

# Beiträge zur speciellen Physiologie landwirthschaftlicher Kulturpflanzen.

Von

Dr. Sugo de Bries.

(Mit Tafel XIII u. XIV.)

Unter diesem gemeinschaftlichen Titel beabsichtige ich eine Reihe von monographischen Untersuchungen zu veröffentlichen, als Vorarbeiten für ausführliche physiologische Monographien von landwirthschaftlichen Kulturpflanzen, deren Bearbeitung mir vom königl. Ministerium für die landwirthschaftlichen Angelegenheiten übertragen worden ist.

Der Zweck dieser Arbeiten ist, im Interesse der Landwirthschaft alles bis jetzt über die Natur der Kulturpflanzen Bekanntgewordene zu sammeln, kritisch zu sichten und durch neue Untersuchungen nach dem gegenwärtigen Standpunkt der Pflanzenphysiologie zu ergänzen. Um für eine solche Behandlung eine breite und sichere Grundlage zu gewinnen, sind die Pflanzen in erster Linie durch alle Lebensstadien planmäßig zu verfolgen. Sowohl die allmähliche Entwicklung ihres äußeren und inneren Baues, als auch die Aufnahme, die Wanderung und der Verbrauch der wichtigsten Nährstoffe während des ganzen Lebens sollen womöglich lückenlos dargelegt werden. So werden ausführliche Beschreibungen der Keimungs- und Wachsthumsgeschichten einzelner Arten entstehen. Diese müssen aber, der vorliegenden Literatur entsprechend, fast ganz auf neue anatomische und mikrochemische Untersuchungen aufgebaut werden.

An diese Arbeiten schließt sich dann die Zusammenstellung und kritische Verarbeitung der von anderen Forschern veröffentlichten einschlägigen Spezialuntersuchungen. Zerstreute Notizen können in die obigen Keimungs- und Wachsthumsgeschichten aufgenommen werden; dagegen müssen einzelne, in der Literatur besonders reich vertretene Gegenstände einer besonderen Behandlung unterworfen werden.

Eine letzte Aufgabe endlich ist die Lösung solcher physiologischen Fragen, deren Beantwortung für die zu behandelnden Kulturpflanzen von ausgezeichneter Wichtigkeit, und für eine abschließende Bearbeitung der Monographien erforderlich ist.

## I.

**Keimungsgeschichte des rothen Klee's.**

Hierzu Tafel XIII u. XIV.

**E i n l e i t u n g.**

Mit diesem Aufsatze eröffne ich eine Reihe von Arbeiten, in denen ich meine mikroskopischen Beobachtungen über den Bau und die Entwicklung mehrerer landwirthschaftlicher Kulturpflanzen, zusammen mit den Ergebnissen einschlägiger Untersuchungen anderer Forscher niederzulegen beabsichtige. Ich habe für eine Reihe von Arten den Entwicklungsgang von der Keimung bis zum völligen Abschluß des vegetativen und fructificativen Lebens für alle Organe so vollständig verfolgt, als für meinen Zweck erforderlich schien; rein morphologische Fragen, wie z. B. die Zelltheilungsfolgen in den Vegetationspunkten und deren Neubildungen wurden, als dem Zwecke nicht entsprechend, fast gar nicht berührt. Dagegen habe ich, wo dies möglich war, dieselben Vorgänge unter den verschiedensten äußeren Umständen, zumal bei verschiedener Witterung studirt, um dadurch auch den Einfluß der wichtigsten Faktoren, welche die Lebensprozesse unserer Pflanzen beherrschen, auch die behandelten Vorgänge kennen zu lernen.

Meine Aufgabe war bei diesen Studien eine zweifache. Erstens waren die äußeren und inneren Gestaltungsprozesse selbst zu verfolgen. Zweitens waren die chemischen Veränderungen, welche dabei in den verschiedenen Organen und Gewebeformen stattfinden, zu berücksichtigen. Die Beziehung dieser chemischen Vorgänge zu den Gestaltungsprozessen war so eingehend zu erforschen, daß es in jedem Falle klar würde, woher die einzelnen Theile die Baustoffe für ihre Ausbildung erlangen, und in welcher Weise diese Stoffe dabei transportirt und für den Verbrauch, oder die Ablagerung in Reservestoffbehältern vorbereitet werden. Aus welchem Material werden die neuen Theile angelegt, und weiter entwickelt; woher stammt dieses? auf welchen Wegen und mittelst welcher Metamorphosen wird es nach den Verbrauchsorten hin befördert? Um diese Fragen beantworten zu können, mußten die wichtigsten organischen Nährstoffe überall im Pflanzenkörper aufgesucht, und mittelst mikrochemischer Reaktionen nachgewiesen werden. Sie mußten von denjenigen Organen, in denen sie aus den aufgenommenen anorganischen Verbindungen gebildet werden, durch alle Theile der Pflanze hindurch bis an diejenigen Stellen verfolgt werden, wo sie entweder direkt verbraucht, oder für späteren Verbrauch aufbewahrt werden. Ich habe diese zeitraubenden und mühsamen Arbeiten für alle Entwicklungszustände meiner Pflanzen in möglichst lückenloser Reihe durchgeführt, um dadurch ein klares und möglichst vollständiges Bild dieser Vorgänge entwerfen zu können. Hierbei wurden stets erstens die Wege, welche die Stoffe bei ihrer Wanderung befolgen, und ferner die dabei stattfindenden Umsetzungen berücksichtigt. Selbstverständlich muß man bei solchen Studien stets die allgemeinen Gesetze, welche diese Vorgänge beherrschen, im Auge behalten. Und unter diesen in erster Linie das wichtigste und

allgemeinste Gesetz, daß jede einzelne chemische Verbindung sich unabhängig von den übrigen bewegt. Die Richtung dieser Bewegung wird nur durch die Lage der Orte der Entstehung und des Verbrauchs bestimmt; welche Gewebeform dabei als Weg dient, hängt von der Natur des betreffenden Körpers ab. Die Kenntniß dieses Hauptsatzes der Stoffwanderungslehre verdanken wir den grundlegenden Arbeiten von Sachs<sup>1)</sup>, in denen die wichtigsten Gesetze der Wanderung und der chemischen Metamorphosen der organischen Nährstoffe im Pflanzenkörper nach neuen Untersuchungsmethoden begründet, und mit solcher Klarheit vorgetragen werden, daß sie seither allgemein anerkannt worden sind. Früher hatte man einen sogenannten absteigenden Bildungsast angenommen, der alle Elemente zur Ernährung enthalten sollte, aber diese, noch in den fünfziger Jahren ganz allgemein herrschende Lehre wurde durch die Untersuchungen von Sachs definitiv widerlegt und beseitigt. Auf den letzteren beruht unsere ganze jetzige Einsicht in die Stoffwanderungsvorgänge<sup>2)</sup>.

Die von mir ausgeführten Untersuchungen haben zum Zweck zu zeigen, mit welchen Eigenthümlichkeiten diese allgemeinen Gesetze bei den von mir studirten Pflanzen behaftet sind. Im Großen und Ganzen liefern sie eine Bestätigung und Erweiterung der von dem genannten Forscher aufgestellten Prinzipien, wenn ich auch in der Auffassung mancher spezieller, wenn auch nicht unwichtiger Punkte, infolge sehr ausführlicher Untersuchungen von ihm abweichen muß. Hierüber werde ich an den betreffenden Stellen das Nöthige hervorheben.

Die microchemischen Reaktionen, welche ich zu meinen Untersuchungen benutzt habe, waren stets in den Hauptsachen dieselben. Ich will deshalb, um eine häufige Wiederholung solcher Angaben im Text vermeiden zu können, hier die wichtigsten namhaft machen und kurz beschreiben. Eine kritische Behandlung dieser, und der sonst noch zu denselben Zwecken vorgeschlagenen Reaktionen behalte ich mir für einen späteren ausführlichen Aufsatz vor. Einstweilen verweise ich für die detaillirte Beschreibung auf die unten zu citirenden Abhandlungen.

