in den noch sehr kleinen Zellen regelmässig Stärke, von der es ungewiss ist, ob sie immer in Gestalt von Körnern in dem Plasma liegt. Gewiss ist aber, dass diese Stärke völlig verschwindet, während die sie enthaltenden Zellen sich ausdehnen. Daher kommt es, dass man in den Knospen unterhalb der merismatischen Gewebe Stärke findet, die den schon ausgedehnten aber noch jungen Theilen fehlt.

Bei der Entfaltung der Primordialblätter des Bohnenkeimes sind die Zellen der Unterseite des Mesophylls schon nicht mehr in Theilung begriffen und enthalten Stärke, während dicht daneben die der Oberseite, welche noch in lebhafter Zelltheilung begriffen sind, keine Stärke führen.

Ebenso findet sich immer feinkörnige Stärke in dem jungen Parenchym der Wurzelrinde, welches unmittelbar über der wachsenden Spitze liegt, also an der Stelle, wo die Streckung stattfindet. Die Wurzelhauben aller Wurzeln, welche ich bis jetzt untersuchte (vorzüglich Phaseolus, Zea, Solanum tuberosum, junge Pflanzen von Convolvulus tricolor, Amygdalus communis, von Cruciferen u. s. w), enthalten jederzeit Stärke, zuweilen sind ihre Zellen damit ganz erfüllt; schon die allerjüngsten Nebenwurzeln, welche noch in der Rinde der Mutterwurzel stecken, führen Stärke in ihren Hauben (Phaseolus, Faba, Zea).

Am deutlichsten treten diese Verhältnisse während der Keimung hervor. Die Art und Weise, wie in den Keimen die Reservestoffe in die Wurzel, die Stengelglieder, die Knospentheile eintreten, sich dort in Zucker verwandeln, und wie dann bei der Streckung der einzelnen Theile die in sie übergegangenen Stoffe verschwinden, lässt keinen Zweifel darüber, dass sie zum Wachsthum der Zellhäute verwendet werden. Wenn dann gegen das Ende der Keimung hin der noch vorhandene Nahrungsvorrath im Endosperm oder den Cotyledonen von der wachsenden Knospe durch ein oder mehrere Stengelglieder getrennt ist (Phaseolus, Zea), so bildet die stärkeführende Schicht, welche die Gefässbündel begleitet, die Verbindung zwischen der noch vorhandenen Nahrung und dem Orte, zu dem sie hingeleitet werden soll, der Knospe.

In den sich streckenden Keimtheilen lässt sich jederzeit vom Anfang der Streckung bis zu ihrer Beendigung deutlich Zucker nachweisen, der aus der dorthingeleiteten Stärke (oder dem Fett, oder Inulin) entsteht.

Wenn man nun nach der Keimung während der Vegetation in den vegetirenden Knospen ebenfalls Stärke in den sich streckenden Geweben findet, wenn man von dort aus die Stärke durch die Stärkeschichten der Stammglieder bis zu dem Mesophyll der fertigen Blätter verfolgen kann, und dieses Mesophyll in seinen Chlorophyllkörnern eine sehr bedeutende Menge von Stärke erzeugt, so geht man wohl nicht zu weit, wenn man hier einen ähnlichen Zusammenhang annimmt, wie bei der Keimung; das Mesophyll ist das Stärkereservoir, entsprechend dem Endosperm oder den Cotyledonen der Keimpflanzen; aber dieses Magazin wird während der Vegetationszeit nicht erschöpft, wahrscheinlich, weil die Stärke, die ihm für den Bedarf der Knospen entzogen wird, sich durch Thätigkeit des Chlorophylls immer wieder ersetzt.

Ob die Stärke in den sich streckenden Geweben, wo sie zur Erzeugung des Zellstoffs verwendet wird, immer erst in Zucker übergeht, ist ungewiss. In den Wurzeln und den ersten Stammgliedern der Keimpflanzen tritt diese Verwandlung immer ein, dagegen ist sie in dem jungen Parenchym der Knospen und besonders bei der Streckung der Blätter mit Kupfervitriol und Kali nicht immer nachzuweisen.

VI. Beobachtungen über das Verhalten der Stärke und ihrer Umwandlungsproducte während der Keimung einiger Pflanzen.

Während die vorstehenden Bemerkungen dazu dienen sollten, durch Zusammenstellung der mir bekannten Thatsachen ein Princip für die Beurtheilung zu gewinnen, möchte ich in den folgenden Abschnitten eine Reihe von Beobachtungen mittheilen, wo die Veränderungen, von denen ich bisher gesprochen habe, in ihrem natürlichen Zusammenhange sich darstellen. Ich kann hier nur diejenigen Beobachtungen hervorheben, welche sich auf den Zusammenhang zwischen dem Wachsthum der Zellhäute einerseits und die Veränderungen in Bezug auf Stärke, Zucker, Oel, Inulin u. s. w. andererseits beziehen, so weit sie also für oder wider die in der

Einleitung ausgesprochene Ansicht sprechen. Eine weitere Ausführung der einzelnen Beobachtungen würde der Klarheit, wie ich glaube, schaden und die vorliegende Abhandlung ungebührlich erweitern.

I. Keimung von Keimen mit stärkehaltigen Cotyledonen.

Phaseolus multiflorus. Die erste Lebensregung des Keimes macht sich dadurch geltend, dass sich sämmtliche Parenchymzellen der Keimaxe mit kleinen Stärkekörnern dicht anfüllen, die offenbar aus den Cotyledonen herrühren; dann tritt unterhalb des Cotyledonenansatzes im Mark und Rinde der Axe Zucker auf, und gleich darauf erfolgt die erste Streckung der Wurzel und des hypocotylen Gliedes, wobei die Saamenschale durchbrochen wird.

Der Zufluss von Stärke aus den Cotyledonen in die sich streckenden Keimtheile dauert ununterbrochen bis zur völligen Erschöpfung der Stärke im Cotyledonen-Parenchym fort. Zuerst entleert sich die Basis und dann schreitet die Auflösung der Stärkekörner gegen die Spitze der Cotyledonen hin fort. Zucker findet sich während dieses Prozesses in den Cotyledonen niemals; man findet die verschiedensten Auflösungsstadien der ovalen grossen Körner, und in den Zellen, welche offenbar die Fortleitung der Stärke besorgen, nimmt die transitorische Stärke die Gestalt kleiner maulbeerförmiger Körner an.

In den schon stärkeleeren Theilen der Cotyledonen bleibt diese noch in den die Gefässbündel umgebenden Schichten, bis sie zuletzt auch aus diesen verschwindet.

Während die Hauptwurzel des Keimes sich streckt, findet noch eine Zeit lang Zufluss von Stärke Statt, welche in Zucker übergeht; in den fertig gestreckten Theilen ist beides verschwunden.

Indessen vergrössert sich das Stammglied über den Cotyledonen, welches die Primordialblätter trägt, langsam, während seine Zellen mit Stärke erfüllt bleiben; dann tritt rasch eine von unten nach oben fortschreitende Streckung auf, welche mit Zuckerbildung in dem betreffenden Parenchym verbunden ist; sobald das epicotyle Glied fertig gestreckt ist, sind Stärke und Zucker aus seinem Parenchym verschwunden, nur im Stärkering, welcher die Knospe mit den Cotyledonen verbindet, bleibt noch Stärke.

Die Streckung der Nebenwurzeln ist ebenfalls von Zuckerbildung in ihrem Parenchym begleitet; der Zucker verschwindet auch hier, sobald die Wurzeln ihre definitive Länge erreicht haben.

In den Primordialblättern füllt sich gleich anfangs die untere Schicht des Mesophylls mit Amylum; diese Zellen sind schon in ihrer definitiven Anzahl vorhanden; die obere Schicht beginnt dagegen ihre Zelltheilungen und bleibt leer von Stärke. Sobald diese Blätter völlig entfaltet sind, führen nur noch die Porenzellen Stärke.

Unterdessen bildet die Knospe neue Blätter und Internodien, deren Gewebe, sobald es nicht mehr merismatisch ist, sich mit feinkörniger Stärke erfüllt, die von den Cotyledonen her durch die Stärkeschicht des ersten Internodiums zugeleitet wird, und verschwindet, sobald diese Theile sich strecken. Am Ende der Keimung findet sich nirgends Stärke, als in der Nähe der Terminalknospe, der Porenzellen, der Wurzelhauben und allenfalls noch im Stärkering; Zucker ist nirgends nachzuweisen.

Anmerkung. Eine eingehendere Betrachtung findet man in meiner Abhandlung: „Physiolog. Unters. über die Keimung der Schminkbohne. Sitzungsberichte d. Kais. Akad. d. Wiss. 1859, Wien.

Quercus pedunculata. Das Verhalten des Zuckers wurde hier nicht mit untersucht, weil die Reaction wegen der überaus grossen Gerbstoffmenge im Keim fast unthunlich ist.

Auch hier erfolgt bei dem ersten Anfang der Keimung ein Erguss von Stärke aus den Cotyledonen in die Keimaxe.

Während der Streckung der Wurzel verschwindet die Stärke aus ihrer Rinde, da sich aber noch zahlreiche Nebenwurzeln zu bilden haben und die Hauptwurzel selbst noch verholzt, so findet nach der Streckung noch lange Zeit Zuleitung von Stärke Statt, welche durch den Stärkering und das Mark herbeigeführt wird.

Aehnlich ist es im Keimstengel; er füllt sich anfangs, wo er langsam sich ausdehnt, dicht mit Stärke an, die dann, wenn er sich streckt, zum grössten Theil verschwindet; Stärkeschicht und Mark unterhalten aber den Stärkezufluss von den Cotyledonen zur Knospe hin und finden sich daher auch in dem schon fertig gestreckten Keimstengel so lange mit Stärke erfüllt, als die ersten Laubblätter sich entfalten. Aus den ersten Schuppen des Stengel, welche anfangs ebenfalls voll Stärke sind, verschwindet sie frühzeitig, da deren definitive Ausbildung schnell beendigt ist.

Bei Eichenkeimpflanzen, welche im Frühjahr gekeimt hatten, fand ich mehrfach selbst im Spätherbst noch reichlich Stärke in den Cotyledonen, die vielleicht im zweiten Frühjahr noch einmal als Reservenahrung dient.

2. Keime mit stärkehaltigem Endosperm.

Zea Mais und Triticum vulgare. Der Embryo enthält neben Fett auch Stärkekörnchen, bald mehr, bald weniger. Die Aufnahme der Endospermstoffe in den Keim wird durch das Scutellum vermittelt, dessen breite, dem Endosperm zugewendete Fläche mit einem Epithelium überzogen ist. Obwohl die Vorgänge im Keim keinen Zweifel darüber lassen, dass die Stärke des Endosperms durch das Epithel in das Schildchen übergeht, um von dort aus in die Keimtheile zu gelangen, so findet doch darin ein räthselhaftes Verhalten Statt, dass die Epithelzellen*) niemals während dieser Zeit eine Spur von Stärke oder von Zucker erkennen lassen, was um so auffallender ist, als Zucker sich im Endosperm bildet. In dem leitenden Parenchym des Schildchens findet sich dagegen während der Keimung immerfort kleinkörnige, offenbar transitorische Stärke, aber niemals Zucker, der nur in den sich streckenden Theilen reichlich auftritt.

Vor dem Austritt der Keimwurzeln füllen sich alle Parenchymzellen des Keimes mit Stärke, dann beginnt die Streckung der Wurzel, während in dem Parenchym derselben reichlich Zucker auftritt. Stärke und Zucker verschwindet aus den fertig gestreckten Wurzeltheilen.

Dann erfolgt Zuckerbildung in dem Parenchym, welches den ersten Knoten (der Wurzel und Keimstengel trennt und Gefässbündel in das Schildchen sendet) umgiebt; es dehnt sich, stösst die seitlichen Lappen der Schildchen auseinander, die Keimknospe tritt dann aus der Spalte hervor, und während sich Zucker im ersten Internodium**) bildet, streckt sich dieses.

---

*) Sie enthalten Oeltröpfchen und Plasma; sie stehen senkrecht auf der Fläche des Schildchens, und sehen bei Triticum und Hordeum dem Cylinderepithel, wie es bei Thieren häufiger ist, sehr ähnlich.

**) Dieses erste Internodium hat einen geschlossenen Gefässbündelkreis (keine zerstreuten Bündel), der das Parenchym im Mark und Rinde sondert, und mit einem Stärkering umgeben ist.

In den Blattgebilden der Keimknospe erfolgen dieselben Prozesse; die erste Scheide, anfangs mit Stärke erfüllt, streckt sich bei Zuckerbildung, dann geschieht dasselbe im ersten Blatt, dann im zweiten u. s. w. Auf Querschnitten durch das Blätterconvolut findet man in den innersten jüngsten Blättern Stärke, in den mittleren, die in Streckung begriffen sind, Stärke und Zucker, in den äusseren, welche fertig gestreckt sind, keines von beiden.

So wie bei Phaseolus bleibt auch hier in dem fertig gestreckten ersten Stammglied der Stärkering mit transitorischer Stärke erfüllt, welche die Verbindung herstellt zwischen der Stärke verbrauchenden Knospe und dem Schildchen, welches die Stärke von dem Endosperm erhält.

Anmerkung. Das Fehlen von Zucker und Stärke in dem aufsaugenden Epithel scheint darauf hinzudeuten, dass die Stärke oder deren Lösungsproduct nach ihrem Eintritt in diese Zellen mit deren Inhalt sich in eigenthümlicher Weise mischen, so dass ihre Reaction verhindert wird; in den zunächst liegenden Parenchymzellen des Schildchens tritt sogleich wieder Stärke auf, aber ohne Zuckerbildung, obgleich hier die Stärke sicherlich nur transitorisch und in Wanderung begriffen ist (s. den Abschnitt über Wanderung der Stärke weiter unten).

3. Keime, deren Cotyledonen Oel enthalten*).

Es lassen sich hier zwei Typen unterscheiden; entweder geht alles Oel der Cotyledonen in Stärke über (Citrus, Cucurbita, Amygdalus, Prunus) oder es tritt während der Keimung nur in der Stärkeschicht, welche die Gefässbündel begleitet, Stärke auf, während das Oel unter Zuckerbildung in den sich streckenden Theilen verschwindet, wie bei Helianthus annuus.

Bei Fagus sylvatica fand ich in einem Keim, dessen Wurzel sich auf 2 Ctm. verlängert hatte, während die Cotyledonen noch in der Schale waren, das ganze Parenchym der Wurzel und des hypocotylen Gliedes mit Stärke erfüllt; ebenso waren die Cotyledonen mit Stärke erfüllt.

Diese Stärke konnte nur aus dem Oel der Cotyledonen entstanden sein, denn diese enthalten im reifen Saamen nur Spuren von Stärke neben vielem Oel.

---

*) S. meine Abhandlung „über das Auftreten von Stärke in ölhaltigen Saamen." Bot. Zeit. 1859, No. 21.

Eine Keimpflanze von Raphanus sativus, deren Hauptwurzel 3 Ctm. lang war, deren hypocotyles Glied eben anfing sich zu strecken, während die Cotyledonen noch zusammengefaltet waren, hatte in der Wurzel weder Stärke noch Zucker (kein Fett), im hypocotylen Glied Stärke und Zucker, in den Cotyledonen Stärke und Oel.

Eine Keimpflanze von Brassica oleracea: Wurzel 2 Ctm. lang (hypocotyles Glied fängt an, sich zu strecken, Cotyledonen noch in der Saamenschale), die Wurzel enthielt weder Zucker, noch Stärke, noch Fett (d. h. sie sind bei der Streckung verschwunden); das sich erst streckende hypocotyle Glied enthielt neben Zucker noch Stärke, die Cotyledonen neben Stärke noch Fett; Stärke fand sich in den Cotyledonen in der Nähe des Medianus.