1. Cellulose ist in der Regel ohne Reaktion kenntlich, und wird in zweifelhaften Fällen bekanntlich mittelst Natriumjodidlösung oder mittelst Natrium und Schwefelsäure nachgewiesen.
2. Lignose oder Holzstoff, färbt sich mit einer wässrigen Lösung von schwefelsaurem Anilin schön gelb bis gelbbraun<sup>3)</sup>.
3. Stärke wird durch die bekannte Blaufärbung ihrer Körner mit Natriumlösungen nachgewiesen. Dieser Reaktion entsprechend habe ich in den

1) Diese finden sich in der Bot. Ztg. 1859, 1862, 1863, 1864, 1865, in der Flora 1862 und 1863, in den Sitzber. d. k. Wiener Akad. d. Wiss. 1859, in Pringsheim's Jahrbüchern Bd. III beschrieben; ihre Resultate sind in Sachs' Handbuch der Experimental-Physiologie S. 307—374 übersichtlich zusammengestellt.

2) Eine Zusammenstellung dieser Resultate mit den Ergebnissen der späteren Forschung auf diesem Gebiete lieferte Pfeffer in diesen Jahrbüchern: Bd. III Heft 1, und Heft 3; Bd. V Heft 1.

3) A. Burgerstein, in Sitzber. d. k. Akad. d. Wiss. Wien, Juli 1874. Bd. LXX.

farbigen Tafeln über die Stoffwanderung, welche diesen Aufsätzen beigegeben werden, die Anwesenheit von Stärke durch blaue Punkte angegeben.

4. Traubenzucker. Unter diesem Namen faßt man in der Mikrochemie einstweilen alle Substanzen zusammen, welche die Fehling'sche Kupferlösung unter bestimmten Umständen zu Kupferoxydul reduzieren. Dieses Kupferoxydul tritt bei der Reaktion in den Zellen als rothbraune bis orangene Körperchen auf, oft in solcher Menge, daß das Gewebe dadurch für das bloße Auge eine mennigrothe Farbe annimmt. Die Methode des Nachweises ist folgende: Man legt nicht zu dünne Schnitte aus dem zu untersuchenden Organe in eine konzentrirte Lösung von Kupfervitriol; nachdem sie hierin 1—3 Minuten verweilt haben, wäscht man sie in vielem Wasser rasch ab, um die an der Oberfläche haftende Kupferlösung zu entfernen, und taucht sie dann in eine erwärmte Lösung von kaustischem Kali. Ist Traubenzucker vorhanden, so tritt die Färbung meist augenblicklich ein; das Mikroskop zeigt dann die rothen Körnchen an und lehrt ihre Vertheilung im Gewebe kennen<sup>1)</sup>. Ob in den Pflanzen nur eine, oder mehrere nahe verwandte chemische Verbindungen mit dieser reduzierenden Eigenschaft vorkommen, läßt sich bis jetzt noch nicht allgemein angegeben; jedenfalls aber ist der Traubenzucker darunter die wichtigste und verbreitetste. Wo ich in diesen und den folgenden Aufsätzen von Traubenzucker spreche, heißt dies also zunächst einfach, daß ich an den betreffenden Stellen die obige Reaktion habe auftreten sehen. Der Bequemlichkeit halber benutze ich, wo es nicht zu Verwechslungen Anlaß geben kann, statt des Wortes Traubenzucker auch einfach Zucker.

In den Figuren über die Stoffwanderung ist der Traubenzucker, der obigen Reaktion entsprechend, durch eine rothbraune Farbe angegeben.

5. Del kommt in Samen häufig als Reservestoff vor, und tritt bei Behandlung dünner Schnitte mit konzentrirter Schwefelsäure, mit Alkohol, um mit einigen anderen Reagentien aus den durchschnittenen Zellen heraus, um sich auf dem Präparate und an dessen Rande zu zahlreichen kleinen Tröpfchen zu sammeln. Diese Methode des Nachweises veranlaßt mich, das Del in den Figuren durch kleine Ringelchen anzugeben.
6. Eiweiß. Eiweißkörper nehmen, wenn man sie mit Kupferlösung durchtränkt und dann in kaustisches Kali bringt, schon in der Kälte eine charakteristische, schön violette Färbung an. Weicht man also Schnitte aus Pflanzentheilen während einiger Minuten in dieser Lösung ein, wäscht das oberflächlich anhängende Kupfersalz dann rasch in Wasser ab, und setzt dann einen Tropfen Kalilösung auf den Schnitt auf, so

1) Sachs, Ueber einige neue mikroskopisch-chemische Reaktionsmethoden, in Sitzber. d. k. Akad. d. Wiss. in Wien 1859. Sachs, Mikrochemische Untersuchungen in Flora 1862. S. 289.

weist eine violette Färbung des Gewebes einen Gehalt an Eiweiß an. Auch beim Eintauchen in warmes Kali beobachtet man die Reaktion, sie tritt also mit der unter 4 genannten bei derselben Operation ein. Doch empfiehlt es sich, das Eiweiß in besonderen Probeschnitten, und mit kaltem Kali nachzuweisen.<sup>1)</sup>

In meinen Stoffwanderungsfiguren deutet die violette Farbe stets Eiweiß an. Es ist durch analytisch-chemische Untersuchungen festgestellt worden, daß in den Pflanzen verschiedene Arten von Eiweißkörpern vorkommen, daß z. B. das Eiweiß der ruhenden Samen im Allgemeinen nicht dieselbe Verbindung ist als das in vegetirenden Theilen vorkommende. Solche Unterschiede können aber bis jetzt auf mikrochemischem Wege noch nicht entdeckt werden.

7. Asparagin. Eine gute mikrochemische Reaktion für diesen Körper fehlt noch. Nur wo er in großen Mengen im Gewebe vorkommt, läßt er sich dadurch nachweisen, daß man ihn aus den Schnitten oder den zerquetschten Pflanzentheilen heraus krystallisiren läßt. Dieses geschieht wenn man die Objekte mit absolutem Alkohol behandelt. Die dabei entstehenden Krystalle sind relativ groß und leicht kenntlich.<sup>2)</sup>
8. Gerbstoff. Gerbstoffhaltige Pflanzentheile nehmen bei mehrstündiger Behandlung mit Eisenchlorid eine schwarze Färbung an. Wo ich also von „Gerbstoff“ spreche, soll dies heißen, daß ich in den betreffenden Gewebepartien jene Schwarzfärbung mit Eisenchlorid beobachtet habe. Häufig, aber nicht immer färbt kaustisches Kali die gerbstoffhaltigen Zellen braunroth; wo ich diese charakteristische Reaktion bekommen habe, werde ich dies besonders anführen.<sup>3)</sup>
9. Oxalsaurer Kalk ist in der Regel an der Form seiner Krystalle oder der Anhäufung zu krystallinischen Körnermassen leicht kenntlich. In Zweifelsfällen entscheidet seine Eigenschaft sich nicht in Essigsäure, wohl aber in Salzsäure zu lösen.

Nach diesen Bemerkungen werde ich im Texte einfach von der Anwesenheit von Eiweiß, Traubenzucker, Asparagin u. s. w. reden, ohne jedesmal zu sagen, durch welche Reaktion ich die Stoffe aufgefunden habe. Empirisch aufgefaßt bedeuten diese Ausdrücke also nur, daß ich die hier angegebenen Behandlungen angewendet habe, und daß dabei die charakteristischen Reaktionen eingetreten sind.

1) Sachs, A. v. a. D.

2) Pfeffer, Untersuchungen über die Proteinkörner und die Bedeutung des Asparagins beim Keimen der Samen. Pringsh. Jahrb. f. wiss. Bot. VIII S. 530.

3) Sachs, Ueber einige neue mikroskopisch-chemische Reaktionsmethoden in Sitzber. d. k. Akad. d. Wiss. in Wien 1859.

## §. 1. Der reife Same.

## a) Allgemeines.

Die reifen Samen des rothen Klee's sind kleine, eiförmige, von einer harten Schale umschlossene Körperchen. Ihre Farbe ist meist bräunlich, und häufig am dickeren Ende dunkler als am dünneren. Außerlich beobachtet man an ihnen eine erhabene Leiste, welche vom dickeren Ende sich allmählich erhebend an einer Seite entlang etwa bis gegen die Mitte des Samens verläuft, wo sie ziemlich plötzlich aufhört. In der kleinen Einbuchtung an ihrem Ende erkennt man den Nabel als eine scharf umschriebene, kreisrunde Grube, welche die Stelle anweist, an der in der Frucht der Same mittelst eines kleinen Stielchens befestigt war. Die erwähnte Leiste ist für die leichte Orientirung über die Lage der Keimtheile im Samen sehr wichtig, da sie das Würzelchen umschließt, und dessen Lage also äußerlich erkennen läßt.

Die einzelnen Kleesamen derselben Ernte sind sowohl in der Größe, als in der Farbe sehr verschieden. Im Mittel sind sie etwa anderthalb bis zwei Millimeter groß, doch sind größere und zumal kleinere nicht selten. Ihre Farbe schwankt vom dunklen Gelb, durch Braun bis in das dunkel-violette; einige sind überall gleichmäßig gefärbt, bei den meisten ist aber das schmälere Ende blasser als das dickere.

Wichtiger als die Kenntniß dieser rein äußerlichen Merkmale ist die Betrachtung des inneren Baues. Diese lehrt uns einen sehr großen Keim kennen, der nahezu den ganzen von der Samenschale umgebenen Raum einnimmt, und nur an einzelnen Stellen kleine Lücken übrig läßt, welche von einem anderen Gewebe, dem Endosperm, ausgefüllt sind. An dem Keime unterscheidet man auf den ersten Blick drei Theile: die beiden Samenlappen und das Würzelchen. Die Samenlappen liegen mit ihrer Oberseite fest gegeneinander angedrückt, das Würzelchen ist auf die Spalte der Samenlappen zurückgelegt; wird aber von ihnen durch eine Einbuchtung der Samenschale getrennt.

Die gegenseitige Lage der einzelnen Theile des Samens ergibt sich am klarsten aus der Betrachtung von Längs- und Querschnitten, wie solche auf unserer Tafel in den Figuren 1 und 2 dargestellt sind. In diesen, wie in den übrigen Figuren, geben die Farben die Vertheilung der Nährstoffe in den verschiedenen Organen und Geweben an, hierauf kommen wir unten zurück; jetzt wollen wir nur die Lage der Theile in's Auge fassen. Fig. 1 stellt einen Längsschnitt durch den trockenen Samen bei zwanzigfacher Vergrößerung dar; man sieht auf der rechten Seite in der oberen Hälfte die bereits erwähnte vorspringende Leiste, welche das Würzelchen (w.) umfaßt. In der Einbuchtung an ihrem unteren Ende liegt der Nabel (n), in der unmittelbaren Nähe der Wurzelspitze; der Nabel bezeichnet also am Samen ungefähr die Stelle, wo bei der Keimung das Würzelchen zuerst hervorbrechen wird. Das Würzelchen selbst besteht aus verschiedenen, im Samen kaum von einander gesonderten Theilen; seine untere Spitze wächst später zur Wurzel heran, der mittlere Theil wird zum hypokotylen Glied, während an dieses nach oben die beiden, jetzt

noch sehr kurzen Stiele der Keimblätter (c) anschließen. Zwischen diesen beiden Stielen liegt die Plumula oder das Federchen (f), eine winzig kleine Knospe, aus der sich später der ganze Stocck der Pflanze, mit seinen zahlreichen Blättern und Sprossen entwickeln wird.

Die Haut des Kleesamens besteht aus zwei, in ihrem Baue und ihren Eigenschaften sehr verschiedenen Schichten. Die äußere Samenschale ist dick und hart, an ihrer Oberfläche glatt und mehr oder weniger glänzend. Die innere Schale liegt der äußeren überall als ein weißes feines Häutchen dicht an. In der Nähe des Nabels liegt ein parenchymatisches Gewebe von bedeutender Dicke als letzter Rest von jenem Parenchym, das in der Samenknospe den Kern bildete. Diese Gewebepartie erhebt sich wulstförmig, um eine Wand zwischen den Samenlappen und dem Würzelchen darzustellen. Man erkennt diese Wand an der genannten Stelle in der Figur 1 als ein langes schmales Dreieck, das nach oben sehr dünn ausläuft. Noch deutlicher zeigt sie sich in dem Querschnitte Fig. 2, weil dieser, in der oberen Hälfte des Samens genommen, die ganze Wand quer durchschneidet. Hier ist es die Leiste, welche man zwischen den Kotylen und dem Würzelchen liegen sieht.

Die Fig. 2 zeigt uns zugleich die Stellen, wo das Endosperm liegt. Es sind die beiden weiß gelassenen Fleckchen seitlich vom Würzelchen, die beiden weißen Streifen auf der Rückseite der Keimblätter und endlich ein kleines weißes Dreieck zwischen den beiden Kotylen und der Einbuchtung der inneren Samenschale. Im trockenen Samen sind diese Stellen alle so klein, wie sie in der Figur abgebildet sind. Weicht man aber den Samen, oder auch nur den Querschnitt in Wasser auf, so saugt das Endosperm große Quantitäten Wasser auf und schwillt dabei mächtig an, eine Eigenschaft, auf die wir bald zurückkommen werden. Bei dieser Behandlung sieht man, daß das Endosperm nicht nur an den genannten Stellen liegt, sondern als äußerst feine, vorher unmerkbare Schicht, die Samenlappen und das Würzelchen von allen Seiten umgiebt.

Die wichtigsten Reservestoffe, auf deren Kosten sich später die Keimpflanze entwickeln wird, sind in der Form von Eiweiß, von Stärke und von fettem Del abgelagert. Sie finden sich in den dicken Samenlappen und im Würzelchen aufgespeichert. Die Samenschale und das Endosperm enthalten kaum nennenswerthe Mengen von ernährender Substanz. Dagegen sind die genannten Nährstoffe im parenchymatischen Gewebe der Kotylen und des Würzelchens ziemlich gleichmäßig vertheilt. Diese Organe werden sich in fast gleichem Maasse bei der Ernährung des Keimlings betheiligen, denn beim Klee ist das Würzelchen im Verhältniß zu den Samenlappen viel größer als bei den meisten verwandten Pflanzengruppen. Man sieht dieses z. B. auch aus der Vergleichung der Trockengewichte dieser Organe. Beim Klee enthalten die beiden Kotylen zusammen nur sechs mal soviel Trockensubstanz als das Würzelchen, während letzteres z. B. bei Erbsen und Lupinen nur etwa  $\frac{1}{30}$  resp.  $\frac{1}{50}$  des Trockengewichtes beider Samenlappen erreicht.<sup>1)</sup>

Fassen wir das Gesagte kurz zusammen, so besteht der Kleesame aus:

1) Bloczewski in Landw. Jahrbücher 1876 V S. 150.

1. der äußeren und der inneren Samenschale (Taf. XIII Fig. 1 und 2 as., is.),
2. dem Endosperm (Fig. 2 e),
3. dem Keim, (Fig. 1 und 2) der selbst aus den beiden Kotylen, (c) dem Würzelchen (w) und dem Federchen (f) aufgebaut ist.

Von diesen Theilen ist der Keim der wichtigste, er stellt nicht nur die Anlage für das künftige Pflänzchen dar, sondern enthält auch die sämtlichen Reservestoffe, welche für die erste Entwicklung der Keimpflanze erforderlich sind. Unter diesen lassen sich auf mikrochemischem Wege Eiweiß, Stärke und Del nachweisen.