Cucurbita Pepo*) (in mehreren Stadien untersucht). Die Keimwurzel füllt sich am Anfange der Streckung mit Stärke, dann erscheint Zucker, beide verschwinden aus den fertig gestreckten Wurzeltheilen; dasselbe findet etwas später in dem hypocotylen Gliede Statt; endlich verschwindet das Fett auch aus den sich ausbreitenden Cotyledonen und es tritt transitorisch in ihnen Stärke auf.

Die Stärke erscheint zuerst in den Stärkeschichten, welche die Gefässbündel begleiten, und später erst in dem sich streckenden Parenchym, wo sie in Zucker übergeht.

Amygdalus communis. Eine 3 Ctm. lange Keimwurzel enthielt im Parenchym Stärke, in dem mittleren sich eben streckenden Theil, war diese bereits in Zucker übergegangen; die 15 Ctm. lange Hauptwurzel eines älteren Keimes enthielt im Mark noch ein wenig Oel (dieses konnte doch nur aus den Cotyledonen hergewandert sein), Stärke nur im jungen Parenchym über der Wurzelspitze und in den Wurzelhauben der Haupt- und Nebenwurzeln.

Im hypocotylen Glied enthielt Stärkering und Parenchym von Anfang bis gegen Ende der Keimung reichlich Stärke neben Oel.

In den Cotyledonen begann die Stärkebildung erst an der Basis, von wo sie später zur Spitze hin fortschritt; dabei entstand

*) Siehe landwirthschaftliche Versuchsstationen, Organ für wissenschaftliche Forschung auf dem Gebiete der Landwirthschaft 7. Heft: zur Keimungsgeschichte der Kürbissaamen, von Dr. Peters.

die Stärke anfangs nur in der Stärkeschicht der die Cotyledonen durchziehenden Bündel, während sich im Parenchym das Oel als solches erhielt, doch tritt auch hier endlich Stärke auf.

Das Internodium über den Cotyledonen trägt eine mit Blättern reich besetzte Knospe, es streckt sich bedeutend, und sein Parenchym füllt sich dabei mit Stärke; in den unteren fertig gestreckten Theilen verschwindet sie unter Zuckerbildung, und nur die Stärkeschicht behält ihre transitorische Stärke, wodurch sie die Cotyledonen mit den Knospentheilen verbindet; die jungen (noch nicht grünen) Blätter sind mit Stärke erfüllt.

Prunus Cerasus und Citrus aurantium verhalten sich ganz ähnlich wie Amygdalus.

Helianthus annuus. Während der Keimung tritt Stärke nur in der Stärkeschicht der sich streckenden Theile auf, das Parenchym behält sein Oel, welches während der Streckung in Zucker übergeht. Eine Wanderung des Oels aus den Cotyledonen in das hypocotyle Glied muss hierbei, wie es scheint, nothwendig stattfinden.

4. Keime mit ölhaltigem Endosperm.

Canabis sativa zeigte in der 3 Mm. langen Keimwurzel und im hypocotylen Glied viel Stärke, die Cotyledonen enthielten nur Oel, welches sie aus dem Endosperm beziehen müssen.

Ricinus communis. In der sich streckenden Wurzel tritt Stärke, dann Zucker auf; beide verschwinden mit vollendeter Strekkung; das hypocotyle Glied, von unten nach oben sich streckend, füllt sich mit Stärke, welche von unten nach oben hin in Zucker übergeht und mit vollendeter Streckung verschwindet; in den Cotyledonen findet man bis gegen das Ende der Keimung reichlich Oel, nur in dem Parenchym und den Stärkeschichten der Nerven ein wenig Stärke; die Cotyledonen scheinen das Fett als solches aus dem Endosperm aufzusaugen. Das Endosperm selbst wächst nach H. v. Mohl und dem entsprechend bildet sich in seinen Zellen Stärke (Botan. Zeit. 1861). Ich fand auch Reduction von Kupferoxydul in dem Endosperm weiter vorgeschrittener Keime.

Ganz ähnlich sind die Vorgänge bei Pinus Pinea; auch hier nehmen die Cotyledonen das Fett des Endosperms auf, welches in den Keimaxentheilen von unten nach oben in Stärke, dann in Zucker übergeht, um endlich zu verschwinden, während die be-

treffenden Gewebetheile sich ausbilden. Das ausgesogene Endosperm, von dem nur die Zellhäute übrig bleiben, wird hier wie bei Ricinus abgestreift.

5. Keime mit Zellstoff als Reservenahrung im Albumen.

Für die nahe liegende Annahme, dass der in grosser Masse abgelagerte Zellstoff des Albumens selbst als Nährstoff des Keimes auftritt, liefert Hugo von Mohl eine Beobachtung in historia naturalis palmarum von Martius im 1sten Theil: de palmarum structura von Hugo von Mohl p. XLIV §. 136: „Si palmarum semen germinat, embryo elongatur, posterior extremitas obtuse conica intumescit et albuminis cavitas, in qua embryo latet, amplificatur eadem ratione, qua corpus embryonis cotyledoneum crescit. Haec amplificatio non eo efficitur, quod albumen humore emollitur, vel in liquorem solvitur, et embryo deinde resorbet liquidum, atque evacuatarum cellularum membranas removet; sed omnes albuminis partes i. e. tam cellularum membranae, quam quae cellulis ipsis continentur, eadem ratione, qua embryo augescit, resorbentur, nec tamen ea albuminis pars, quam embryo non immediate tangit, mollitur aut alio quodam modo mutatur (Tab. P. fig. 4. dd. Corypha frigida). Albumen quidam aliquantulum mollius fit, id autem tantum modo aquae, quae in semen penetravit, adscribendum est, neque vero mutationi albuminis a germinatione effectae chemice-vitali et accidit etiam in vetere emortuo albumine in aquam immisso. Malpighium quamvis sciam in praeclara descriptione germinationis Phoenicis dactiliferae (opera posthuma London 1697, fol. pag. 72.) exponere, albumen emolliri, cellulas evacuari succis et membranas restare, non tamen possum non contrarium contendere fretus iis, quae quam accuratissime in Corypha frigida et Phoenice dactifera germinante observavi.“

Ich fand in den Albumenzellen, deren starke Verdickungsschichten sich mit Schwefelsäure und Jod bläuen, neben körnigem Plasma zahlreiche Oeltropfen; im Embryo neben Plasma viel Oel aber keine Stärke.

Sobald die Scheide des Cotyledon bei beginnender Keimung sich verlängert, findet sich in ihrem Parenchym Stärke, ebenso in den sich vergrössernden Zellen des Saugorgans (corpus cotyledoneum). Bei fortschreitender Keimung mehrt sich die Stärke auffallend in der jungen Wurzel, dem kurzen Stammtheil und den

ersten Blättern (am Grunde der Cotyledonscheide). Die sich streckenden Theile: Scheide und Saugorgan des Cotyledon, später die Wurzel, dann die jungen Blätter reduciren viel Kupferoxydul. Die in Theilung begriffenen Zellen des aufsaugenden Epithels und die darunter liegende Schicht führen niemals Stärke, aber Oeltropfen; die ihnen nächsten Parenchymschichten aber führen immerfort Stärke, während das Saugorgan allseitig wächst.

Die Verdickungsschichten der Endospermzellen in der nächsten Umgebung des wachsenden Saugorgans finde ich stark erweicht; in dieser erweichten (in Schwefelsäure und Jod sich noch bläuenden) Zellstoffmasse liegen grössere Oeltropfen. Die primären Zellhäute des Albumens lassen sich von dem noch unversehrten Zellen aus in die erweichte Schicht hinein verfolgen; während die erweichten Verdickungsschichten aufgesogen werden, bleiben die primären Wände übrig; sie werden von dem wachsenden Saugorgan zusammengedrückt und bilden auf dessen Epithel eine immer dicker werdende, wellig linirte Schicht. Stärke tritt im Endosperm nicht auf; Zucker und Dextrin konnte ich in der erweichten Schicht nicht nachweisen.

Es kann wohl kein Zweifel sein, dass der aufgesogene Zellstoff des Albumens das Material zur Bildung der Stärke und des Zuckers im Keim und somit den Stoff zum Wachsthum der Zellwände desselben hergiebt. In welcher Weise der Zellstoff aufgesogen wird, bleibt noch unbestimmt (Genaueres über die Keimung der Dattel werde ich anderswo mittheilen).

Ich bin nicht sicher, ob man die Vorgänge bei der Keimung von Ceratonia Siliqua in dieselbe Kategorie stellen darf, denn es scheint mir zweifelhaft, ob die hornige Masse des Albumens hier aufgesogen wird, und ob sie überhaupt aus unverändertem Zellstoff besteht; es gelang mir nicht, auf irgend eine Weise die zwischen den Albumen-Zellen liegende hornartige, in Wasser und Kali aufquellende Masse durch Jod blau zu färben, während die eigentlichen Zellhäute, welche die Zellinhalte unmittelbar umschliessen, sich hellblau färbten und sogar die Zellen der harten Saamenschale deutlich blau wurden. Die im Verhältniss zur Grundmasse des Albumens kleinen Lumina enthalten neben stickstoffreicher Substanz auch Fett. Der Embryo ist ebenfalls sehr reich an stickstoffhaltiger Substanz und fettem Oel.

Ueber das Verhalten bei der Keimung konnte ich leider nur unvollständige Auskunft erhalten, da mir von vielen Saamen nur

einer keimte. Ich untersuchte ihn, als die Keimwurzel etwa 2 CM. lang war und die Cotyledonen noch in dem Albumen steckten.

Wurzelhaube und Parenchym des ganzen Keimes waren mit Stärke dicht erfüllt; nur die Vegetationspunkte und Gefässbündel (diese nur theilweise) hielten keine Stärke. Das Gewebe der Cotyledonen war von der Basis bis zur Spitze hin mit Stärke erfüllt, und was mir besonders auffiel, auch das aufsaugende Epithelium*), welches die Unterseite (äussere Seite) der Cotyledonen überzieht, war mit Stärke ganz erfüllt; die Gefässbündelstränge enthielten bereits Spiralgefässe, die aber noch nicht Luft führten, deren Spiralfaser aber selbst in den Cotyledonen deutlich war; ich habe mich auf das Bestimmteste überzeugt, dass einzelne Stränge langgestreckter Zellen in diesen jungen Gefässbündeln dicht neben jenen Spiralgefässen in den Cotyledonen mit Stärke erfüllt waren (ich werde unten ein anderes Beispiel von Stärke in Gefässbündeln bei Dahlia nennen).

Die in Streckung begriffene Wurzel war ihrer ganzen Länge nach neben Stärke auch mit Zucker erfüllt, wie gewöhnlich; das noch sehr kurze hypocotyle Glied und die Cotyledonen enthielten keinen Zucker (da die Reihe, sich zu strecken, erst später an sie kommt).

Das Endosperm hatte seine hornige Beschaffenheit vollständig verloren und dafür ein eigenthümlich schwammiges Gefüge angenommen, auch war es bei grosser Zähigkeit sehr elastisch. In Wasser gelegte Schnitte zeigten, dass in der Grundmasse zwischen den Zellen lufthaltige, grosse Lücken entstanden waren, die mich anfangs vermuthen liessen, es sei diese Masse aufgesogen worden und nur die eigentlichen Zellhäute übrig geblieben; dem war aber nicht so. Als ich in Kali erwärmte Querschnitte des Albumens in starker Jodlösung (Jod in Jodkalium) betrachtete, färbten sich die Reste der Zellinhalte gelb, und es zeigte sich zugleich, dass die Grundmasse noch vorhanden war, denn die gelbe Jodflüssigkeit drang nicht in die zwischen den Zellen liegenden Räume ein, diese blieben völlig farblos, sie waren also mit einer Substanz erfüllt, die sich durch Jod nicht färbte, sonst aber als homogene Masse nicht zu erkennen war. Auch nach Kochen in Kali, nach Behandlung mit Säuren u. s. w.**) brachte Jod nicht die geringste

*) Es ist die spätere Epidermis.

**) Auch Eintrocknen mit Jod gab keinerlei Färbung.

Färbung in diesem Schleim hervor, während die darin eingebetteten Zellhäute sich schön hellblau färbten.

Ob die Grundmasse des Albumens vielleicht später noch vom Keim aufgesogen wird, werden weitere Beobachtungen zeigen; jedenfalls steht so viel fest, dass auch bei Ceratonia der Embryo, der keine Spur von Stärke enthält, sich mit solcher erfüllt, sobald die Keimung beginnt; es bleibt aber in Frage, ob diese Stärke allein von dem Fett herrührt, welches im Embryo und Albumen enthalten war, oder ob nebenher auch der Zellstoff oder der Schleim des Albumens noch Material dazu liefert.

6. Keimung aus inulinhaltigen Knollen.

Dahlia variabilis. Ich untersuchte vorjährige Knollen im September; sie hatten im Keller gelegen und Triebe von 1 bis 2 Fuss Länge gemacht; die Blätter waren grün, aber klein. Während die im September reif gewordenen Knollen einer diesjährigen Pflanze mit Kupfervitriol und Kali keine Spur von Reduction rothen Kupferoxyduls zeigten, also kein Dextrin und keinen Zucker enthielten, gaben die in Keimung begriffenen Knollen einen überaus massenhaften Niederschlag von rothem Kupferoxydul. Dünne Schnitte dieser Knollen in 96procentigem Alcohol gelegt, geben nach 20 Stunden ebensoviel Niederschlag, wie frische; ebenso verhielten sich die Stengeltheile der noch in Streckung begriffenen Triebe.

Es scheint sich also aus dem Inulin der Knollen bei der Keimung Dextrin gebildet zu haben.

Stärke fand sich in den keimenden Knollen in einzelnen Zellen hin und wieder in Gestalt kleiner Körnchen; in den Stammtheilen der Triebe aber enthielten die Zellen der Stärkeschichten ziemlich reichlich Stärke, die sich doch nur aus dem Inulin der Knollen, entweder mittelbar oder unmittelbar konnte gebildet haben.

Ausserdem fand sich aber auch Stärke in den sehr zahlreichen und grossen Gitterzellen zwischen Bast und Cambium.*) Die

*) Da die Beschreibung dieser Zellen für den Text nicht unmittelbar nöthig ist, so fasse ich sie hier in einer Anmerkung kurz zusammen. — Diese Gitterzellen fand ich zwischen Bast und Cambium von der Basis der Triebe an bis hinauf zum Gipfel; in einer frisch aus der Erde genommenen Georgine fand ich sie ebenfalls in allen Internodien des Stammes. Auf dem Querschnitt sind sie in radiale Reihen oder in Gruppen geordnet, auf dem Längsschnitt machen sie sich sogleich bemerklich dadurch, dass sie in regelmässigen Längsreihen

grössten Blätter dieser Triebe zeigten bei sorgfältiger Untersuchung im Chlorophyll keine Spur von Stärke, nur die Porenzellen enthielten hin und wieder eine äusserst geringe Menge. Daraus schliesse ich, dass das Chlorophyll noch nicht angefangen hatte, Stärke zu erzeugen, vielleicht weil es nicht hinreichend Licht hatte; und daraus folgt dann, dass die Stärke im Stärkering und in den Gitterzellen aus dem Knollen herzuleiten ist, wo sie aus dem Inulin entstanden sein muss (die fertigen Blätter älterer Pflanzen zeichnen sich durch den grossen Stärkereichthum ihres Chlorophylls aus).

7. Seitentriebe einer Runkelrübe,

welche nach dem Ausbrechen der Hauptknospe sammt allen alten Blättern zum Vorschein kamen, liessen im Mark und der Rinde, in den noch sehr jungen Blättern und in den Stärkeschichten der schon halb entfalteten Blätter reichlich Stärke erkennen. Da die Runkelrübe an den Stellen, wo diese Seitentriebe hervorkommen, vorher keine Spur von Stärke enthält, sondern nur Rohrzucker erkennen lässt, so muss die Stärke der Triebe wohl aus dem Rohrzucker entstanden sein.