Die Samenschale dient zur Umhüllung und Beschützung des Keimes; das Endosperm nimmt im Samen nur eine sehr unbedeutende Stelle ein, und wird erst bei der Einquellung, dem Anfang des Keimungsprozesses eine Rolle spielen.

Wir wollen jetzt jeden einzelnen dieser Theile einer eingehenden Betrachtung unterwerfen, und dabei sowohl den anatomischen Bau, als auch die im Zelleninhalte mikroskopisch nachweisbaren Stoffe in ihrem Vorkommen und Verbreitung in den verschiedenen Gewebepartien so ausführlich beschreiben, als zu einem klaren Verständniß des ganzen Aufbaues des Samens nothwendig erscheint. Wir fangen mit den Samenlappen an.

#### b) Die Samenlappen.

In den Samenlappen des ruhenden Keims unterscheidet man bereits deutlich die drei Gewebesysteme, aus denen auch in der fertig entwickelten Keimpflanze die Keimblätter aufgebaut sein werden. Doch befinden sich sowohl im parenchymatischen Grundgewebe, als in der Oberhaut und den Gefäßbündelanlagen die Zellen noch in einem sehr jugendlichen, theilungsfähigen Zustand, und manche Zelltheilung wird noch erforderlich sein, um den völlig ausgebildeten Zustand zu erreichen. Auch fehlt in diesem Ruhezustande noch fast jede weitere Differenzirung. Die Oberhaut besteht sowohl auf der flachen Oberseite als auf der gewölbten Unterseite aus gleichförmigen Zellen, welche fast gleich hoch und breit sind und sich nur durch ihre geringere Größe und ihre Vereinigung zu einer kontinuierlichen Schicht von dem darunter liegenden Grundgewebe abheben. Spaltöffnungen fehlen noch völlig; doch sind die zu ihrer Entstehung erforderlichen vorbereitenden Theilungen bereits vollendet, und die Mutterzellen der späteren Stomazellen also überall deutlich erkennbar.

Inmitten des parenchymatischen Grundgewebes liegen die Gefäßbündelanlagen. Sie stellen ein reich verzweigtes System von Nerven in den Keimblättern dar, deren Verzweigung man im Längsschnitte (Taf. XIII Fig. 1) nach gehöriger Präparation deutlich verfolgen kann. Man sieht hier, daß von einem mittleren Hauptstamme an verschiedenen Stellen starke Seitenzweige ausgehen, aus denen wieder kleinere Zweige entspringen. Diese Nerven werden an ihrem Ende stets dünner, und sind sowohl hierin, als in ihrem ganzen Verlaufe und der Art ihrer Verzweigung von den Nerven der eigentlichen Laubblätter des Klee's auffallend verschieden. Alle Nerven liegen zusammen in einer einzigen Schicht in der Mitte der Dicke des

fleischigen Samenlappens, wie man am deutlichsten auf dem Querschnitte (Fig. 2 c) erkennt.

Was den feineren Bau der Nerven anbelangt, so ist darüber nur zu sagen, daß in ihnen noch jede Spur von Differenzirung fehlt, daß zumal von Spiral- oder Ringgefäßen im reifen Samen nichts zu erkennen ist. Sie bestehen nur aus kleinen, engen, äußerst dünnwandigen Zellen, den Mutterzellen der später so hochdifferenzirten Zellenformen der Gefäßbündel. Als Inhalt führen diese Zellen nur Eiweiß; Stärke oder Del können in ihnen nicht nachgewiesen werden.

In letzter Linie haben wir jetzt das Grundgewebe zu betrachten, welches als Ablagerungsort des bedeutendsten Theiles der Reservestoffe unser Interesse in hohem Grade beansprucht. Es besteht ganz aus kleinen, sehr eng aneinanderschließenden und mit körnigem Inhalt dicht erfüllten Zellen. Auf feinen Querschnitten kann man eine Differenzirung in Palissaden- und Schwammgewebe bereits erkennen, wenn auch nur undeutlich. Denn man sieht bei genauerer Betrachtung, daß die beiden Zellschichten, welche unter der Oberhaut der Innenseite liegen, regelmäßiger geschichtet sind und aus länglicheren Zellen bestehen, als das Gewebe zwischen der Nervenschicht und der Oberhaut der Unterseite, aus welchem später das Schwammparenchym hervorgehen wird.

Die Reservestoffe sind in allen Zellen des parenchymatischen Grundgewebes in derselben Weise abgelagert. Auf sehr feinen Querschnitten durch den trockenen Samen unterscheidet man bei Untersuchung in absolutem Alkohol eine feinkörnige Grundsubstanz, in der im Umkreise der Zelle große runde Körner liegen, während in der Mitte zahlreiche kleinere Körnchen den größten Theil des Raumes ausfüllen. Die großen Körner in der äußeren Schicht des Zellinhaltes sind Stärkekörner; sie lassen sich bei Behandlung mit Jodlösungen schön blau färben. Die feineren Körnchen in der Mitte sind Proteinkörner; sie bestehen, wie die Grundsubstanz aus einem innigen Gemenge von Eiweiß und fettem Del. Das Vorkommen von reichlichen Mengen von Eiweiß und fettem Del im Gewebe der Kotylen kann sehr leicht nachgewiesen werden. Läßt man dünne Schnitte während 1—2 Minuten in einer gesättigten Lösung von schwefelsaurem Kupfer liegen, und bringt man diese dann, nachdem man sie oberflächlich abgewaschen hat, in konzentrirte Kalilauge, so nimmt der ganze Schnitt eine prachtvolle intensiv-violette Farbe an, welche in den Gefäßbündeln noch etwas dunkler ist, als im Parenchym und in der Epidermis. (Vergl. Fig. 1 und 2). Diese Reaktion beweist bekanntlich die Anwesenheit von Eiweißstoffen. Welcher Eiweißstoff vorliegt, darüber entscheidet die Reaktion allerdings nicht. Das fette Del beobachtet man am bequemsten, wenn man die trockenen Schnitte mit konzentrirter Schwefelsäure behandelt. Man sieht dann überall das Del aus dem Protoplasma heraustreten und sich zu zahlreichen größeren und kleineren Tropfen vereinigen. Auch bei der Behandlung trockener Schnitte mit absolutem Alkohol scheidet sich das Del in Tropfen aus dem Protoplasma aus. In größeren Mengen Alkohol löst sich das Del ziemlich vollständig auf, eine Eigenschaft, welche uns ein Mittel an die Hand gibt, um die Präparate in bequemer Weise vom Del zu befreien und sie so für eine genauere Beobachtung besser vor-

zubereiten. Denn das Zusammenfließen des Oeles zu Tropfen stört in der Regel die Klarheit des mikroskopischen Bildes und erschwert dadurch eine genaue Orientierung über die Vertheilung der verschiedenen Inhaltskörper in den Zellen. Um diesen Uebelstand völlig zu umgehen, thut man am besten, die trockenen Schnitte sogleich in Oel, z. B. in Olivenöl zu bringen und sie hierin zu untersuchen. In solchen Präparaten werden z. B. die Stärkekörner sehr deutlich sichtbar. Sowohl die Behandlung mit Oel, als die mit absolutem Alkohol läßt deutlich die kleinen Proteinkörnchen erblicken, welche in der Grundsubstanz des Protoplasma überall vertheilt sind.

Von den Chlorophyllkörnern, welche später die wichtigsten Inhaltskörper der Zellen dieses Blattparenchyms darstellen werden, ist im reifen, trockenen Samen noch gar nichts zu sehen.

### c) Das Würzelchen.

Unter diesen Namen faßt man gewöhnlich alles zusammen, was nach der Entfernung der Kotylen vom Keime übrig bleibt; höchstens wird auch noch die Keimknospe als Federchen oder Plumula abgetrennt. Das Würzelchen (die Radikula) umfaßt dann nicht nur die Anlage der eigentlichen Wurzel, sondern auch das ganze hypokotyle Glied, das später das Zwischenglied zwischen der Wurzel und dem eigentlichen Stocke darstellen wird. Die Grenze zwischen der Wurzelanlage und dem jungen hypokotylen Gliede ist im Samen nicht deutlich zu erkennen. Um so schärfer ist das Würzelchen an seinem unteren Ende begrenzt; es zeigt hier schon einen deutlichen, von einer Wurzelhaube bedeckten Vegetationspunkt (Taf. XIII Fig. 1), der sich nur weiter zu entwickeln braucht, um den späteren Vegetationspunkt der Hauptwurzel zu bilden. Das obere Ende der Radikula geht allmählig in die beiden kurzen Stiele der Samenlappen über; äußerlich ist eine Grenze um so weniger zu erkennen, als diese Stiele an ihrer Basis mit einander verwachsen sind. Auf dem Längsschnitt aber gibt die Lage der Plumula ein sicheres Merkmal für jene Grenze ab (Taf. XIII Fig. 1 f). Dieses Federchen ist die Knospe, aus der sich die ganze oberirdische Kleepflanze entwickeln wird; sie läßt jetzt auch bei starker Vergrößerung nur den Vegetationspunkt und die Anlage der beiden ersten Blätter erkennen.

Was den anatomischen Bau des Würzelchens anbelangt, so zeigt uns die Fig. 1 darin ein centrales Gefäßbündel, welches nach unten in die Wurzelspitze, nach oben in das Federchen ausläuft. Gleich unterhalb von diesem giebt es seitlich zwei Zweige ab, welche in die Stiele der Samenlappen treten. Das Gefäßbündel ist von einem parenchymatischen Grundgewebe umgeben, dessen Außenseite eine Oberhaut bekleidet. Der feinere Bau dieser Theile ist in den Hauptsachen derselbe, den wir in den Kotylen bereits beschrieben haben; das Gefäßbündel besteht nur aus gleichartigen, dünnwandigen Zellen; in der Oberhaut fehlen die Spaltöffnungen noch. Die Zellen des Parenchyms zeigen in ihrer Form und Anordnung sehr deutlich ihre Bestimmung, um später hauptsächlich in der Richtung der Achse auszuwachsen; sie sind im Querschnitte rund, auf dem Längsschnitte aber viereckig und fast doppelt so breit wie hoch. Sie haben also die Form von kleinen, sehr niedrigen Cylindern,

und sind reihenweise zu größeren, aus je 6—12 Zellen bestehenden cylinderförmigen Gruppen zusammengelagert. Eine genauere Betrachtung von feinen Längsschnitten läßt in dieser Lagerung eine große Regelmäßigkeit erblicken, welche auf die Entstehung der erwähnten cylinderförmigen Zellenkomplexe aus je einer einzelnen Mutterzelle hindeuten. Die Umrisse dieser letzteren sind noch durch den Verlauf der luftführenden Intercellularräume angedeutet. Bei der Keimung verschwindet diese Anordnung in Gruppen allmählig vollständig.

Die Reservestoffe endlich können wir kurz abhandeln; sie sind dieselben und zeigen in jeder Hinsicht dieselbe Anordnung, wie in den Kotylen. Das Gefäßbündel, das Federchen und die Wurzelspitze, auch die Oberhaut führen nur Eiweiß; dagegen enthält das Parenchym sowohl Eiweiß als auch Stärke und Del. Das Del ist mit der eiweißartigen Grundsubstanz innig vermischt und kann nur durch Reagentien sichtbar gemacht werden, die Stärke ist aber in Körnerform in den Zellen abgelagert. Erhebliche Unterschiede in der relativen Menge dieser ausgezeichneten Nährstoffe von dem in den Kotylen beobachteten Verhältniß konnten mit Sicherheit nicht nachgewiesen werden.

#### d) Die Samenschale und das Endosperm.

Die Haut des Kleesamens besteht aus einer äußeren, harten und brüchigen, meist gefärbten Schicht, und einer dünnen Lage von zarten, weißen Zellen, welche diese überall auf der Innenseite bekleidet und welche sich nur in der Nähe des Nabels zu namhafter Dicke entwickelt. Innerhalb dieser doppelten Haut ist der Keim noch von einer dritten Schicht allseitig umkleidet; es ist das Endosperm, welches auf der Rückfläche der Kotylen ansehnlich ist, sonst aber nur ein äußerst dünnes Häutchen zwischen dem Keim und der inneren Samenschale darstellt. Wir haben jetzt den anatomischen Bau dieser drei Schichten zu beschreiben, wie er sich auf feinen Schnitten unter dem Mikroskope zeigt; bemerkt sei aber, daß die physikalischen Eigenschaften dieser Schichten bei der Quellung der Samen eine wichtige Rolle spielen. Hierauf kommen wir in §. 3a. zurück.

Zum besseren Verständniß schicke ich die Bemerkung voraus, daß weder die beiden Samenschalen noch das Endosperm zur Aufspeicherung von Reservestoffen dienen; solche werden darin nicht angetroffen. Dieser Mangel an Inhaltsstoffen hat in den Samenschalen nichts besonderes; im Endosperm aber ist er auffallend, da dieses Gewebe sonst in Samen, wo es vorkommt, grade die wichtigste Ablagerungsstelle für die Reservestoffe darstellt. Auch ist beim Klee das Endosperm nicht absolut frei von Nährstoffen; seine äußerste Zellschicht ist von Eiweiß erfüllt, doch ist sie so dünn, daß diesem Eiweiß kaum eine wichtige Rolle bei der Keimung zugeschrieben werden kann. Die äußerste Schicht der Samenschale führt den Farbstoff des Samens und einen Gerbstoff als Inhalt, sonst sind die Zellen der genannten Hüllen im trockenen Samen leer.

Wir beschreiben zuerst die äußere Samenschale, dann die innere und dann das Endosperm.

Die äußere Samenhaut besteht aus zwei übereinander liegenden Zellenlagen,

von sehr verschiedenem Bau. Die Zellen der äußersten Lage sind cylindrisch und senkrecht auf die Außenfläche des Samens dicht nebeneinander aufgestellt. Ihre nach außen liegenden Wände, welche den Umfang des Kleesamens bilden, sind sehr stark verdickt, die Seitenwände werden von innen nach außen dicker, wodurch eine konische Form des übrig bleibenden Zellraumes bedingt wird. Die Zellwände weisen schmale cylindrische Stellen von großer lichtbrechender Kraft auf, welche senkrecht auf die Oberfläche des Samens stehen, diese aber nicht erreichen. Demzufolge zeigt die Oberfläche der Samenhaut, unter dem Mikroskop betrachtet, ein fein punktirtes Aussehen. In den Zellen selbst liegt der Farbstoff, der dem Samen die Farbe giebt. Vom ganzen Samen ist nur diese äußerste Zellschicht gefärbt, und in dieser nur die Zelleninhalte. Wir haben im Anfange schon mitgetheilt, daß dieser Farbstoff in verschiedenen Samen oft sehr verschieden, ja gewöhnlich sogar am dicken Ende eines Samens anders als am dünnen ist. Er wechselt im Allgemeinen zwischen gelb, braun, dunkelviolet und den zwischenliegenden Nüancirungen.

Mittels Eisenchlorid läßt sich ferner ein Gerbstoff als Theil des Inhaltes dieser Zellen nachweisen. Auch nimmt der Inhalt bei längerer Behandlung mit kauftischem Kali eine rothbraune Farbe an; eine Reaction, welche bekanntlich gleichfalls auf einen Gehalt an Gerbstoff hindeutet. Die letztgenannte Reaction ist zwar häufig durch den in diesen Zellen vorkommenden Farbstoff getrübt; tritt aber auch oft sehr scharf und unzweifelhaft ein.