Schacht sagt (Lehrbuch der Anat. u. Physiol. II, p. 555): „Im Umkreise brauner Flecken nach äusseren Verletzungen und langsamem Vertrocknen der Verwundung enthalten sämmtliche Parenchymzellen, denen normal das Stärkemehl fehlt, zahlreiche kugelige Stärkemehlkörner von geringer Grösse und Verdichtung,

---

liegen und dass die Querwände der neben einander liegenden Reihen in gleicher Höhe liegen. In ihrer Gestalt entsprechen sie der von Nägeli gegebenen Beschreibung der Gitterzellen von Cucurbita im Allgemeinen (Botanische Mittheilungen von Carl Nägeli aus den Sitzungsber. der K. Bair. Akad. der Wiss., 1861, über die Siebröhren von Cucurbita). Die lang gestreckten und ziemlich dünnwandigen Zellen sind nämlich von dem oberen und unteren Ende auffallend breiter, als in der Mitte; es sieht aus, als ob an den Querwänden eine Ueberwallung stattgefunden hätte. Die Querwände selbst zeigten bei den Knollen-Trieben nichts Auffallendes, ausser, dass sie von dunklen Linien quer durchsetzt werden, welche den fraglichen Poren entsprechen. In den unteren Stammgliedern der aus dem Boden genommenen, fast blühreifen Pflanze fand ich dagegen auf der Ober- und Unterseite der Querwände die Verdickungen aufgelagert, wodurch die Querwand zwischen je zwei Zellen einer biconvexen Linse ähnlich wird. Zwischen diesen Auflagerungen erkennt man die ursprüngliche Querscheidewand, welche Nägeli's Medianschicht entspricht. — Der einfache Zusatz verdünnter alcoholischer Jodlösung genügt, um in allen diesen Zellen eine deutliche Stärkereaction hervorzurufen. In dem Schleim (oder Plasma),

ohne sichtbaren Kern und Schichtung, welche durch Jodlösung violett oder schön blau werden und sich gegen Säuren und Alkalien ganz wie Stärkemehl verhalten, dagegen auf dem dunklen Fleck des Polarisationsmicroscopes verschwinden. — Weil aber die Zuckerrübe, ausser dem Zucker, im Zellsaft keine Kohlehydrate enthält, und die Wandungen der betreffenden Stellen keine Veränderungen zeigen, so können die Stärkemehlkörner hier nur auf Kosten des Zuckers entstanden sein.“

VII. Verhalten von Stärke und Zucker während der Vegetation nach beendigter Keimung bis zur Blüthezeit.

1) Solanum tuberosum: Am 15. September untersuchte ich die Triebe eines jungen Kartoffelstrauches, welche 0,3 Met. Höhe hatten und aus einer erst spät gekeimten Kartoffel hervorkamen. Die fünf bis sechs dunkelgrünen entfalteten Blätter, welche jeder Trieb hatte, sowie die weichen Stammtheile der sehr jungen, 2—4 Zoll langen Stolonen zeigten ein jugendliches Ansehen, woraus ich schloss, dass diese Triebe in kurzer Zeit hervorgewachsen seien; offenbar waren alle diese Theile auf Kosten der ausgesogenen Mutterknolle entstanden.

Stärke fand sich nicht in den Porenzellen und keine in Chlorophyll des Mesophylls der eben fertigen Blätter; dagegen fand sich ein wenig Amylum in den Stärkeschichten der

---

welcher ober- und unterhalb jeder horizontalen Querwand das Lumen füllt, den mittleren Zellraum aber frei lässt, erkennt man nach Jodzusatz sogleich deutlich blaue, sehr kleine Körnchen in grosser Masse; es macht den Eindruck, als ob Stärkekleister erst durch den Jodzusatz in blaue Körnchen verwandelt worden wäre. Diese Reaction tritt ebenso ein, wenn man einen Schnitt vorher, in Kali erwärmt, gewaschen neutralisirt hatte. Nach dem Aussehen ist es mir wahrscheinlicher, dass die Stärke hier als Lösung oder als Kleister vorhanden ist, ich habe sie sonst nirgends in derartigem, fein zertheilten Zustande getroffen. Die Stärke und der Schleim, in dem sie liegt, findet sich häufig blos auf der oberen oder der unteren Seite der Querwände, aber ohne alle Regel, meist jedoch auf beiden Seiten. Da, wo die verdickten Enden der Zellen ihre Querwände haben, stossen die Zellen der verschiedenen Längsreihen aneinander, die schmäleren Mittelstücke lassen dagegen Zwischenräume, welche von schmalen Zellen eingenommen sind. — Die Stärkeführung dieser Zellen bei Dahlia variabilis scheint ganz normal, da ich sie bei dieser Pflanze in den Gitterzellen überall fand.

Blattstiele und der obersten Internodien bis zur Knospe hin; in den ebenfalls noch jungen, doch fertig gestreckten Stammtheilen abwärts bis zur Mutterknolle und in den jungen Stolonen enthielten selbst die Stärkeschichten keine Stärke.

Traubenzucker (oder Dextrin) fand sich in keinem Theile der Triebe. Dieses Verhalten entspricht genau den fertigen Keimpflanzen, welche ihre Saamenstoffe vollständig aufgesogen haben und dann weder Stärke noch Zucker enthalten.

Im August zeigte eine im freien Feld erwachsene, abgeblühte Kartoffelstaude von 0,5 Mtr. Höhe mit vielen grossen und kleinen Knollen folgendes Verhalten:

Stärke enthielten die Porenzellen, die Chlorophyllkörner des Mesophylls fertiger Blätter, und der ganze Zug der Stärkeschichten von ihren feinsten Anfängen im Mesophyll durch den Medianus und Blattstiel im Stamm abwärts und aufwärts bis zur Terminalknospe. Im Stiel älterer Blätter enthielt auch das Mark im Umfang Stärke; die noch sehr jungen Blätter des Gipfels waren mit Stärke dicht erfüllt; abwärts findet sich auch im Markumfang des Stammes Stärke, doch nur soweit der Stamm oberirdisch ist; der unterirdische Stammtheil führt gar keine Stärke, aber sehr viel Traubenzucker, welcher auch in den Stolonen und in den unreifen Knollen aller Grössen reichlich vorhanden ist; doch beginnt in den Tragfäden die Stärke wieder reichlich gegen die unreifen Knollen hin und in diesen erfüllt sie neben Zucker alles Parenchym.

Reducirende Substanz findet sich nur in diesen unterirdischen Theilen, in den oberirdischen gar nicht; gerade da, wo die von oben kommende Stärke aufhört, beginnt der Zucker im Stamm, und es scheint, dass er das Material für die grossen Stärkekörner der Knollen und zugleich zum Zellwachsthum derselben liefert.

Ein drittes Alter untersuchte ich am 16. September; es war eine im freien Felde erwachsene Staude, deren untere Blätter längst abgefallen waren, die aber am Gipfel noch einen grünen Blätterbusch trug; sie hatte viele unreife und reife Knollen.

Stärke fand ich in den Spaltöffnungszellen, dem Chlorophyll der fertigen Blätter, den Stärkeschichten der Nerven, Blatt-

stiele der oberen Stammtheile bis zur Knospe hin; im Stamm führte auch Rinde und Mark Stärke; die Stärkeschicht führte nur da, wo sie vor den drei Gefässbündeln liegt, Stärke, vor dem Holze nicht.

Reducirende Substanz fand sich im Stamm zwischen den Blättern, im ganzen Mark, den Markstrahlen, den Gitterzellen, zwischen Bast und Cambium, selbst die Blattstiele zeigten in Mark und Rinde reichlich Zucker; von hier aus bis zu den Knollen abwärts enthält alles Zucker, nur die reifen Knollen charakterisiren sich dadurch, dass sie keinen Zucker mehr führen, wie die noch wachsenden.

Ich glaube, wenn man die Beobachtungen an den drei Entwickelungsstadien vergleicht, so kann man sich das Verhalten kaum anders erklären, als nach den in der Einleitung genannten Vorstellungen.

2) Beta vulgaris. Bei Keimpflanzen, deren Cotyledonen schon ausgebreitet und grün waren, fand sich in der Stärkeschicht des hypocotylen Gliedes noch Stärke, die bei etwas älteren Keimpflanzen nicht mehr zu finden war.

Junge Pflanzen mit 5—6 Blättern, deren grösstes fertiges 12 CM. lang war, deren Wurzelhals 4 MM. Durchmesser hatte, zeigten Folgendes:

Stärke fand sich in den Porenzellen und im Chloropholl der fertigen Blätter, in den Stärkeschichten der feinsten Nerven, des Medianus und Stieles bis hinab zum Stamm, wo sich die Stärke im Parenchym ausbreitet und in die jungen Blätter übergeht, deren noch nicht gestreckte Zellen damit erfüllt sind. In jungen Blättern, die sich schon gestreckt hatten, fand sich wenig Stärke im Mesophyll, in den Porenzellen, die sich erst ausbildeten, gar keine.

Reducirende Substanz fand ich in den Blattstielen der älteren Blätter spurweise im Parenchym, mehr an der Basis der Stiele; alle anderen Theile zeigten keine Reduction von Kupferoxydul.

Rohrzucker war in den Pflanzen dieses Alters nach der angegebenen Methode nirgends zu finden.

Ein weiter vorgerücktes Stadium zeigte dieselben Verhältnisse, nur fand sich in der 8—9 MM. dicken Rübe schon etwas Rohrzucker. Eine schon viel ältere Pflanze aus freiem Felde, im August

frisch untersucht, deren Wurzel etwa 30 CM. lang und 8—9 CM. dick war, verhielt sich folgendermaassen:

Stärke fand sich in den Porenzellen und im Chlorophyll der Blätter in dem ganzen System der Stärkeschichten der Gefässbündel bis hinab zur Basis der Blätter, wo sie sich im Parenchym ausbreitet und bis zur Terminalknospe hin vordringt; sie erfüllt alle jungen Blätter: die Theile, welche die Rübe bilden, enthalten keine Spur Stärke.

Reducirende Substanz fand sich im Parenchym in der Mittelrippe und bis hinab zum Stamm, wo sie plötzlich aufhört; ausserdem ist Traubenzucker in dem gelbgefärbten Gewebe, welches unterhalb der Knospe die Mitte des Stammes einnimmt, und tiefer unten im Parenchym nahe der Axe der Wurzel.

Rohrzucker erfüllt das Parenchym der ganzen Rübe mit Ausnahme der oben genannten Theile; am concentrirtesten scheint er in der Mitte der Rübe, weniger am unteren Ende.

Im September untersuchte ich drei grosse Pflanzen, deren Rüben über 10 CM. dick und deren fertige Blätter bis 45 CM. lang waren.

Stärke war in den Porenzellen und im Chlorophyll fertiger Blätter sehr reichlich und ziemlich grosskörnig, dagegen fand sich jetzt wenig Stärke in den Stärkeschichten der Bündel; die Knospentheile hatten wie immer ihre Stärke.

Reducirende Substanz fand sich in grosser Menge in den Blattnerven, dem Medianus und den Blattstielen bis hinab zum Stamm, wo sie plötzlich aufhört; auch das Parenchym nahe der Rübenaxe zeigte Reduction.

Rohrzucker fand sich sogar im obersten Stammtheile, der die jüngsten Blätter trägt und von da aus bis hinab zur Wurzelspitze im sämmtlichen Parenchym; doch scheint das mit grösseren Intercellular-Räumen durchsetzte Gewebe nahe den Bündelkreisen weniger zu enthalten.

3) Zea Mais. Am Ende der Keimung, wenn das Endosperm völlig entleert ist, die ersten 3—4 Laubblätter sich entfaltet haben, finden sich nur noch Spuren von Stärke an der Basis der noch nicht ganz fertigen Blattscheiden.

Eine etwas ältere Pflanze, welche schon 5—6 neue, viel grössere Blätter hatte und 0,4 Mtr. hoch war, ergab Folgendes:

Stärke in den Porenzellen sehr wenig im oberen und unteren Winkel, ferner in den die kleinsten Gefässbündel umgebenden chlorophyllhaltigen Zellen der Lamina; keine Stärke im eigentlichen Mesophyll. Die Stärkeschichten aller grösseren Gefässbündel der Lamina, der Scheiden fertiger Blätter führen reichlich Stärke, in den Scheiden breitet sie sich auch im umliegenden Parenchym aus; in dem Stamme führen die (nach innen liegenden) Stärkeschichten der Bündel Stärke; die fertig gestreckten Wurzeltheile enthielten keine Stärke.

Die oberen noch in Streckung begriffenen Stammglieder enthielten in allen Parenchymzellen Stärke; die jungen sich streckenden Blattscheiden waren ebenfalls mit Stärke erfüllt.

Reducirende Substanz: im unteren fertigen Stammtheil keine; in den Wurzeln am unteren und mittleren Theil; keine im oberen Theil; die in Streckung begriffenen Stammglieder führten Zucker, ebenso die noch in Streckung begriffenen jüngeren Blattscheiden; die jüngsten und die ältesten keinen.

Eine ältere Pflanze mit 1 CM. hohem Stamm, dessen Terminalknospe sich schon zu einer kleinen Anlage des männlichen Blüthenstandes umgebildet hatte, und welcher viele grosse Blätter trug, ergab:

Stärke in den Porenzellen (wenig in den Winkeln derselben), in den Stärkescheiden der Bündel (in den eigentlichen Mesophyllzellen keine); die fertigen Blattscheiden hatten in den Stärkeschichten der Bündel Stärke. Die noch in Strekkung begriffenen Blattscheiden im ganzen Parenchym mit Amylum erfüllt.

Die unteren fertigen Stammglieder enthielten in den Stärkeschichten wenig, in den höheren Internodien nimmt sie zu, bis sie in den oberen sehr jungen Gliedern das ganze Parenchym erfüllt. Der sehr junge männliche Blüthenstand (5—6 MM. lang) besteht aus den Hauptspindeln und den erst warzenförmigen Aehrchen, deren zartes Parenchym Stärke führt; die Vegetationspunkte sind wie überall ohne Stärke.

Reducirende Substanz ist in diesem Stadium durch die ganze Pflanze verbreitet; Wurzeln, Stamm, Blattscheiden und

Medianus der fertigen Blätter und die sich streckenden Theile enthalten Zucker im Parenchym.

Eine Maispflanze von mehr als 4 Mtr. Höhe, deren männliche Rispe schon verstäubt hatte, deren oberer Kolben befruchtet, der untere unbefruchtet war (30 und 41 CM. lang) ergab Folgendes:

Stärke fand sich in fertigen Blättern in den Porenzellen, in den die kleinsten Bündel umgebenden Stärkeschichten (keine im Chlorophyll des Mesophylls); ferner in den Stärkeschichten der Bündel in den Blattscheiden sehr wenig, in dem oberen Theile des Stammes (von dem unteren Kolben aus aufwärts) führten die Stärkeschichten der Bündel ebenfalls Stärke; die unteren Stammglieder und Wurzeln keine (die eben ausbrechenden jungen Wurzeln haben in den Hauben Stärke).

Zucker fand sich in den Wurzeln und in den noch saftigen Zellen des Stammes, welche die Gefässbündel umgeben; die übrigen Parenchymzellen haben ihre Flüssigkeit verloren und führen Luft; ebenso in den Blattscheiden.

Anmerkung. Stärke und Zucker der beiden Kolben im folgenden Abschnitt.

4) Ricinus communis. Die fertige Keimpflanze enthält weder Fett noch Stärke, noch Zucker (mit Ausnahme der Stärke in den Porenzellen, der Terminalknospe und den Wurzelhauben).

Im September untersuchte ich eine im botanischen Garten erzogene Pflanze von 1,3 CM. Höhe; sie war in kräftiger Vegetation begriffen, hatte mehrere fertige Blätter, mehrere junge Blätter und Inflorescenzen und einen Fruchtstand mit halbreifen Früchten.

Stärke: im Chlorophyll der fertigen Blätter und in den Porenzellen sehr viel; in den Stärkeschichten der Nervatur und in denen der Blattstiele fertiger Blätter; ebenso enthielt das Chlorophyll der grünen Rinde der unteren Stammglieder Stärke; in den oberen jungen Gliedern keine oder doch sehr wenig.