Die zweite Zellenlage der äußeren Haut ist viel dünner als die erstere und farblos. Sie besteht aus flach tafelförmigen Zellen, welche nach der Isolirung aus dem Gewebe als dicke mehr oder weniger ovale Ringe erscheinen, da ihre Seitenwand stark verdickt ist. Sie lassen bedeutende Zwischenräume zwischen sich, welche im trockenen Samen mit Luft erfüllt sind.

Eine besondere Beachtung verdient noch der Nabel (Fig. 1 n). Es ist dies eine runde Grube, welche von einer kleinen Vertiefung in der äußeren Samenhaut gebildet wird. Die Wand dieser Grube besteht ganz aus der äußeren Samenschale, welche an der tiefsten Stelle von einer schmalen Spalte durchbrochen ist. In der Grube war, solange der Same noch unreif war, das Stielchen befestigt, mit dem der Same der Fruchtwand anhing. Beim Trocknen des reifen Samens ist dieses Stielchen verchrumpft und später abgebrochen; kleine Ueberreste davon sind in der Form von kleinen stark lichtbrechenden, aus säulenförmigen Zellen bestehenden Gewebepartien auf beiden Seiten des erwähnten Spaltes noch übrig geblieben. Auch vom Gefäßbündel, das aus dem Stielchen durch jene Spalte in den Samen drang, sind in dem lockeren Gewebe, das auf der Innenseite an den Nabel grenzt, noch geringe Spuren vorhanden. Eine Rolle spielen aber alle diese Theile im reifen Samen nicht mehr; das Ganze ist nur als eine vernarbte Wunde zu betrachten.

Eine Mikropyle ist im reifen Kleesamen nicht oder kaum mehr zu erkennen.

Die innere Samenschale besteht aus mehreren Lagen von inhaltsarmen, flach zusammengedrückten Zellen, welche in der Querrichtung mehrere Male größer sind als die der äußeren Haut. Sie bieten uns nichts, was eine ausführliche Beschreibung veranlassen könnte.

Die Wand, welche die Spitze des Würzelchens von den Kotylen trennt, und welche wir als Ueberreste des Kerns der Samenknospe betrachten, besteht, wie die innere Samenschale, aus einem parenchymatischen Gewebe von inhaltsarmen, im trockenen Samen weiß erscheinenden Zellen.

Sowohl in der inneren Samenschale, als in der Wand zwischen dem Würzelchen und den Samenlappen enthalten manche Zellen einen Gerbstoff. Ihr Inhalt färbt sich bei der Behandlung mit Eisenchlorid schwarz. Dieselbe Reaktion haben wir oben für die stäbchenförmigen Zellen der äußeren Samenschale angegeben; dagegen scheinen das Endosperm und der Keim im ruhenden Samen keinen Gerbstoff zu enthalten.

Schließlich haben wir noch das Endosperm zu behandeln. Dieses umgiebt den Keim überall, aber erreicht nur an einzelnen Stellen eine solche Dicke, daß es auf dem Querschnitte des trockenen Samens sogleich erkannt werden kann. Es sind dies die in Fig. 2 weiß gelassenen Stellen zwischen dem Keim und der Samenschale. In dem Endosperm unterscheiden wir eine äußere, oberhaut-ähnliche Schicht von flachen, ohne Lücken aneinander schließenden Zellen, und ein inneres großzelliges parenchymatisches Gewebe. Letzteres bietet mit Ausnahme von seiner später zu besprechenden ansehnlichen Quellungsfähigkeit nichts Wichtiges. Dagegen zeigt die äußere, nur aus einer einzelligen Lage bestehenden Schicht zwei merkwürdige Eigenthümlichkeiten. Erstens sind ihre Zellen nicht leer oder inhaltsarm, wie die angrenzenden des Endosperm und der inneren Samenschale, sondern ganz mit Eiweiß gefüllt. Zweitens zeigen die seitlichen Wände dieser Zellen Einbuchtungen, welche in den inneren Zellenraum hineinragen. Dadurch liefert diese Schicht bei der Betrachtung unter starker Vergrößerung ein sehr zierliches Bild, das um so interessanter ist, als solche nach innen vorspringende Zellhautleisten im Pflanzenreich verhältnißmäßig sehr selten vorkommen.

## §. 2. Die ausgebildete Keimpflanze.

### a) Allgemeines.

Neben dem reifen, noch ruhenden Samen, verlangt auch die am Ende ihrer Entwicklung angelangte Keimpflanze eine eingehende Darstellung. Beide Beschreibungen zusammen bilden die Grundlage für die Vergleichen der verschiedenen Entwicklungszustände, durch welche hindurch der Same sich zur ausgewachsenen Keimpflanze ausbildet. Kennt man beide Endpunkte der Reihe genau, so hat die Beschreibung des Keimungsprozesses uns zu erklären, durch welche Veränderungen die Keimpflanze aus dem Samen hervorgeht. Ich behandle also erst die fertige Keimpflanze und erst nachher die zwischenliegenden Entwicklungszustände, weil hierdurch die Beschreibung klarer und deutlicher werden kann. Denn es ist keine leichte Aufgabe, sich eine klare Vorstellung eines Entwicklungsganges zu machen, wenn man nicht von vorn herein weiß, zu welchem Endresultate dieser führen wird. Indem wir also die Besprechung jener Veränderungen für den nächsten Paragraphen bestimmen, wollen wir jetzt die junge Pflanze schildern, wie sie uns am Ende der

Keimung entgegentritt. Wie beim Samen sind es auch hier der anatomische Bau und die Vertheilung der Nährstoffe über die einzelnen Organe, welche unsere Aufmerksamkeit besonders in Anspruch nehmen werden.

Der ausgebildete Keimling des rothen Klee's ist ein kleines, zartes Pflänzchen, dessen dicke, saftige Keimblätter nur wenig über der Erdoberfläche hervorragen, während zwischen ihnen nur ein kleines Blättchen sich erhebt. Abweichend von der gewöhnlichen Gestalt der Kleeblätter, zeigt uns dieses erste Blättchen nur eine einzige Spreite am Gipfel des langen, dünnen Stieles (Fig. 10 spr.) Diese Spreite hat nicht die bekannte ovale Form der späteren gedrehten Blätter, sondern ist mehr oder weniger kreisrund, und an der Spitze ausgebuchtet. Die beiden Keimblätter sind gestielt; die Stiele umschließen mit ihrem unteren, scheidenartig verwachsenen Ende die Knospe, in welcher sich bereits einige Blattanlagen von verschiedenem Alter befinden. Der Entwicklung der oberirdischen Theile entspricht die des Wurzelsystems; gräbt man die Pflanze vorsichtig aus dem Boden, so sieht man, daß die Hauptwurzel bereits eine bedeutende Länge erreicht, und mehrere Seitenwurzeln entwickelt hat.

In seltenen Fällen findet man Keimpflänzchen mit drei Kotylen; auch Pflänzchen, an denen statt eines einzigen zwei ungedrehte Blätter sich entwickeln, begegnet man bei der Durchmusterung sehr zahlreicher Exemplare von Zeit zu Zeit. Solche Vorkommnisse können als monströse Abweichungen angesehen werden.

Die Figuren 10—16 auf unserer Tafel XIV sollen uns den Bau und die Vertheilung der Nährstoffe in diesem Stadium veranschaulichen. Fig. 10 stellt die oberirdischen Theile in schematischem Längsschnitt dar; das obere Blättchen (spr.) ist dabei ganz in die Ebene der Figur verlegt worden, um die Uebersicht zu erleichtern. Bei der gewählten Vergrößerung konnte die ganze Wurzel nicht abgebildet werden; ich habe mich also auf die Darstellung eines mittleren Theiles (Fig. 11) und der Wurzelspitze (Fig. 12) beschränken müssen. Die Figuren 13—16 stellen Querschnitte der Kotylen, der Kotylenstiele, des hypokotylen Gliedes und der Wurzel dar; für die drei ersteren sind die Stellen, an denen sie der Pflanze entnommen sind, in der Hauptfigur (Fig. 10) durch die entsprechenden Zahlen angegeben. Die Lage des Wurzelquerschnittes Fig. 16 konnte nicht eingetragen werden, weil das betreffende Präparat in der Wurzelstrecke zwischen Fig. 11 und 12 lag.