In der Axe war die Stärkevertheilung folgende: In der rübenförmigen Wurzel führte das Rindenparenchym, die Markstrahlen (soweit sie im fertigen Holze liegen, nicht in den äusseren Schichten) und der Markumfang Stärke; ebenso verhielten sich die unteren Stammglieder; in den oberen, jüngeren Gliedern führte nur der Stärkering und der Markumfang Stärke.

Junge Blätter von 6—7 MM. Länge enthielten im ganzen jungen Parenchym des Stiels und der Nerven Stärke, keine in dem

Mesophyll (dieses noch in Theilung begriffen). Ein älteres Blatt von 4—5 CM. Länge enthielt im Stärkering des Blattstiels und im Mesophyll Stärke; das junge Stammglied unter diesem Blatte hatte nur im Stärkering Stärke.

Ein sehr junger Blüthenstand (6—7 MM. lang) zeigte in den sehr jungen, noch aus Urmeristem bestehenden Blüthenanlagen keine Stärke, die Axentheile enthielten im Parenchym viel Stärke.

Bei einer jungen weiblichen Blüthe (noch unbefruchtet) enthielt der Kelch etwas Stärke, ebenso der Stärkering des pedunculus; Blumenboden, Carpelle und Narbe ohne Stärke.

In einer eben aufblühenden weiblichen Blüthe enthielt die unbefruchtete Saamenknospe im inneren Integument ziemlich viel Stärke.

Reducirende Substanz fand sich im Parenchym der Blattnerven fertiger Blätter, ihren Blattstielen, im grünen Parenchym des Stammes, seinen Markstrahlen und seinem Mark bis hinab in die Wurzel.

In einem mit jungen Blüthenknospen besetzten Blüthenstande enthielten Rinde und Mark der Spindel, die Kelche, die Staubbeutel, die jungen Carpelle und die Integumente der Ovula Zucker.

5) Brassica oleracea acephala D. C. mit ganzen, ebenen Blättern.

Eine im September aus freiem Land genommene Pflanze mit mehr als 0,3 Mtr. hohem Stamm und vielen frischen, gesunden und ausgewachsenen Blättern, deren untere bis 0,5 Mtr. Länge hatten, ergab:

Stärke in den Porenzellen und im Chlorophyll der fertigen Blätter (in beiden sehr wenig); in den Stärkeschichten der Nerven, der Blattstiele bis hinab zum Stamm fand sich reichlich Stärke, im umgebenden Parenchym keine.

Im Stamm waren die Stärkeschichten*) von der Basis an bis hinauf zur Terminalknospe mit Stärke erfüllt; nahe der Terminalknospe breitete sie sich ins Parenchym aus,

*) Im Stamm bleiben zwischen den grossen Gefässbündeln ziemlich breite Markstrahlen; die Stärkeschichten umgeben die äusseren Leisten der Bündel und ziehen sich seitlich noch tief gegen das Mark hin, so dass man auf dem Querschnitt nach Behandlung mit Jod die Stärkeringe in Gestalt von im Kreis gestellten, sich nicht berührenden Halbellipsen sieht, die ihre Oeffnungen dem Centrum zukehren.

soweit dieses noch streckungsfähig ist und erfüllt die jungen noch nicht grünen Blätter; die schon vorgerückteren Blätter von 5—6 CM. Länge, aber noch beinahe farblos, führten ebenfalls Stärke in ihrem noch nicht fertigen Mesophyll, noch ältere zeigten sehr wenig Stärke.

Reducirende Substanz erfüllte das Parenchym der grösseren Blattnerven, der Mittelrippe und des Stiels fertiger Blätter, ferner Mark und Rinde des Stammes, soweit er Blätter trägt; der untere, blattlose, stark verholzte Theil des Stammes zeigte keine Reduction und ebenso verhielt sich die Terminalknospe.

6) Phaseolus vulgaris. Eine in kräftiger Vegetation begriffene Pflanze, welche in einem Blumentopf am Fenster erwachsen war und neben mehreren Blüthen auch einige junge Früchte trug, und viel gesunde Blätter hatte, wurde untersucht:

Stärke fand ich in den Porenzellen und im Chlorophyll fertiger Blätter in sehr grosser Menge, ferner in den Stärkeschichten der Nerven des Medianus, des Stieles (der Bewegungsorgane), des ganzen Stammes vom Gipfel bis hinab in die Wurzel; in der rübenförmigen Hauptwurzel führte das dünnwandige Holzparenchym Stärke, ebenso das Markparenchym; die unteren verholzten Stammglieder führten auch im Markumfang und in den Markstrahlen reichlich Stärke.

Zucker (oder Dextrin) konnte ich in keinem Theile des Stammes, der Blätter und der Wurzel finden; dagegen tritt er in den Früchten in grosser Menge auf (siehe unten).

7) Dahlia variabilis: Ein 1 Mtr. hoher Strauch mit jungen Blüthenknospen, der aus einem Steckling (nicht aus einem Knollen) im freien Lande erzogen war; er hatte 3 grosse Wurzelknollen gebildet und mehrere kleine fingen eben an, sich auszubilden.

In den kleinen Knollenansätzen fand ich Stärke in sehr kleinen Körnern innerhalb grosser Rindenzellen, welche eine continuirliche Schicht bilden, doch waren die Körner nicht zahlreich, meist in Gruppen zusammenliegend; sie werden mit schwacher Jodlösung ohne Weiteres hellblau, etwas schmutzig gefärbt. Ausserhalb des Gefässbündelkreises zeigt der Querschnitt einen Kreis von Oel-Kanälen, welche viel gelbes Oel führen.

Dextrin (d. h. Reduction von rothem Kupferoxydul) fand ich in diesen jungen Knollen in Mark und Rinde wenig, viel in

den Zellen des Gefässbündelkreises, welche sämmtlich zwar ziemlich gross sind, aber doch noch unausgebildete Wände haben; die Umgebung der Oelgänge enthielt viel Zucker.

In den fertigen, 7—8 CM. langen, 2—3 CM. dicken Knollen fand ich keine Stärke mehr; die Oelgänge waren viel grösser geworden, sie hatten sich seitlich verbreitert, sie lagen innerhalb der jetzt verdickten primären Bastbündel; einfachere Oelgänge finden sich auch zwischen den Gefässbündeln und im Mark; sie lassen beim Durchschneiden grosse gelbe Oeltropfen ausquellen; das Oel wird durch Kali roth.

Die Rindenzellen (nur diese) zeigen sich, nach Behandlung mit Jodtinktur erfüllt mit äusserst feinen, wolkig zusammengeordneten Körnchen, deren Gesammtfärbung aus dem Gelbbräunlichen in's Violette spielt. Sollte das Inulin sein? Einen Niederschlag gelber Körnchen, wie er, vielen Angaben gemäss, durch Jod in inulinhaltigen Flüssigkeiten entstehen soll, konnte ich in den Dahlienknollen niemals finden, was auch mit H. v. Mohl's Bemerkung (die vegetabilische Zelle, p. 208) übereinstimmt.

Dextrin (rothe Reduction) findet sich in diesen reifen Knollen gar nicht, während, wie erwähnt, die unreifen dessen sehr viel enthalten; ebenso tritt bei der Keimung der Knollen wieder viel reducirende Substanz auf. Es findet also hier dasselbe Verhältniss Statt, wie bei den Kartoffelknollen, welche, so lange sie wachsen, neben Stärke viel Zucker enthalten, der aber in reifen Knollen vollständig verschwindet.

In dem Stamm des Haupttriebes fand ich den Stärkering von unten bis zu den Knospen hinauf mit Stärke erfüllt, ebenso in den Stärkeschichten, welche die Gefässbündel der Blattstiele umgeben, bis zum Mesophyll hin, dessen Chlorophyllkörner (in fertigen Blättern) sich durch ihren Reichthum an Stärke auszeichnen.

In jungen Stammgliedern unter den Knospen, welche etwa 1 CM. lang und 3 MM. dick waren, die also erst anfingen, sich zu strecken, fand ich in allen Markzellen feine Stärkekörnchen; ebenso führten die jungen Gefässbündelzellen, die später zu Holzzellen werden, jetzt viel Stärke; keine solche fand sich aber in dem Chlorophyll der jungen Rinde; die jungen noch nicht fertigen Haare enthielten Stärke.

Alle Gitterzellen von der Basis des Stammes an bis hinauf in die Gipfeltheile führten Stärke in der oben beschriebenen Art.

Dextrin (?) fand sich in den Markstrahlen der untersten verholzten Stammtheile, in den oberen fertig gestreckten und in den noch sehr jungen und kurzen Gliedern konnte ich keine Reduction von Kupferoxydul erhalten.

VIII. Verhalten von Stärke, Zucker und Oel bei der Ausbildung einiger Früchte.

Bei der Ausbildung der Früchte lassen sich zwei Stadien annehmen: zuerst bilden sich die einzelnen Theile der Frucht, die Carpelle, Ovula, Keim- und Endosperm-Gewebe (wenn solches vorhanden ist); zum Wachsthum der Zellhäute dieser Theile wird Stärke und Zucker verbraucht; es treten diese Stoffe daher transitorisch in den Geweben auf, um dann, während die Gewebe sich ausbilden, wieder zu verschwinden. Aber schon bevor dieser Ernährungsprocess beendigt ist, beginnt die Ablagerung der Reservestoffe im Keim und im Endosperm.

Das Material zu diesen Stoffen, die theils zum Wachsthum der Gewebe, theils zur Ablagerung der Reservenahrung dienen, kann entweder aus nächster Nähe kommen oder es muss aus entfernteren Theilen hergeleitet werden. Das erstere kann dann geschehen, wenn die Carpelle eine grosse Oberfläche haben, welche dem Licht ausgesetzt, Chlorophyll und in diesem Stärke bildet, wie es besonders bei den Hülsen der Bohne und ihrer Verwandten der Fall ist; in diesem Falle übernimmt das Carpell die Funktion der Blätter, und wenn die Annahme richtig ist, dass die von den Blättern bereitete Stärke zur Ernährung der Zellhäute junger Organe dient, so hindert nichts die weitere Annahme, dass die blattartigen Carpelle eine derartige Funktion für die von ihnen umschlossenen Saamen- und Keimanlagen übernehmen.

Wenn dagegen die Carpelle dem Lichteinfluss entzogen sind, wenn sie ihre blattartige Structur und Funktion verlieren, also selbständig keine assimilirten Stoffe bilden können, so bleibt nur die Annahme übrig, dass sie die zur Ausbildung ihrer eigenen Zellhäute, so wie zum Wachsthum der Ovula und zur Reservenahrung nöthigen Stoffe aus den thätigen Blättern durch den Stamm zugeführt erhalten; in diesem Falle befindet sich der Mais. Natürlich können hier auch vermischte Verhältnisse eintreten; wenn auch die grüne Fruchtschale selbst als Assimilationsorgan auftritt,

so kann doch gleichzeitig auch von dem Stamme her (eigentlich von den Blättern aus) ein Zufluss von Stärke oder anderer Zellstoffbildner stattfinden.

So wie im Stamm nach der vollendeten Streckung der Glieder noch ein dauernder, wenn auch langsamerer, Verbrauch solcher Stoffe durch die Verholzung und fernere Verdickung der Zellwände nöthig wird, so findet etwas Aehnliches Statt bei der Ausbildung derjenigen Fruchttheile, welche zum Schutz des Saamens bestimmt sind; so verholzt bald die innere Schicht des Carpells, bald gewisse Schichten der Integumente, was natürlich nur auf Kosten von Stärke oder verwandter Stoffe möglich ist. Die Ausbildung des Endocarps und der Saamenschale von Ricinus, die ich genauer verfolgte, liefert dafür ein Beispiel.

Während in den meisten Fällen der bei der Fruchtbildung stattfindende Aufwand an Stoffen in einer unverkennbaren Beziehung zum Schutz und zur Ernährung der künftigen Generation steht, tritt häufig auch eine Ablagerung von Stärke, Oel, Zucker in den Fruchttheilen auf, die eine solche Beziehung nicht erkennen lässt; die in den Pflaumen, dem Fleisch der Beeren, dem Blumenboden der Erdbeeren, dem Fleisch der Aepfel, den Feigen u. s. w., also in morphologisch völlig verschiedenen Theilen angehäuften Massen von Zucker erscheinen, bei ihrer Zwecklosigkeit für die Pflanze selbst, geradezu als Auswurfsstoffe, als Excrete, deren Bedeutung für die Pflanze im Allgemeinen und für den Haushalt der Natur durch diese Auffassungsweise keineswegs geschmälert wird.

1) Phaseolus vulgaris. Den Reifungsprozess in Bezug auf das Verhalten von Stärke und Zucker zur Ausbildung der Gewebe habe ich, von der Befruchtung angefangen, in sechs Stadien untersucht. Die Früchte rührten von im Freien erwachsenen Stangenbohnen her; alle Entwickelungsstadien wurden zur selben Zeit von denselben Pflanzen genommen.

Erstes Alter: Das Legumen 1 CM. lang*); Ovula kaum 1 MM. lang; die Blüthentheile sind soeben abgefallen.

Carpell: äussere grüne Schicht: im Chlorophyll noch keine Stärke, kein Zucker;

innere farblose Schicht: keine Stärke, kein Zucker. Die Gefässbündel an Bauch- und Rückennath führen in ihren Stärkeschichten Spuren von Stärke.

*) Bei der Länge des Legumens ist der Schnabel nicht mitgerechnet.

Ovula: im Parenchym des Funiculus viel Stärke, die Umgebung des Embryosackes enthält Stärke, dieser selbst keine.

Zweites Alter: Legumen 3 CM. lang, Ovula 1,5 MM. lang.

Carpell: äussere grüne Schicht: im Chlorophyll kleine Stärkekörnchen, wenig Zucker;
innere farblose Schicht: keine Stärke, ziemlich viel Zucker.

Ovula: im Parenchym des Funiculus viel Stärke, kein Zucker; in der nächsten Umgebung des Embryosackes viel Stärke, in den entfernteren Zellenlagen wenig; kein Zucker.

Embryo noch sehr klein: ohne Stärke.

Drittes Alter: Legumen 10 CM. lang, Ovula 3 MM. lang.

Carpell: äussere grüne Schicht: die Stärkekörnchen im Chlorophyll sind grösser; kein Zucker;
innere farblose Schicht: enthält ziemlich viel sehr feinkörnige Stärke, und viel Zucker.

Ovula: das Parenchym des Funiculus enthält viel Stärke, keinen Zucker; die Umgebung des Embryosackes enthält viel Stärke.

Viertes Alter: Legumen 20 CM. lang; Ovula 6 MM. lang.

Carpell: äussere grüne Schicht: im Chlorophyll grosse Stärkekörnchen; die Zellen enthalten jetzt viel Zucker;
Mittelschicht*) enthält viel Zucker;
innere farblose Schicht: wenig Stärke, viel Zucker.

Ovula: im Parenchym des Funiculus viel Stärke.
noch weiche Saamenschale voll Stärke, die äussere Zellenlage voll Zucker.

Embryo (2 MM. lang): Cotyledonen voll Stärke und Zucker.

Fünftes Alter: Legumen 22 CM. lang, Ovula 15 MM. lang.

Carpell: äussere grüne Schicht: im Chlorophyll grosse Stärkekörner, die Zellen enthalten viel Zucker;
Mittelschicht: viel Stärke um die Bündel;
innere farblose Schicht: fängt an zu vertrocknen, enthält keine Stärke mehr.

---

*) Zwischen der grünen Schicht und dem farblosen Endocarp liegend, hauptsächlich aus Gefässbündeln gebildet, die sich erst später ausbilden.

Ovula: im Parenchym des Funiculus viel Stärke; kein Zucker;
Saamenschale enthält viel Stärke, in der Nähe des Funiculus auch Zucker.
Embryo (erfüllt jetzt die Saamenschale): voll kleiner Stärkekörnchen.
Sechstes Alter: Legumen 22 CM. lang, ist nicht mehr grün;
Carpell: äussere Schicht enthält viele ziemlich grosse Stärkekörner;
innere Schicht ganz vertrocknet;
Saame: der Funiculus enthält keine Stärke mehr;
in der Saamenschale enthalten nur die inneren Zellen noch Stärke.
Embryo: die Cotyledonen enthalten schon die eiförmigen für die Bohne characteristischen Körner.

Ich glaube, diese Beobachtungsdaten lassen sich folgendermaassen zusammenfassen:

Die erste Nahrung zur Anlage des Carpells und der Ovula kann nur durch den Fruchtstiel zugeführt werden, dessen Stärkeschicht Stärke führt, denn das Chlorophyll des jungen Carpells fängt erst später an, Stärke zu bilden; auch dann, wenn das Carpell schon Stärke erzeugt, scheint doch ein starker Zufluss dieses Stoffes aus den Blättern stattzufinden, da bei der Bohne durch die Fruchtreife die Blätter bekanntlich ausgesogen werden.

Die zur Ausbildung der Saamenknospe und zur Ablagerung der Reservestärke in den Cotyledonen nöthige Stärke wird durch das Parenchym des Funiculus zugeführt, welches sie aus den die Nath entlang laufenden Stärkeschichten der Gefässbündel bezieht: die Stärke wird bei ihrer Wanderung durch den Funikulus nicht in Zucker oder Dextrin umgewandelt, sondern sie wandert (wie in den Stärkeschichten junger Stämme), ohne sich in Zucker oder Dextrin zu verwandeln.

Die Stärke verwandelt sich erst in denjenigen Geweben in Zucker, wo sie zur Nahrung der Zellhäute dient, in dem noch jungen Endocarp, in der Saamenknospe und besonders in der Saamenschale; der Zucker verschwindet vollständig, sobald kein Zellenwachsthum mehr stattfindet. Wie bei den Knollen der Kartoffel und der Dahlia macht sich die Reife des Embryo's durch das Verschwinden des Zuckers geltend.

Ueber den Inhalt des Embryosackes in den früheren Stadien

konnte ich nicht ins Klare kommen; Stärke enthält er gewiss nicht; Zucker wahrscheinlich nicht; vielleicht nimmt das Embryo die von dem Embryosack eingesogenen Stoffe sogleich für sich in Beschlag, so dass also in diesem keine hinreichende Anhäufung eintreten kann, um nachweisbare Quanta zu ergeben.

2) Ricinus communis:

Erstes Alter der Frucht: Die Befruchtung ist eben erfolgt, die Frucht ist circa 5 MM. lang.

Carpell: äussere grüne Schicht: das Chlorophyll enthält keine Stärke, die Porenzellen enthalten Stärke, kein Zucker;
junges Endocarp: keine Stärke und kein Zucker.

Spermophor: keine Stärke, kein Zucker.

Ovula: beide Integumente voll Zucker, keine Stärke, Knospenkern enthält neben Stärke wenig Zucker.

Embryo: aus wenigen Zellen bestehend, diese in Theilung, ohne Stärke und ohne Zucker.

Zweites Alter: Frucht kugelig, 8 MM. Durchmesser.

Carpelle: äussere grüne Schicht: im Chlorophyll deutlich, aber wenig Stärke; kein Zucker in den Zellen;
Endocarp: keine Stärke, sehr viel Zucker*).

Spermophor: enthält im Parenchym viel Stärke, im Continuo mit der Stärke im Pedunculus.

Die innere Oberfläche des Fruchtfaches ist da, wo sie von Scheidewänden und dem Spermophor gebildet wird, besonders an der Basis des Faches, mit sehr zahlreichen Spaltöffnungen besetzt, welche sämmtlich Stärke in den Porenzellen führen.

Ovula: das äussere Integument und der Micropyle-Theil des inneren enthalten wenig Stärke; Integumente und Kern voll Zucker.

Drittes Alter: Frucht 12 MM. Durchmesser; das Endocarp noch ganz weich.

Carpelle: äussere grüne Schicht: das Chlorophyll enthält Stärke; die dem Endocarp nächsten Zellen enthal-

*) Die das Endocarp bildende Schicht des Carpells enthält eine Schicht von Zellen, welche von innen nach aussen radial gestreckt sind, dünne Wände und ein enges Lumen haben und unmittelbar vor der Reife der Frucht durch Verholzung erhärten.

ten weit mehr Stärke und etwas Zucker. Das Endocarp enthält keine Stärke, wenig Zucker.

Spermophor: enthält im Parenchym Stärke und viel Zucker (sogar in den Gefässbündeln).

Ovula: das äussere Integument ist voll Stärke und Zucker. Das innere Integument bildet aus seiner äussersten (dem äusseren Integument anliegenden) Schicht die Saamenschale; die Zellen dieser Schicht sind jetzt radial gestreckt, dünnwandig*); diese junge Saamenschale enthält Zucker, aber keine Stärke; Stärke findet sich dagegen im inneren Umkreis dieser Schicht in den benachbarten Zellen des inneren Integuments. Auch diejenigen Zellen des inneren Integuments, welche den Knospenkern umgaben, enthalten viel Stärke. Alle Zellen des inneren Integuments enthalten Zucker.

Knospenkern enthält keine Stärke, aber viel Zucker.

Endosperm (als Wandbekleidung des Embryosackes): enthält keine Stärke, aber Zucker und etwas Oel.

Embryo: kugelig, Zellen noch in Theilung begriffen, keine Stärke.

Viertes Alter: Durchmesser der Frucht = 18 MM.; das Endocarp noch nicht erhärtet.

Carpelle: äussere grüne Schicht: das Chlorophyll enthält viel Stärke, die Zellen nahe dem Endocarp sind besonders reich an Stärke; kein Zucker.

Endocarp: keine Stärke; Zucker nur in den kleinen Zellen, welche die langen, dünnen, radialgelegten Zellen des Endocarps innen und aussen umgeben.

Spermophor: wenig Stärke und viel Zucker.

Ovula: das äussere Integument (aus kleinen Zellen bestehend) enthält noch immer viel Stärke und Zucker;

die Saamenschale (d. h. die äussere Schicht des inneren Integuments) enthält keine Stärke und keinen Zucker; die nächst inneren Schichten des

*) Aehnlich wie im Endocarp.

Integuments enthalten etwas Stärke; alle nicht zur Schale gehörigen Zellen des inneren Integuments voll Zucker;

Knospenkern ohne Stärke und ohne Zucker;

das Ende der Raphe am Grunde des anatorpen Ovulums ist mit stärkeführenden Zellen umgeben.

Endosperm: enthält keine Stärke, aber viel Zucker in den sich streckenden Zellen und etwas Oel.

Embryo: fängt an die Cotyledonen zu bilden, er ist immer noch sehr klein, und nur in dem Wurzelende findet sich ein wenig Stärke.

Fünftes Alter: Durchmesser der Frucht 18 MM.; Endocarp fängt an, etwas zu erhärten, Saamenschale schon sehr hart und spröde; das Endosperm füllt den Embryosack aus und hat Knospenkern und die inneren Schichten des inneren Integuments verdrängt.

Carpelle: äussere Schicht noch grün; im Chlorophyll viel Stärke;

Endocarp (fast erhärtet): ohne Stärke und ohne Zucker.

Ovula: Saamenschale (erhärtet) enthält keinen Zucker mehr. Auch das äussere Integument hat weder Stärke noch Zucker.

Endosperm: enthält jetzt viel Oel, aber keinen Zucker mehr.

Embryo: fast ausgewachsen; alle Zellen (mit Ausnahme der Gefässbündel und der Vegetationspunkte) voll Stärke!

Der reife Embryo enthält nur Oel.

Auch bei Ricinus muss man annehmen, dass die junge Frucht, so lange das Chlorophyll der äusseren Carpellschichten keine Stärke enthält, nur auf Kosten der Nahrung wächst, welche durch den Pedunculus zugeführt wird; später, wenn das Chlorophyll Stärke bildet, fährt auch der Pedunculus noch fort, Stärke zuzuführen. Am einfachsten scheint hier die Annahme, dass die Stärke, welche im Chlorophyll der Carpelle erzeugt wird, zur Ernährung des Endocarps dient; während die durch den Fruchtstiel zugeleitete Stärke im Spermophor aufsteigt und durch die die Raphe umgebenden Zellschichten dem äusseren Integument, dem inneren Integument und dem Knospenkern zufliesst.

Zu bemerken ist, dass in den stark verholzenden Zellen, welche

das Putamen und die Testa bilden, niemals Stärke auftritt (so wie in den Holzzellen der Gefässbündel), dass nur Anfangs, wenn diese Zellen noch sehr dünnwandig sind, Zucker in ihnen vorhanden ist; dagegen wird sowohl das Endocarp als auch die Testa während ihrer Ausbildung von Zellschichten umgeben, welche Stärke und Zucker führen; es ist daher anzunehmen, dass diese Zellen, welche später zerstört werden, nur dazu dienen, den Nährstoff für die stark verholzenden, schützenden Saamendecken zu liefern.

Ein ähnliches Verhalten findet in Bezug auf den Embryosack Statt; derselbe führt niemals Stärke; an seinem Umfang bilden sich die Endospermzellen, während die sie umgebenden Zellen des Nucleus Stärke enthalten, welche offenbar das Material zu dem Zucker giebt, der in dem sich bildenden Endosperm die Nahrung der Zellhäute und vielleicht den Stoff für die Oelbildung darstellt.

Der Embryo dagegen erfüllt sich anfangs mit Stärke, die erst ganz zuletzt sich in Oel umwandelt.

Nach Nägeli's Angaben scheint die Oelbildung im Endosperm von Canabis sativa (a. a. O. p. 548) ebenfalls ohne vorgängige Stärkebildung im Endosperm stattzufinden*) Den unreifen Saamen von Cirsium monspessulanum M. und Calendula officinalis L. mangelt das Amylum nach Nägeli (a. a. O. p. 552) in allen Stadien gänzlich, wonach hier in den Cotyledonen ein ähnlicher Process, wie im Endosperm des Ricinus, stattfinden müsste (zu vergleichen ist noch p. 391 a. a. O.).

Dagegen giebt H. v. Mohl (Vegetabilische Zelle p. 207) an: es verschwinde in dem Albumen des Palmensaamens gegen die Zeit der Saamenreife das Amylum und es tritt fettes Oel, zu welchem es ohne Zweifel das Material liefert, an seine Stelle.

3) Cheiranthus incanus. Sehr junge Schoten gleich nach der Befruchtung enthielten in dem äusseren Theil des Carpells viel Stärke; das Endocarp dagegen, dessen Zellen später sehr dickwandig werden und verholzen, enthielt keine Stärke; in der Scheidewand war sie reichlich vorhanden; sämmtliche Gefässbündel der Frucht von Stärkeringen umgeben. Der Funiculus führte im

*) Doch dürfte die Angabe, „auch den unreifen Saamen von Canabis sativa L. mangelt das Amylum in jedem Stadium", noch eine Berichtigung finden, nach meinen Beobachtungen scheint mir diese Behauptung, sofern sie sich auf den ganzen Saamen bezieht, zu weit zu gehen; die Stärkenachweisung in den jungen Saamen ist schwierig und kann die Stärke hier der Beobachtung leicht entgehen.

Parenchym Stärke, ebenso Integument und Kern. Doppelt so grosse Früchte zeigten noch dieselbe Vertheilung der Stärke, nur hatte sie sich in den, das Endocarp umgebenden Zellen angehäuft; Zucker fand sich in den sich verdickenden Zellen des Endocarps. In älteren Schoten, die fast ausgewachsen waren, fand sich Stärke nur in der Nähe der Gefässbündel, in der jungen Saamenschale, im Funiculus und der Umgebung des Embryosackes.

Zucker enthielt das farblose Parenchym des Carpells, das noch nicht ganz erhärtete Endocarp und die Ovula.

Gegen die Reife hin verschwindet die Stärke aus allen diesen Theilen, und nur der jetzt heranwachsende Embryo erfüllt sich mit Amylum, welches bei völliger Reife in Oel übergeht.

Nägeli (a. a. O. p. 890) sagt: „Zuweilen besitzen die Saamenlappen im unreifen Zustande ziemlich reichliche Stärke, die vor der Reife durch Oel ersetzt wird, so z. B. bei Pyrus Malus Lin. und Pyrus communis Lin. — Die jungen Saamen von Corylus Avellana Lin. enthalten ausser dem Zellkern keine festen Stoffe in den Zellen der Cotyledonen. Dann treten neben demselben zuerst kleine Amylumkörner auf, welche sich vermehren und grösser werden. In einem Stadium enthalten die Saamen ziemlich viel Stärke und noch kein Oel; dann bildet sich letzteres, indem die erstere verschwindet. Wenn die Fruchtschale anfängt, sich am Grunde zu bräunen, so ist fast kein Amylum mehr vorhanden. — Die Saamenlappen von ausgewachsenen, aber noch nicht vollkommen reifen Saamen in bereits goldgelb gefärbten Früchten von Cucumis sativus*) Lin. enthalten noch fast kein Fett, dagegen reichlicher Stärke, welche sie dann bald gänzlich verlieren. — In den Saamen von Brassica Napus Lin. ist vor der Reife sowohl im Albumen, als besonders in den Cotyledonen und in den Saamenschalen viel Amylum enthalten. Die Resorption desselben geschieht in der äusseren Saamenhaut schon frühzeitig, in den übrigen Theilen aber zu der Zeit, wenn sich die grünen Schalen gelb färben; in den braungelben Saamen ist es gänzlich verschwunden und Oel an dessen Stelle getreten."

Im Gegensatz zu dem bei Ricinus und Canabis eintretenden

*) Junge Früchte von Cucurbita Pepo enthielten im Parenchym der Pulpa und besonders in der Umgebung der Gefässbündel viel Stärke, ebenso in den jungen Saamenschalen, noch keine im Embryo; Zucker in dem Parenchym und den Gefässbündeln des Fruchtfleisches und den Saamenschalen, nach einer früheren Beobachtung von mir.

Falle tritt nach Nägeli (a. a. O. p. 391) auch im ölhaltigen Endosperm mancher Pflanzen, sowie bei den Palmen nach Mohl, zuerst Stärke auf: bei Lilium bulbiferum Lin., Scabiosa atropurpurea Lin., Campanula Sp., verschiedenen Arten von Paeonia.

Zea Mais. An einem bereits bestäubten, aber noch nicht befruchteten Kolben enthielten die 15 Hüllblätter nur gegen die Basis hin etwas Stärke und Zucker; dagegen enthielten die zugehörigen Internodien reichlich Stärke und viel Zucker im ganzen Parenchym; auch die ihrer Lage nach den Gitterzellen entsprechenden Zellen der Gefässbündel schienen Zucker zu führen. Die Kolbenspindel, soweit sie mit den Aehrchen besetzt ist, enthielt in ihrem ganzen Rindenparenchym*) viel Stärke, Zucker erfüllte Mark und Rinde.

Die Aehrchenspindeln, ihre schuppenartigen Glumen und Spelzen waren mit Stärke dicht erfüllt, ebenso das innere Gewebe des Carpells; dagegen fehlte die Stärke vollständig in der Saamenknospe, im Embryosack und in den Keimbläschen; alle mit Stärke erfüllten Gewebe enthielten zugleich Zucker, der auch im Knospenkern nicht vollständig mangelte. Ein älterer Kolben mit bereits befruchteten Keimbläschen verhielt sich ebenso, nur fand sich hier kein Zucker mehr im Knospenkern, dafür aber im Embryosack.

Die Untersuchung eines viel weiter entwickelten Kolbens, dessen Körner noch weich, aber ausgewachsen waren, liess in der Spindel nur Spuren von Stärke erkennen, und sehr wenig Zucker; die Stärke lag in einzelnen kleinen Körnchen im Parenchym zerstreut; die Aehrchenspindeln, die Bälge und Spelzen waren viel grösser, dafür aber führten sie weder Stärke noch Zucker; das Carpell enthielt im Basaltheil indessen noch etwas Stärke. Das Endosperm, welches bereits die ganze Caryopse erfüllte, war mit Stärke dicht erfüllt, beide enthielten noch viel Zucker. Der Embryo, der ungefähr ein Viertel seiner definitiven Grösse hatte, enthielt Stärke in allen Theilen.