Das Charakteristische dieses Entwicklungsstadiums ist, daß hier zum ersten Male alle Reservestoffe vollständig verbraucht sind. Die Aufnahme anderer Nährstoffe und die Stärkebildung durch Zerlegung von Kohlensäure hat bereits angefangen, längst bevor alle im Samen aufgespeicherten Nährstoffe zum Aufbau der Pflanze verwendet waren. Ja, der völlige Verbrauch dieser Reservestoffe ist ohne die Mitwirkung der Kohlensäureassimilation am Lichte nicht möglich. Ich werde diese wichtige Eigenthümlichkeit, durch welche die Keimpflanzen des Klee's sich von sehr vielen anderen Keimlingen unterscheiden, später ausführlich behandeln, muß aber für ein klares Verständniß schon jetzt das Folgende vorausschicken. Bei der Beschreibung des Samens haben wir gesehen, daß dieser sehr reich an Eiweiß ist. Dieses Eiweiß wird bei der Keimung nun zum Theil als Eiweiß nach den Ver-

brauchsstätten transportirt. Zu einem großen Theile wird es in Asparagin umgewandelt, aus welchem später und an anderen Orten wieder Eiweiß regenerirt werden kann. Dazu ist aber die Anwesenheit reichlicher Mengen von Kohlehydraten erforderlich, da aus Asparagin nur unter Aufnahme von stickstofffreien organischen Verbindungen Eiweiß entstehen kann. Nun werden aber die stickstofffreien organischen Verbindungen, welche im Samen als Stärke und Del abgelagert waren, bei der Keimung bald zum Aufbau der Zellwände und zur Athmung völlig verbraucht. Die Folge davon ist, daß das Asparagin sich in dem Keimling anhäuft, ohne sich in Eiweiß zurückbilden zu können. Dieses kann erst stattfinden, nachdem die Pflanze ihre Keimblätter am Lichte entfaltet hat, und diese nun kräftig Kohlensäure assimiliren. Die aus dieser Assimilation gebildeten organischen Substanzen werden dann zu einem großen Theil zur Eiweißbildung aus dem Asparagin verwendet. Dieser Prozeß ist gewöhnlich nicht eher beendet, als bis die Pflanze ungefähr in das in unseren Figuren abgebildete Stadium eingetreten ist. Daher in diesen Figuren die für das Asparagin gewählte gelbe Farbe auch nicht vorkommt.

Einen schönen Beweis für die Nothwendigkeit der Mitwirkung des Lichtes bei dem Verbrauch des Asparagins liefert uns die Vergleichung der im Dunklen gekeimten Kleejamen. Diese hören auf zu wachsen, sobald die stickstofffreien Reservestoffe des Samens völlig verbraucht sind. Sie enthalten dann aber noch sehr ansehnliche Mengen von Asparagin und behalten diese in ihrem Gewebe, bis sie absterben.<sup>1)</sup> Eine Verwendung findet dieser Körper unter solchen Umständen nicht. Es ist nun wichtig, zu bemerken, daß solche etiolirende Keimlinge nie das in Fig. 10 abgebildete Entwicklungsstadium erreichen können; sie hören gewöhnlich zu wachsen auf, bevor sie die Samenschale abstreifen, und nur in günstigen Fällen gelingt es ihnen, ihre Keimblätter zu entfalten. Ein Wachsthum der Knospe, des Federchens, findet im Dunklen fast gar nicht statt. Dagegen hat das hypokotyle Glied eine viel größere Länge erreicht, als am Lichte. Dieses Stadium erlangen die Keimpflanzen also ausschließlich auf Kosten der im Samen vorhandenen Reservestoffe; für die weitere Ausbildung ist die Mitwirkung von außen aufgenommener Nährstoffe, speziell die Zerlegung der Kohlensäure am Lichte erforderlich. Man kann dieses auch kurz so ausdrücken, daß man sagt: im Samen sei das Verhältniß zwischen den einzelnen Reservestoffen ein unrichtiges; er enthält zu wenig stickstofffreie Nährstoffe im Verhältniß zu den stickstoffhaltigen; die ersteren sind in zu geringer Menge vorhanden, um eine völlige Verwerthung der letzteren zu gestatten.

Diese Eigenschaft hat zur Folge, daß eine scharfe Grenze zwischen der Keimungsperiode und der vegetativen Periode beim Klee nicht besteht. Die erstere hört mit dem völligen Verbrauch der Nährstoffe auf, die letztere fängt mit der Verwerthung der von außen aufgenommenen Stoffe an. Die Grenzen beider Perioden greifen hier also übereinander; die Entfaltung der Kotylen und das Wachsthum des einfachen Blättchens gehören eigentlich beiden Perioden an. Für die Beschreibung muß man also eine dieser beiden Grenzen willkürlich wählen, und dabei

1) Vergl. Tafel XIII Fig. 7—9 und S. 4.

empfiehlt sich ohne Zweifel die von uns gewählte Grenze als weitaus die zweckmäßigste.

Für diese Wahl spricht auch der Umstand, daß alle übrigen, im Samen vorhandenen Stoffe zur Erreichung dieses Entwicklungsstadiums in genügender Menge da sind. Dieses lehren uns Versuche, in denen wir die Klee samen in destillirtem Wasser keimen und sich weiter entwickeln lassen. Hier ist eine Aufnahme anorganischer Stoffe ausgeschlossen. Dennoch entwickeln die Keimlinge sich am Lichte vollständig; sie entfalten ihre Kotylen und bilden das einfache Blättchen aus. Setzt man solche Kulturen noch länger fort, so können die Pflänzchen zwar noch weitere Blätter entwickeln, dieses aber nur auf Kosten der zuerst entfalteten Blätter, welche, indem sie absterben und vertrocknen, ihre anorganischen Bestandtheile der Pflanze wieder zur Verfügung stellen.

#### b) Die Samenlappen.

Die Keimblätter haben im ausgewachsenen Zustande noch dieselbe ovale Form, die sie im Samen hatten; sie haben aber sowohl in der Längsrichtung, wie in der Quere etwa die vierfache Größe erreicht. Im trockenen Samen waren sie im Mittel aus mehreren Messungen etwa 1 Mm. breit und 1.5 Mm. lang; jetzt sind sie 4 Mm. breit und 6 Mm. lang geworden. Dagegen hat ihre Dicke kaum merklich zugenommen, so daß die Form des Querschnittes eine ganz andere geworden ist. Dies ist um so mehr der Fall, als im Samen die obere Seite flach und die hintere gewölbt ist, während nach der Entfaltung grade umgekehrt die obere Seite gewölbt und die untere flach wird. Vergl. Fig. 13 mit Fig. 2.

Mit diesem Wachsthum der ganzen Organe ist ein Wachsthum und eine Vermehrung der Zellen zusammengegangen. Aber nur in der Richtung der Länge und der Breite; nicht in der der Dicke. Das fertige Keimblatt besteht noch aus derselben Anzahl von Zellenlagen wie im Samen. Unter der Oberhaut der Oberseite findet man drei Schichten ziemlich eng aneinander schließender säulenförmiger Zellen, das Palissaden-Gewebe, und darunter vier Lagen eines lockeren, an großen Lufträumen reichen Schwammgewebes. In jeder Schicht aber hat sich die Zellenzahl sowohl in der Längsrichtung als in der Breitenrichtung des Samenlappens ungefähr verdoppelt, so daß aus jeder einzelnen Zelle des ruhenden Samenlappens nahezu vier Zellen für das fertige Keimblatt entstanden sind. Vergleicht man die angegebenen Zahlen, so sieht man, daß die Zelltheilungen nicht ausreichen, um das Wachsthum des ganzen Organs zu erklären; es hat auch noch eine Vergrößerung der einzelnen Zellen stattgefunden; diese sind jetzt im Ganzen und Großen etwa doppelt so breit, wie die im Samen.