Bei vollständiger Reife verschwindet dann der Zucker aus dem Endosperm und dem Carpell, die Stärke im Embryo verwandelt sich in Oel, doch bleibt oft etwas Stärke auch in ihm zurück.

Aus dem Bau des Maiskolbens und seiner Umhüllung folgt von selbst, dass hier die Nahrung für die Zellhäute der Fruchttheile

*) An der Spindel ist eine Unterscheidung in Rinde und Mark wegen der Stellung der Gefässbündel gerechtfertigt.

und die zur Ablagerung nöthige Stärke nur von der Pflanze geliefert werden kann, dass eine selbstständige Betheiligung der Frucht an der Assimilation nicht möglich ist. Auch kann die Anfangs in der Kolbenspindel vorhandene Stärke und Zucker nicht ausreichen, um den ganzen Bedarf während des Reifens zu decken, denn die Spindeltheile selbst verbrauchen einen grossen Theil dieser Stoffe bei ihrer Verholzung. Es muss daher während des Reifens ein Zustrom von Stärke (und Zucker) aus dem Stamme stattfinden, der in seinen, die Gefässbündel begleitenden Stärkeschichten die Stärke aus den Blättern dem Kolben zuführt.

Ueber das Reifen der Pollenkörner sind in Bezug auf das Verhältniss von Stärke, Zucker und Oel noch keine Beobachtungen vorhanden, doch hält Nägeli (a. a. O. p. 388) das Auftreten von Stärke in sonst ölhaltigen Pollenkörnern für ein Anzeichen, dass auch hier, wie meist bei den Saamen, die Stärke als Vorläuferin des Oels auftrete.

IX. Ueber das Vorkommen von Stärke, Oel, Zucker in den verschiedenen Geweben.

Trotz der grossen Mannigfaltigkeit in der Vertheilung und dem zeitlichen Auftreten der Zellstoffbildner, die anfangs den Schein völliger Gesetzlosigkeit erregt, findet doch, wie es scheint, eine allgemeine Gesetzmässigkeit Statt, die hauptsächlich dann hervortritt, wenn man den Thatsachen dadurch einen inneren Zusammenhang verleiht, dass man die Entstehung, Fortleitung, Verwendung und Ablagerung der hierher gehörigen Stoffe in ihrem Verhältniss unter einander und zu dem Wachsthum der Gewebe betrachtet. Bevor ich aber im nächsten Abschnitt versuche, einen derartigen Zusammenhang der Erscheinungen plausibel zu machen, möge hier noch eine übersichtliche Zusammenstellung der für uns wichtigeren Vorkommnisse Platz finden.

1) Stärke kommt vor:

a) mit wenigen Ausnahmen in den Chlorophyllkörnern, wo sie als ein Product der chemischen Lebensthätigkeit derselben entsteht. Zu dieser Annahme berechtigen meine unter IV. genannten Beobachtungen, die von Nägeli, Cramer,

II. v. Mohl und das Auftreten der Stärke im Chlorophyll der Carpelle von Phaseolus und Ricinus (unter VIII.);

b) in den die Gefässbündel begleitenden Zellschichten, welche in der Pflanze gleich den Gefässbündeln selbst ein zusammenhängendes System bilden. Diese Schichten führen nach meinen Beobachtungen in den oberirdischen Theilen immer Stärke, so lange Wachsthum von Zellen oder Ablagerung von Reservestoffen stattfindet, und zwar lässt sich als allgemeine Regel aufstellen, dass die stärkeführenden Schichten den Zusammenhang herstellen zwischen dem stärkebildenden Mesophyll einerseits und den stärkeverbrauchenden Knospentheilen andererseits, oder während der Keimung: zwischen den Reservestoffen der Saamen oder Knollen, oder Stammtheilen, oder Wurzeln einerseits und den wachsenden Keimtheilen (oder Frühjahrstrieben) andererseits. Die einfachste Erklärung für dieses Vorkommen der Stärke liegt in der Annahme, dass sie in den genannten Schichten nicht ruht, sondern wandert und zwar von dem Orte ihrer Entstehung oder Ablagerung zu dem ihrer Verwendung hin;

c) im jungen Parenchym, welches seine Zelltheilungen beendigt hat und sich zu strecken beginnt, in dem entsprechenden Stadium des Mesophylls, der Integumente u. s. w. findet sich immer Stärke in kleinen Körnchen (vielleicht zuweilen auch in Gestalt von Kleister), welche in dem Grade verschwindet, als die Streckung der Zellen fortschreitet. Aus diesem Auftreten und Verschwinden ist zu schliessen, dass die Stärke das Material zum Wachsthum derselben Zellen liefert. Jederzeit, wo ich es suchte, liess sich ein Zusammenhang dieser jungen stärkeführenden Gewebe mit den Stärkeschichten älterer Theile, also in letzter Instanz mit dem stärkeführenden Mesophyll fertiger Blätter oder bei Keimen mit den Cotyledonen, Endosperm oder sonstigen Nahrungsbehältern nachweisen.

d) Zellen, welche dazu bestimmt sind, sich stark zu verdicken oder zu verholzen, führen, wie es scheint, niemals Stärke; dahin gehören die Bastzellen, Collenchym, viele Holzzellen, Gefässe, die verholzenden Zellen, welche das Endocarp und die Saamenschale von Ricinus bilden.

Aber in der nächsten Umgebung dieser Zellen findet

sich, während ihre Zellhäute in Verdickung begriffen sind, gewöhnlich ein Gewebe, welches reich an Stärke ist und ihnen das Material zum Wachsthum ihrer Zellwände liefert; diese Rolle spielt der Stärkering der Gefässbündel in Bezug auf den Bast und ähnlich verhalten sich die Zellschichten, welche das noch junge Endocarp von Ricinus und Cheiranthus umgeben, ebenso liegt die sich ausbildende Saamenschale von Ricinus zwischen zwei stärkeführenden Schichten (dem äusseren Integument und der zweiten Schicht des inneren).

e) Wenn während der Vegetation mehr Stärke gebildet wird, als zum Wachsthum der Knospentheile und zur Verdickung der Zellwände älterer Theile nöthig ist, so geht sie zunächst in die Zellen des Markumfanges und dann in die der Rinde, zunächst den Stärkeschichten, über (einige Beispiele unter VII.).

f) Bei der Bildung der Reservenahrung ist es fast ausschliesslich, wo die Stärke in grossen Körnern auftritt, besonders dann, wenn die Zellen der Reservenahrungsbehälter gross sind, während die transitorische Stärke überall in kleinen Körnern erscheint und wohl desswegen im Allgemeinen übersehen worden ist.

Während der Ablagerung der Reservestärke lässt sich ein continuirlicher Zug stärkeführender Gewebe von den Blättern aus durch den Stamm bis zum Ablagerungsgewebe verfolgen; dabei kann aber, wie es scheint, die grüne Rinde die Stelle der Blätter theilweise oder ganz vertreten.

Gewöhnlich wird aber die Stärke bei ihrer Ablagerung als Reservestoff in andere verwandte Stoffe umgebildet, in Oel, seltener in Rohrzucker, Inulin oder in Zellstoff.

g) Im Allgemeinen ist das Vorkommen von Stärke in vegetativen Theilen auf diejenigen Gewebe beschränkt, deren Zellen zwischen ihren Kanten luftführende Intercellularräume bilden, also vorzüglich auf die eigentlichen Parenchymmassen. Daher fehlt die Stärke in dem Urmeristem der Vegetationspunkte, welches noch keine Intercellularräume hat, ferner in der Epidermis (mit wenigen Ausnahmen) und in den gestreckten Zellen der Gefässbündel, so lange diese noch keine Intercellularräume haben (Ausnahmen

sind die unter VI. genannten Zellen in den Gefässbündeln der Cotyledonen der keimenden Ceratonia und die stärkeführenden Gitterzellen im Stamm der Dahlia); unter dieselbe Regel gehört der Mangel der Stärke in den Korkzellen, da diese keine Intercellularräume bilden (hiermit ist Nägeli a. a. O. p. 383 zu vergleichen).

Diese Regel lässt sich auch auf den im Winter stärkeführenden Holzkörper ausdehnen, insofern die luftführenden Gefässröhren und selbst die Tüpfelräume als ein physiologischer Ersatz für die im Parenchym verlaufenden luftführenden Intercellularräume zu betrachten sind. Dagegen scheint das Vorkommen von Stärke im Endospermgewebe von Zea Mais u. A. eine wirkliche Ausnahme zu sein, da ich in demselben keinerlei luftführende Räume finden konnte.

h) Eigenthümlich und nicht ganz erklärlich erscheint das regelmässige Vorkommen der Stärke in den Porenzellen (selbst in den Fächern der Ricinusfrucht) und bei völlig etiolirten Pflanzen und in den Wurzelhauben.

i) Niemals scheint Stärke vorzukommen in Wurzelhaaren und in fertigen Haaren der Stengel und Blätter.

2) Traubenzucker.

a) Er tritt häufig, aber, wie es scheint, nicht immer auf, wenn Stärke in den wachsenden Zellen in Zellstoff übergeht, so bei der Streckung der Keimtheile während der Keimung (s. unter VI.), bei der Ausbildung des Endocarps und der Saamenschale, bei dem Wachsthum der Ablagerungsgewebe (Kartoffeln und Dahlienknollen), d. h. in solchen Fällen, wo eine sehr beschleunigte Vergrösserung oder Verdickung der Zellen eintritt (s. unter VII. u. VIII.).

b) Er scheint immer zu fehlen (d. h. er ist in nicht nachweisbarer Menge vorhanden) in dem Urmeristem der Vegetationspunkte, im zellbildenden Cambium, in fertigen verdickten Zellen (Collenchym, Bast, Gefässe, Endocarp, Testa), ferner in den fertigen Haaren, der Epidermis und endlich in den chlorophyllhaltigen Zellen der assimilirenden Blätter (doch bedarf letzteres noch genauerer Prüfung).

c) Am Ende der Vegetation und in den jungen Früchten scheint Zucker auch in den dünnwandigen Zellen der

Gefässbündel zwischen Cambium und Bast und in den Gitterzellen aufzutreten (Mais, Ricinus unter VII. u. VIII.).

d) Traubenzucker (Dextrin?) findet sich allgemein in den Ablagerungsgeweben der Reservenahrung, bevor die Nahrungsbehälter reif geworden sind (im Endosperm unreifer Saamen unter VIII. in unreifen Kartoffeln und Dahlienknollen).

e) Er entsteht bei der Auflösung der Reservenahrung (im Endosperm von Ricinus, Mais, Dahliaknollen), davon scheinen aber die Cotyledonen von Phaseolus eine Ausnahme zu machen.

f) Endlich scheint Traubenzucker gewöhnlich im Parenchym der Blattstiele und Stammtheile älterer einjähriger Pflanzen aufzutreten, wie die unter VII. für Solanum, Zea, Brassica, Ricinus, Beta mitgetheilten Beobachtungen darthun. Ich möchte hierbei eine Bemerkung nicht unterdrücken, die ich indessen nicht als Behauptung hinstelle, sondern nur um eine mögliche Erklärung anzudeuten. Es wäre nämlich möglich, dass ein Theil der Stärke in den genannten Theilen durch den Einfluss des Lichts in Zucker überginge, da einerseits aus den Beobachtungen von Nièpce und Corvisart*) hervorgeht, dass Stärke durch Sonnenlicht in Dextrin und Traubenzucker übergeführt wird, und da andererseits meine Beobachtungen (Ueber die Durchleuchtung der Pflanzentheile, Sitzungsber. d. kais. Acad. 1860) zeigten, dass das Licht mit namhafter Intensität tief in die Gewebe eindringt. Das angedeutete Auftreten von Zucker in den älteren vegetativen Geweben einjähriger Pflanzentheile, in denen weder energische Streckungsprocesse, noch starke Ablagerung von Reservestoffen stattfindet, kann nicht auf gleiche Linie gestellt werden mit der Zuckerbildung in rasch wachsenden Organen und in den jungen Ablagerungsgeweben. Doch sind hier noch weitere Untersuchungen nöthig. Vielleicht ist der in fleischigen Früchten auftretende Zucker mit in diese Kategorie zu rechnen.

3) Fettes Oel tritt, wie es scheint, in grösserer Menge immer nur als Reservenahrung auf**); in kleineren Quantitäten

*) Annalen der Chemie v. Wöhler u. s. w. 1860, p. 112.

**) Als solche wohl auch in den Knollen von Cyperus esculentus (Treviranus Physiol. d. Pfl. II. p. 47).

scheint es aber sehr allgemein mit Zucker und Stärke zugleich in den verschiedensten Pflanzentheilen vorzukommen. Der microscopischen Nachweisung stehen aber bis jetzt grosse Schwierigkeiten im Wege, die eine methodische Verfolgung der fetten Oele durch alle Theile der sich entwickelnden Pflanzen ganz unmöglich machen.

Wo sich das Fett wegen seiner grösseren Anhäufung microscopisch verfolgen lässt, tritt es jederzeit unter solchen Umständen auf, dass man es als ein Substitut der Stärke betrachten kann, so wie das fette Oel in den Chlorophyllkörnern von Rhipsalis und Cereus (Nägeli), und in den Saamen und Sporen zwingen die Beobachtungen sogar zu der Annahme, dass das Fett nicht nur als Ersatz für die Stärke auftritt, sondern dass es sich entweder aus dieser oder aus Zucker bildet, und bei der Keimung findet ohne allen Zweifel eine Rückbildung des Fettes in diese Substanzen Statt.

Die vorhandenen, freilich sehr ungenügenden Angaben der Chemiker lassen wenigstens soviel erkennen, dass die Fette auch in den vegetativen Theilen sehr verbreitet sind; so in den Schwämmen (neben Mannit und gährungsfähigem Zucker), z. B. Phallus impudicus, Peziza nigra, Hydnum, Polyporus, Cantharellus, Agaricus*); in den Milchsäften von Galactodendron dulce, Hura crepitans, Papaver kommen nach Boussingault**) fette Oele vor; die Halme (und Blätter) blühender Gramineen und Caricineen enthalten nach Arendt und Knop***) einige Procente an Fett; kleine Mengen davon sind auch in den Kartoffelknollen†) und in den Runkelrüben††) vorhanden. Die Chlorophyllkörner der Moose enthalten nach Nägeli†††) gewöhnlich Stärke, die älteren Theile Oel. Sanio (Untersuchungen über die im Winter stärkeführenden Zellen der Holzkörper dikot. Holzgewächse, 1858, p. 17) giebt an, es fände sich in den Holzparenchymzellen wie in den Markstrahlzellen, welche auch in ihrem sonstigen Inhalt mit einander übereinstimmen, bei manchen Gewächsen ein Stoff von ölartigem

*) Rochleder: Phytochemie p. 248—990, und Handwörterbuch der Chemie von Liebig: Artikel Schwämme.

**) Landwirthschaft I, p. 78.

***) Die landwirthsch. Versuchsstationen, II. Bd. p. 32.

†) Ebendas. I. Bd. p. 106.

††) Rochleder a. a. O. p. 79.

†††) Nägeli a. a. O. p. 534.

Aussehen; er habe ihn u. a. bei Zanthoxylon fraxineum, Viburnum Oxycoccos, Lantana, Spiraea Opulifolia, Salix cinerea gefunden. Nach Treviranus (Physiol. II. p. 47) erzählt Rumph von einem Baum auf Java, den er Arbor sevi auch Cadoja nennt, dass „um das Herz" des Stammes ein Oel gelagert sei, der geschmolzenen Kochbutter ganz ähnlich, welches austriefe, wenn man jenen durchschneide, besonders wenn zugleich Feuer darunter gemacht werde. Ich habe hier nur einige der verschiedensten Fälle herausgehoben, Weiteres findet man in Rochleder's Phytochemie.

Wie sich der Traubenzucker in den Fruchthüllen ohne einen erkennbaren Zweck für die Pflanze, also gewissermaassen als Excret ansammelt, so findet etwas Aehnliches auch in den Fruchthüllen der Oelpalme und des Oelbaumes*) mit dem fetten Oele Statt, zum weiteren Beweise, dass dieses in seinen physiologischen Verhältnissen sich durchaus der Stärke und dem Zucker gleichstellt, so verschieden auch die chemischen Charactere dieser Stoffe von denen der Fette sein mögen.

4) Noch weniger lässt sich etwas Genügendes über das Vorkommen von Rohrzucker und Inulin sagen; die vorliegenden Beobachtungen berechtigen nur zu dem einen Schlusse, dass diese Stoffe als Ersatz und zugleich als Umwandlungsproducte der Stärke auftreten, und dass ihre Gegenwart an besondere Umstände geknüpft sein muss, da sie im Verhältniss zu den übrigen Zellstoffbildnern so selten vorkommen.

5) Aus dem Vorkommen, d. h. aus dem Auftreten und Verschwinden der genannten Stoffe in ihrem Verhältniss zur Entwickelung der Gewebe, lässt sich schliessen, dass sie das Material bilden, aus welchem die wachsenden Zellhäute ihre Nahrung ziehen und dass sie dabei Metamorphosen erleiden. So entsteht Traubenzucker aus Stärke (bei der Keimung, in älteren Vegetationsorganen, bei der Fruchtreife) und Inulin bei der Keimung der inulinhaltigen Dahlienknollen, aus Fett (mittelbar oder unmittelbar) bei der Keimung ölhaltiger Saamen; umgekehrt giebt der Traubenzucker das Material zur Bildung der Fette bei der Reife vieler ölhaltiger Saamen, zur Bildung des Inulins bei der Reife der Dahlienknollen, zur Stärkebildung bei der Reife der Kartoffelknollen (und vielleicht der stärkehaltigen Saamen), die unter VII. mitge-

*) Noch andere hierher gehörige Beispiele bei Treviranus: Physiol. der Gewächse, 1838, II. p. 48.

theilten Beobachtungen an Beta lassen sich kaum anders deuten, als dass auch der Rohrzucker aus der Stärke und dem Traubenzucker entstehe, dass umgekehrt Stärke aus Rohrzucker (mittelbar oder unmittelbar) sich bildet, zeigt die Sprossung der Runkelrübe. Als letztes Umwandlungsproduct aller dieser Stoffe lässt sich der Zellstoff der Zellwände betrachten.

X. Ueber die Wanderung der Stärke, des Oels, des Zuckers u. s. w.

Dass der Zucker gleich anderen gelösten Stoffen, von Zelle zu Zelle wandernd, aus einem Organ in das andere übergehen könne, darf wohl als unzweifelhaft angenommen werden. Wenn nun die Beobachtungen zeigen, dass die anderen Zellstoffbildner sich sämmtlich innerhalb der Pflanze in Zucker umwandeln können, so drängt sich die Vermuthung auf, dass für die unlöslichen unter ihnen eine solche Metamorphose vorzüglich dazu diene, ihnen die Wanderung von Zelle zu Zelle in Gestalt von Lösungen zu ermöglichen. In manchen Fällen, wie bei dem Auftreten des Zuckers im Frühjahrssaft der Bäume, welcher während des Winters Stärke im Holz enthalten, kann der Process kaum anders gedacht werden. Allein nicht alle Beobachtungen lassen sich zu Gunsten dieser Annahme erklären, die sich durch ihre Einfachheit so sehr empfiehlt, dass man fast versucht ist, sie ohne weitere Prüfung hinzunehmen. Die Betrachtung der unter VI., VII. und VIII. mitgetheilten Thatsachen lässt es vielmehr zweifelhaft erscheinen, ob Stärke und Oel in Zucker übergehen müssen, um die Zellwände zu durchsetzen. Allerdings tritt häufig neben Stärke, welche man als transitorische, wandernde betrachten muss, auch Zucker auf, und in solchen Fällen könnte man obige Annahme ohne Weiteres gelten lassen. Aber es giebt auch Fälle, wo wir genöthigt sind, die Stärke als wandernde zu betrachten, und wo sich dennoch kein Zucker (oder Dextrin) in den die Wanderung vermittelnden Zellen nachweisen lässt, eine Thatsache, die um so auffallender ist, als an anderen Orten der Zucker in seiner grossen Verbreitung sehr leicht zu erkennen ist. Während in den Früchten der Bohne da, wo die Stärke unmittelbar zur Verwendung kommt (am Endocarp, der Saamenschale), auch Zucker nach-

zuweisen ist, fehlt er hingegen vollständig in dem Funiculus, in dessen Gewebe offenbar die Zuleitung der Stärke, welche der Saame verbraucht, stattfindet. Während der ganzen Zeit der Fruchtreife führt der Funiculus Stärke, die hier offenbar nicht abgelagert wird, denn sie verschwindet bei der Saamenreife; auch wird sie nicht zur Ausbildung des Funiculus selbst verwendet.

Das Parenchym des Nabelstranges bildet den einzigen Weg, auf welchem die zur Reife des Saamens nöthige Stärke eingeführt werden kann, und man muss daher die im Parenchym des ersteren sich findende feinkörnige Stärke als in Wanderung begriffen betrachten.

Ebenso unterliegt es keinem Zweifel, dass die Stärke der Cotyledonen der Bohne während der Keimung in die wachsenden Keimtheile übergeht; die Beobachtung zeigt auch, dass sie sich in den wachsenden Theilen selbst in Zucker umwandelt, bevor die Zellen sich fertig strecken; man sollte demnach erwarten, dass grade in den Cotyledonen, und vor Allem in der Basis derselben, sich während der Keimung reichlich Zucker finden möchte, da man geneigt ist, vorauszusetzen, die Stärke der Cotyledonen müsse sich in Zucker umwandeln, um in den Keim überzugehen. Aber gerade diese Annahme bestätigt sich nicht; es war mir niemals möglich, in den Cotyledonen während der Keimung Zucker zu erkennen, während dies in den sich streckenden Theilen derselben Keime so leicht ist. Und wenn die Stärke der Cotyledonen in Zucker übergehen müsste, um in die Keimtheile zu wandern, so wäre es auch wieder nicht erklärlich, dass sich in diesen letzteren zuerst kleinkörnige Stärke anhäuft, welche erst später während der Streckung in Zucker übergeht. Die Keimung beginnt nicht mit Zuckerbildung, sondern damit, dass die Zellen der Keimtheile sich mit Stärke füllen, die dann erst in Zucker verwandelt wird, wenn die Streckung beginnt.

In ganz ähnlicher Art räthselhaft ist das Verhalten der Stärke bei der Keimung des Maiskornes. Das Parenchym des Scutellum ist der einzige Weg, auf welchem die Stärke aus dem Endosperm in den Keim übergehen kann; auch bildet sich in den späteren Keimstadien im Endosperm Zucker; allein in dem Schildchen, welches die Wanderung vermittelt, findet sich niemals Zucker, wohl aber immerfort kleinkörnige Stärke, deren Material aus dem Endosperm stammt, und in die wachsenden Keimtheile übergeht,

die also offenbar in Wanderung begriffen ist; erst in den sich streckenden Keimtheilen geht die dahin gewanderte Stärke in Zucker über.

Hierher gehört auch das Verhalten der die Gefässbündel begleitenden Stärkeschicht in den Blättern und Stammtheilen junger Pflanzen (nach der vollendeten Keimung), während in diesen Theilen kein Zucker vorhanden ist. Ich glaube, die in den früheren Abschnitten mitgetheilten Beobachtungen zwingen zu der Annahme, dass die Stärke in jenen Stärkeschichten in Wanderung begriffen ist; ohne diese Annahme werden alle Erscheinungen im Verhalten der Zellstofferzeuger räthselhaft, mit ihr erklärt sich fast Alles ganz ungezwungen. Und wenn nun wirklich die Stärke der Stärkeschichten in Wanderung begriffen ist, so fällt es auf, dass man in oder neben diesen Zellen nicht auch Zucker findet (das tritt erst in den älteren Pflanzen ein).

Ich denke, für die Erklärung dieser überraschenden Thatsachen bleiben nur zwei Annahmen übrig: 1) man könnte behaupten, die zur Zuckernachweisung benutzte Methode sei nicht hinreichend genau, um sehr kleine Quanta nachzuweisen. Und man könnte dann weiter schliessen, die Stärkekörner verwandeln sich in den genannten Geweben allerdings in Zucker, der, in die nächste Zelle eintretend, wieder in Stärkekörner übergeht, dann wieder in Zucker aufgelöst wird, um abermals eine Zellwand zu durchsetzen und sich abermals in Gestalt von Stärke niederzuschlagen. So würde sich der Zustand der transitorischen Stärke allerdings gestalten können, da natürlich an eine Wanderung der Stärkekörner selbst nicht zu denken ist. Die eben gemachte Annahme setzt voraus, dass in jedem Augenblick nur äussert geringe Quanta von Zucker in den betreffenden, die Wanderung vermittelnden Zellen vorhanden sind, die eben wegen ihrer Kleinheit nicht nachweisbar sein würden. Diese Annahme wird aber zweifelhaft, wenn man bedenkt, mit welcher grossen Geschwindigkeit die Stärke aus dem Endosperm und den Cotyledonen bei hoher Keimungstemperatur in die Keimtheile übergeht; hierbei ist kein Zucker in den leitenden Zellen nachweisbar, während doch die angewendete Methode hinreicht, den Zucker da nachzuweisen, wo er zur Ernährung des Endocarps und der Saamenschale dient, wo er, aus Stärke entstehend, sogleich zur Bildung von Zellstoff verwandet wird. Das ist offenbar ein ähnlicher Process, wie der eben für die Wanderung

der Stärke angenommene; da die Methode in dem einen Falle den Zucker erkennen lässt, warum sollte sie ihn im anderen nicht zeigen, wenn er überhaupt aufträte; und grade bei dem Uebergang der Stärke aus den Cotyledonen und dem Endosperm in den Keim ist die Wanderung eine so rasche, dass, wenn sie durch Zuckerbildung vermittelt würde, dieser doch nicht in unmerkbaren Spuren auftreten könnte.

Indessen ist diese Betrachtung für mich weniger bindend, als der Umstand, dass die Keimtheile beim Beginn der Keimung sich zuerst nur mit Stärke füllen, dass diese erst später in Zucker übergeht, nämlich dann, wenn die Ernährung der Zellhäute beginnt, in denen die Stärke bereits eingeschlossen ist.

2) Die andere Annahme zur Erklärung der Art, wie die Stärke in den genannten Fällen (vielleicht immer) wandert, wäre die, dass die Stärke als solche wandert. Es ist möglich, dass die Körnchen in den leitenden Geweben sich auflösen, d. h. in Stärkelösung übergehen und dann sogleich die Zellwand durchdringen, um in der nächsten Zelle sich in Gestalt von kleinen Körnchen niederzuschlagen, die ihrerseits sich früher oder später wieder lösen und so eine nächste Zelle erreichen*). Dieser Annahme wird, wie der ersten, durch den Umstand eine Stütze gegeben, dass die Stärke in den Geweben, wo sie als transitorisch zu betrachten ist, fast immer in kleinen Körnchen auftritt, was mit dem wiederholten Lösen und Niederschlagen wohl zu vereinigen wäre.

Das gelegentliche Auftreten auch etwas grösserer Körnchen in solchen Zellen würde gegen die Annahme nicht sprechen.

Ein Einwurf gegen die zweite würde aber dadurch zu machen sein, dass wir über die Löslichkeit der Stärke als solche noch immer nicht im Reinen sind**). Indessen verliert dieser Einwand wenigstens zum Theil dadurch seine Bedeutung, dass der Zellsaft ein eigenthümliches Gemisch von Lösungen organischer und unorganischer Stoffe ist, in denen die Lösungsfähigkeit der Stärke eine wesentliche andere sein kann, als im reinen Wasser.

Ich möchte schliesslich noch an den schon oben hervorgeho-

---

*) Es wird hierbei vorausgesetzt, dass jede kleinste Menge von Stärkelösung sogleich in die nächste Zelle geht und dort sich niederschlägt, denn sonst müsste man die Stärkelösung mit Jod nachweisen können.

**) Nägeli a. a. O. p. 92 u. ff. und p. 295.

benen Umstand erinnern, dass in dem Urmeristem der Vegetationspunkte und im Cambium niemals Stärke oder Zucker nachzuweisen ist, und dass dennoch die Substanz in diesen sich theilenden Zellen vorhanden ist, um die primären Zellhäute zu bilden. An eine ursprüngliche Erzeugung dieser Substanz in den zellbildenden Geweben, d. h. an eine Erzeugung des Zellstoffs aus seinen entfernteren Bestandtheilen, ist wohl nicht zu denken; viel wahrscheinlicher ist es, dass das Plasma der sich theilenden Zellen aus eiweissartigem Schleim und einem der Stärke verwandten Stoffe (oder mit dieser selbst) gemischt ist, und dass die erste Zellhautbildung während und nach der Theilung eine blosse Absonderung des im Plasma schon enthaltenen Zellstofferzeugers sei*).

Indessen sind die eben gemachten Andeutungen nur ein Versuch, das etwa Mögliche zur Geltung zu bringen. Es würde sich Aehnliches in Bezug auf die Wanderung des Oels sagen lassen, wenn es nicht allzu misslich wäre, sich in Annahmen und Folgerungen zu vertiefen, wo doch nur vollkommenere microchemische Methoden entscheiden können.

Doch möchte ich trotzdem nicht versäumen, darauf hinzuweisen, dass bei der Keimung von Ricinus, Cucurbita, Amygdalus communis eine Wanderung des Oels als solchen nicht unwahrscheinlich ist. Der Embryo im reifen Ricinussaamen ist allerdings mit Oel bereits erfüllt; aber wenn die Keimwurzel schon vollständig ausgebildet ist, das hypocotyle Glied sich zu strecken beginnt, wenn also schon ein bedeutender Stoffverbrauch stattgefunden hat, so findet man neben der Stärke im hypocotylen Gliede doch noch Oel in namhafter Menge; in den Cotyledonen, welche sich schon wesentlich vergrössert haben und noch dazu den Stoff, den sie, aus dem Endosperm aufgenommen, an das hypocotyle Glied abgeben, findet sich Oel von Anfang bis Ende der Keimung, neben welchem nur Spuren von Zucker auftreten. Dieses in den Keimtheilen selbst am Ende der Keimung noch enthaltene Oel kann nicht blos Ueberrest des schon im Embryo enthalten gewesenen

*) Die Angaben von Langlois (bei Unger, Anat. u. Phys. d. Pfl. 1855. p. 324), wonach das Cambium Rohr- und Traubenzucker enthält, können hier nicht maassgebend sein, da man wohl nicht im Stande ist, das zellenerzeugende Cambium frei von allen anderen Geweben, welche Zucker enthalten, darzustellen; nach meinen Untersuchungen muss ich eine solche Trennung für unmöglich halten.

sein; dazu ist es in zu grosser Menge vorhanden; es scheint Oel als solches aus dem Endosperm in die Cotyledonen und aus diesen in die Zellen der Axe überzugehen.

Für eine ähnliche Thatsache bei der Keimung des Kürbis kann ich mich auf eine sehr sorgfältige Untersuchung von Dr. Peters*) berufen, die mit meinen microscopischen Untersuchungen sehr gut stimmt. Die Wurzel und das hypocotyle Glied enthalten bei Cucurbita selbst in den späteren Keimungsstadien, wo die Zellen das Mehrhundertfache ihres Volums im Embryo erreicht haben, sehr namhafte Mengen von Oel, während es in den Cotyledonen sich mindert. Wenn man nun die gestreckte Wurzel und das gestreckte hypocotyle Glied mit dem kleinen Radicularttheile des Embryo's vergleicht, so leuchtet ein, dass dieses unmöglich in seinen kleinen Zellen schon all das Oel kann enthalten haben, welches in den gestreckten Axentheilen später enthalten ist. Es muss also eine Wanderung von Oel aus den Cotyledonen in die wachsende Wurzel und das sich streckende hypocotyle Glied hinab stattfinden. Grade so verhält es sich auch bei der keimenden Mandel.

In Bezug auf die Richtung, welche die wandernden Stoffe, mit denen wir uns hier beschäftigen, in der Pflanze einschlagen, lässt sich, wie ich glaube, ein ganz allgemeines Gesetz aufstellen. Die Stoffe verfolgen nämlich nicht eine räumlich, sondern eine physiologisch bestimmte Richtung, d. h. sie wandern von dem Orte ihrer Entstehung oder ihrer Ablagerung zu den Orten, wo sie verbraucht oder von Neuem abgelagert werden. Auch hier bietet wieder die Keimung die besten Anhaltspunkte. Bei dem Mais bildet in den späteren Keimungsstadien das aufsaugende Scutellum den Mittelpunkt zwischen der absteigenden Wurzel und dem aufsteigenden Stengel mit den Blättern; in jener wandert die Stärke abwärts, während sie gleichzeitig und später in diesem aufwärts steigt; ebenso ist es in den späteren Keimungsstadien der Bohne. Die Kartoffel und die Georgine liefern recht auffallende Beispiele für diese Verhältnisse während der Vegetationszeit. Die in den Blättern bereitete Stärke steigt in den Stärkeschichten des Stammes gleichzeitig abwärts in die Knollen, und aufwärts zu den Blattknospen, dort um

*) Die landwirthschaftlichen Versuchsstationen, Heft 7., p. 9.

abgelagert zu werden, hier um das Wachsthum der jungen Stammtheile und Blätter zu ermöglichen. Dasselbe, wie von der Stärke des Bohnenkeimes, gilt von dem Oel bei der Keimung der Mandel. Da auch gleichzeitig die Holzschichten im Stamme auf Kosten der wandernden Stärke wachsen, so findet neben der gleichzeitigen Strömung (wenn dieser Ausdruck erlaubt ist) nach oben und unten auch eine in die Quere Statt.

Die vorwiegend absteigende Richtung des „Nahrungssaftes" ist offenbar nur ein besonderer Fall des allgemeinen Gesetzes, dass die assimilirten Stoffe sich von dem Orte ihrer Entstehung nach dem ihrer Verwendung hinziehen. Wenn gleichzeitig mit der Ablagerung der nach unten wandernden Reservestärke in den Baumstämmen an den Enden der Zweige Früchte reifen, so findet gleichzeitig eine entgegengesetzte Strömung derselben Stoffe nach oben und unten Statt. (Vergl. J. Hanstein, diese Jahrb. II. Bd., p. 392.)

XI. Historischer Nachtrag.

Was die Thatsachen anbelangt, so habe ich das mir Bekannte aus der Literatur schon in den betreffenden Abschnitten beigebracht; hier möchte ich noch die Ansichten einiger Schriftsteller anführen, welche mit den im Vorigen behandelten Thatsachen im Zusammenhange stehen. Es handelt sich darum, zu zeigen, in wie weit die gleich Eingangs von mir ausgesprochene Ansicht, welche ich der Deutung der einzelnen Beobachtungen zu Grunde zu legen suchte, neu ist.

In den „Untersuchungen über die anatomischen Verhältnisse des Chlorophylls" (Vermischte Schriften p. 360) macht Hugo von Mohl folgende Bemerkung, die mir vor allen hierher zu gehören scheint: „Fragt man nach dem physiologischen Zweck, welchen die Natur durch diesen Absatz von Amylum in den Blättern (es ist von dem Amylum im Chlorophyll die Rede) erreicht, so möchte wohl darauf zu antworten sein, dass es eine Reservenahrung ist, dazu bestimmt, um bei den nur einmal blühenden Gewächsen zur Entwicklung der Frucht verwendet zu werden, und um bei den ausdauernden, im Winter ihre Blätter verlierenden Gewächsen im Herbste in den Stamm übergeführt und daselbst als Material nie-

dergelegt zu werden, auf dessen Kosten sich im nächsten Frühjahr die Knospen entwickeln sollen. Bedenkt man, wie gross die Masse der Blätter eines Baumes ist, und wie zahlreich in ihnen die Chlorophyllkörner sind, so erhellt, dass die Menge von Amylum, welche in ihnen enthalten ist, sehr beträchtlich sein muss, und dass die Unterschiede zwischen den Monocotylen und Dicotylen in Beziehung auf diesen, in der Ernährung der Pflanze eine so wichtige Rolle spielenden Stoff, nicht so bedeutend sind, als man früher annehmen musste, so lange man nicht wusste, dass bei den Dicotylen sich Amylum im Winter in dem Holze und im Sommer in den Blättern findet, und daher glaubte, dass das Amylum vorzugsweise von Monocotylen und von den Dicotylen nur in den Knollen in Menge bereitet werde."

H. v. Mohl nimmt demnach einen Uebergang der Stärke aus den Blättern in die Saamen und den Stamm wenigstens in so weit an, als es sich um die Ablagerung der Stärke als Reservenahrung handelt. Im Grunde bin ich nur um einen Schritt weiter gegangen, wenn ich annehme, dass auch während der Vegetationszeit ein continuirlicher Abfluss der im Chlorophyll der Blätter und der grünen Rinde gebildeten Stärke in den Stamm und von dort aus in die wachsenden Theile stattfinde, und ich glaube, dass diese Erweiterung hinreichend gerechtfertigt ist, durch die Erwägung, dass die jungen Theile während der Vegetation so gut Nährstoffe brauchen, als die Radicula und Plumula der sich entfaltenden Keime und die Frühjahrstriebe der Bäume, für welche ja eine Ernährung durch die Reservestoffe (welche nach v. Mohl in letzter Instanz aus den Blättern stammen) allgemein zugegeben wird, ferner durch die Beobachtung, dass die jungen Organe der vegetirenden Pflanzen (gleich den Keimorganen während ihrer Streckung) regelmässig Stärke führen, und endlich durch die Thatsache, dass die stärkeführenden Schichten, welche die Gefässbündel begleiten, eine continuirliche Verbindung gestatten zwischen dem Orte, wo die Stärke entsteht (den Blättern) und den Organen, wo sie zum Wachsthum der jungen Zellhäute verbraucht wird. Ebenso, wie eine einmalige Wanderung der Stärke aus den Blättern in die anderen Theile möglich ist, lässt sich dies natürlich auch als ein continuirlicher Process betrachten, der so lange stattfindet, als die fertigen Blätter thätig bleiben. Man könnte freilich einwenden, dass durch die Abführung der Stärke aus den Blättern

in den Stamm im Herbst jene aber ihre Stärke verlieren und dann entleert abfallen, wie H. v. Mohl p. 360 angiebt und wie ich mich an frisch abgefallenen gelben Blättern von Ulmus und Acer-Arten überzeugt habe, und man könnte fortfahren, dass eine solche Entleerung der Blätter im Sommer gewöhnlich nicht stattfinde, dass vielmehr die Blätter, die nach meiner Ansicht immerfort Stärke hergeben, auch immerfort reicher daran werden.

Ich glaube aber, dass dieser Einwand leicht zu beseitigen ist; denn wenn das Chlorophyll einmal das stärkeerzeugende Organ ist, so wird der dem Stamme u. s. w. zugeführte Theil der Stärke in den Blättern leicht dadurch ersetzt werden, dass das Chlorophyll fortfährt, Stärke zu bilden, und sogar mehr zu bilden, als der Abgang beträgt, wodurch sich dann leicht die Anhäufung mit zunehmendem Alter in den Blättern trotz des fortdauernden Abflusses erklärt*). Für die immergrünen Pflanzen würde eine einmalige Abführung der Stärke aus den Blättern ohnehin nicht ausreichen und bei solchen Pflanzen, welche gleichzeitig vegetiren und fructificiren, welche fortfahren zu wachsen, während sie blühen, unreife und reife Früchte tragen, wie der Kürbis, muss offenbar der Abfluss der Stärke aus den Blättern in die Früchte in die Zeit fallen, wo zugleich die jungen Knospentheile bei ihrer fortwährenden Entfaltung einen ähnlichen Zustrom für sich bedürfen.

---

*) Auch Hartig's Angaben (Botan. Zeit. v. Mohl u. Schlechtendal, 1858, p. 332) sprechen dafür, dass ein dauernder Abfluss von Stärke aus den Blättern in den Stamm der Bäume stattfindet. Nachdem die Reservenahrung aus Wurzel und Stamm verschwunden und zur Ausbildung der Frühjahrstriebe verwendet worden ist, beginnt nach Hartig die Wiederansammlung der Stärke beim Ahorn schon im Mai, bei der Lärche im Juni, bei der Eiche im Juli, der Kiefer im September; diese Wiederansammlung beginnt nach Hartig in den Wurzeln und schreitet aufwärts fort; so soll die Ablagerung der Stärke in den Endtrieben bei Ahorn erst Anfangs August, der Eiche Mitte September, der Lärche Anfangs October, der Kiefer Mitte October anfangen. Wenn demnach die Stärkeansammlung in der Wurzel und im Stamme eigentlich so lange dauert, als der Zeitraum von dem Fertigwerden der Blätter bis zum Ende der Vegetationsperiode beträgt, und während dem die fertigen Blätter doch immerfort Stärke im Chlorophyll haben, so scheint das nur dadurch erklärlich, dass die Blätter, sobald sie fertig geworden sind (auf Kosten der früheren Reservenahrung), sogleich anfangen, Stärke zu bereiten und in die unteren Theile zu senden, indem sich der Abgang im Chlorophyll immer erneuert; erst wenn das Chlorophyll selbst zerstört wird (im Herbst), findet der letzte Abfluss Statt, ohne dass ein Wiederersatz in ihm möglich ist.

Wenn der Abzug der Stärke aus den Blättern im Herbst eine Entleerung bewirkt, so ist ersichtlich, dass dies einfach daher rührt, dass das Chlorophyll im Herbst zerstört wird, und folglich den Verlust nicht mehr ersetzen kann, während im Sommer der durch Ableitung entstandene Verlust durch das noch thätige Chlorophyll ersetzt wird.

Mulder's vielfach besprochene Ansicht, dass das Chlorophyll aus der Stärke und nicht umgekehrt die Stärke aus dem Chlorophyll entstehe, darf wohl jetzt als völlig antiquirt betrachtet werden, nachdem H. v. Mohl Gründe dagegen geltend gemacht hat, die sich in keiner Weise aus Mulder's Ansicht widerlegen lassen, seitdem Nägeli's und Cramer's Beobachtungen über die Bildung der Stärke in den Chlorophyllkörnern vorliegen.

In Bezug auf die Wanderung der Stärke durch die Gewebe finde ich auch bei Payen (sur l'Admidon: Annales des sciences, 1838, p. 212) eine Stelle, welche darauf hindeutet, dass er an einer derartigen Fortbewegung nicht zweifelt, obwohl die wenigen Worte über das „Wie?" nichts enthalten. Ich glaube Payen's Worte selbst anführen zu müssen: „La fecule tres abondante dans les jeunes gousses des pois, des haricots et des fêves, alors qu'il n'en existe pas encore dans les ovules, passe graduellement dans ceux-ci, où la presque totalité se rassemble en définitive dans les cotylédens de la graine.

Le passage entre les tissus se fait beaucoup plus rapidement, durant même la croissance d'une seul plante annuelle: ainsi on peut la suivre à l'aide de toutes les réactions précitées, dans toutes (?) les parties qui supportent et envéloppent les épis et les fruits du Mais. Ainsi les pédoncules de ces épis, tous les feuillets de leur spathe, les supports des fruits, les teguments des ceux-ci, contiennent successivement et se transmettent de proche en proche de l'amidon en granules, gros de 1 à 2 millièmes de millimètre au plus, avant que l'amidon n'arrive dans le périsperme, où il doit s'accumuler à l'abri, seulement alors, la transformation en dextrine et en sucre, changemens qui ne commenceront qu'à l'époque où la germination rénouvellant les mêmes circonstances, puisera dans les périsperme les matériaux d'une alimentation nouvelle."

Nägeli äussert sich in dieser Beziehung folgendermaassen (a. a. O. p. 290): „Es finde in einjährigen Stengeln eine Wan-

derung des Amylum von unten nach oben Statt"*), und weiter unten „vom Stengel geht die Stärke in den Blüthenstiel, in die Wandung des Fruchtknotens, in den Saamenträger, in die jungen Saamenschalen, das Albumen und zuletzt in den Embryo; und wie sie weiter geht, verschwindet sie in den früheren Theilen ganz oder theilweise." — „So wandert also die Stärkebildung wie das Pflanzenleben und bildet in vielen Fällen einen vollständigen Cyclus, indem sie in den Saamen für einige Zeit aufhört und beim Keimen derselben wieder fortgesetzt wird. Eine solche ununterbrochene Wanderung des Amylums finden wir bei einigen Cryptogamen, deren Sporen stärkehaltig sind z. B. bei den Charen, Marsileaceen, und bei solchen Phanerogamen, deren Embryo reich an Amylum ist." — „Meistens findet aber eine Unterbrechung in der Stärkebildung Statt, indem an deren Stelle ein anderer Reservenahrungsstoff tritt. Diese Unterbrechung geschieht vorzüglich bei der Fortpflanzung und zwar in doppelter Art; entweder schreitet die Bildung des Amylum bis in das letzte und innerste Product der Frucht und des Saamens fort, oder dasselbe verschwindet wieder; oder die Stärkebildung hört früher auf, so dass gewisse Theile immer stärkelos sind, indess die übrigen ihre Stärke behalten oder ebenfalls verlieren können" (einige der von Nägeli hierher gerechneten Beispiele sind früher schon erwähnt worden).

In Bezug auf das Verhalten des Oels als Zellstofferzeugers, auf seine Umwandlung in Zucker und Stärke und endlich in Zellstoff, auf die dabei eintretenden Verluste durch Oxydation des Kohlenstoffs, durch Bildung von Extractivstoffen, Bitterstoffen und Pektin ist die schon erwähnte Arbeit von Peters (die landwirthschaftl. Versuchsstationen, 1861), „zur Keimungsgeschichte des Kürbissaamens", zu berücksichtigen. Ohne vollständige Mittheilung der von Peters gewonnenen Zahlen würde ein Auszug aus seiner Arbeit keinen Werth haben, weshalb ich auf das Original selbst verweisen muss.

Nachträglicher Zusatz. Meine im Obigen begründete Ansicht, dass die Stärke (oder zuweilen andere Zellstoffbildner) schon als solche durch die synthetische, assimilirende Thätigkeit des Chlorophylls der Blätter aus den hier zusammentreffenden Nährstoffen gebildet wird, steht im schärfsten Gegensatz zu der von Th. Hartig (Botan. Zeit. 1862, p. 82, 83) gemachten An-

*) Als Beispiel führt er Orobanche, also einen Schmarozer an.

nahme, dass in den Blättern ein „Bildungssaft“ oder „das Organische auf seiner ersten, noch flüssigen Stufe“ (also eine Art Urschleim von unbestimmter Natur) entstehe und durch den Bastkörper fortgeführt erst an den Ablagerungsorten in die bekannten Substanzen von bestimmter Natur: Stärke, Inulin, Klebermehl u. s. w. übergehe. Meine oben mitgetheilten Beobachtungen sind, wie ich glaube, hinreichend, Hartig's Ansicht in Bezug auf die hier besprochenen Stoffe zu widerlegen.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Jahrbücher für wissenschaftliche Botanik

Jahr/Year: 1863

Band/Volume: 3

Autor(en)/Author(s): Sachs Julius

Artikel/Article: Ueber die Stoffe, welche das Material zum Wachsthum der Zellhäute liefern. 183-258