Auch in der Oberhaut hat ein Wachsthum und eine Vermehrung von Zellen stattgefunden. Wichtiger ist hier aber die Ausbildung der Spaltöffnungen aus den Mutterzellen, welche wir im Samen kennen lernten. Die Stomata kommen auf der Ober- und Unterseite in fast gleicher und ziemlich großer Anzahl vor; jedes einzelne Stoma ist nahezu kreisrund und aus zwei Zellen gebildet. Durch diese Spaltöffnungen communiciren die Lufträume im Parenchym mit der Atmosphäre.

Eine viel eingreifendere Veränderung haben die Nerven erlitten. Aus dem engzelligen, dünnwandigen Gewebe ohne jede Differenzirung sind Gefäßbündel von reich gegliedertem Bau hervorgegangen. Ein Holzkörper mit Spiral- und Ringgefäßen, ein Bast mit Bastfasern und dünnwandigen Leitzellen, beide von einem bildungsfähigen Kambium getrennt, sind ausgebildet worden. Auf dem Querschnitte des Kötystenstieles Fig. 14 ist diese Differenzirung in den beiden Gefäßbündeln, welche in der Mitte des Grundgewebes liegen, angedeutet. Im Samen führten alle Zellen der Gefäßbündelanlagen Eiweiß; jetzt kommt dieses nur noch in dem Weichbaste vor; die übrigen Gebilde führen meist Luft.

Im Inhalte der Zellen des Grundgewebes sind aber die wichtigsten Veränderungen eingetreten. Die Reservestoffe sind aus ihnen verschwunden; das Protoplasma ist zu einem dünnen Wandbeleg geworden, welches einen großen, mit wässrigem Saft gefüllten Hohlraum umgiebt. In diesem Protoplasma haben sich die Chlorophyllkörner ausgebildet, in deren Innern die Zerlegung der Kohlensäure und die Bildung von Stärke aus dieser vor sich geht; von ihnen war im Samen noch nichts zu entdecken. Diese Stärke wird von ihrer Bildungsstätte aus fortwährend durch die Kötyledonarstiele dem Stamme und von dort den Verbrauchs-orten zugeführt. In dem parenchymatischen Gewebe jener Stiele läßt sie sich überall leicht nachweisen (vergl. Fig. 14).

### c) Das hypokotyle Glied und die Wurzel.

Diese beiden Theile sind aus dem Würzelchen des Samens hervorgegangen. Die scheibenförmigen, in cylindrischen Reihen angeordneten Zellen haben durch weitere Quertheilungen ihre Zahl nicht unbeträchtlich vermehrt, und sich dann in der Richtung der Achse auf das 5—10- oder mehrfache ihrer früheren Länge gestreckt. Theilung und Streckung haben sowohl in dem Grundgewebe als auch in der Oberhaut stattgefunden; in letzterer haben sich auch hier und da Spaltöffnungen ausgebildet. Gegenüber diesen großen Veränderungen in der Längsrichtung ist die Anordnung im Querschnitte auffallend wenig verändert. Die Anzahl und gegenseitige Lage der Zellen sind nahezu dieselben geblieben, nur ist der Zusammenhang viel lockerer geworden, da die Zellen mehr auseinander gewichen sind und die Inter-cellarräume sich entsprechend vergrößert haben.

Im Inhalte der Zellen sind auch hier die Reservestoffe vollständig verschwunden; ein äußerst dünner protoplasmatischer Wandbeleg umgiebt einen klaren, wässrigen Zellsaft. Im oberen Theil des hypokotylen Gliedes können sich, je nach dem Beleuchtungszustande Chlorophyllkörner entwickeln oder auch nicht. In ersterem Falle können diese selbst Stärke bilden, in letzterem kann hierher sich die Stärke aus den Keimblättern verbreiten; doch geht diese noch nicht sehr weit abwärts. Vergl. Fig. 10 zwischen bb, der Insertionsstelle der Kötyledonarstiele und hg.

Den bedeutendsten Antheil an der Entwicklung der Wurzel hat die Neubildung und das Wachsthum der Zellen in der Wurzelspitze genommen. Hier entstehen im Vegetationspunkt durch Theilung fortwährend neue Zellen, welche bald, indem sie sich strecken und in Dauergewebe übergehen, die Wurzel verlängern. Bei diesen

Vorgängen werden große Mengen von Nährstoffen zum Aufbau der Zellen und zur Athmung verbraucht; dementsprechend strömen sowohl stickstoffhaltige als stickstofffreie organische Nährstoffe fortwährend von den oberirdischen Theilen aus nach diesen Bildungsstätten. Hier werden sie nicht sofort verbraucht, sondern zunächst, wenigstens zum Theil aufgespeichert, können also mikrochemisch nachgewiesen werden. Gewöhnlich findet man sie in der Vertheilung, welche uns die Fig. 12 zeigt. Die ganze Wurzelspitze und eine weite Strecke des noch jungen Gefäßbündels sind mit Eiweiß dicht erfüllt; aus diesem Stoffe werden die bekanntlich stickstoffhaltigen Protoplasmakörper der neuen Zellen gebildet. Dagegen führen die in rascher Streckung begriffenen Zellen des Rindenparenchyms Stärke, welche offenbar das Material zum Wachsthum ihrer Zelhäute liefert, denn sobald die Zellen ausgewachsen sind, ist die Stärke aus ihnen verschwunden. Auch die Zellen der Wurzelhaube (wh), welche die zarte Wurzelspitze umgeben und beschützen, führen Stärke, welche auch hier zum Wachsthum der Zelhäute fortwährend verbraucht wird.

Dieselben Wachsthumsprozesse gehen auch in den Nebenwurzeln vor sich (Taf. XIV Fig. 11 nw). Dementsprechend ist hier die Vertheilung der Nährstoffe auch dieselbe wie in der Spitze der Hauptwurzel. So lange die Nebenwurzeln nur erst als kleine, halbkuglige Anlagen am Umfang der Gefäßbündel der Mutterachse entstehen, enthalten sie nur Eiweiß (wa); wenn sich ihre Wurzelhaube entwickelt, wird in dieser Stärke abgelagert, und erst später, nachdem die neue Wurzel 1—2 Mm. lang geworden ist, findet man auch in ihren älteren, sich bereits rasch streckenden Zellen Stärke. Diese drei Zustände sind in unserer Fig. 11 dargestellt. Von da an bleibt die Vertheilung der Nährstoffe dieselbe.

Es mag beim ersten Blick auffallend erscheinen, daß diese Nährstoffe auf dem langen Wege, den sie zwischen dem oberen Theil des hypokotylen Gliedes und den Wurzelspitzen zu durchlaufen haben, nicht nachgewiesen werden können, wie aus unseren Figuren 10—12 hervorgeht. Diese Thatsache läßt sich aber in einfacher Weise durch die Annahme erklären, daß sie hier in zu geringer Menge vorkommen, um durch mikrochemische Reaktionen entdeckt zu werden.

Ich habe bis hierhin die Gefäßbündel im hypokotylen Gliede und in der Wurzel stillschweigend übergangen, um sie jetzt im Zusammenhang zu schildern. Verfolgen wir dazu ihren Verlauf von den Kotylen ausgehend durch das hypokotyle Glied bis in die Wurzel. Wir haben bereits gesehen, daß der Querschnitt des Kotylenstieles uns zwei Gefäßbündel zeigt, welche dicht neben einander in der Mitte des Schnittes liegen (vergl. Fig. 14). Diese beiden Bündel vereinigen sich bei ihrem Eintritte in das Keimblatt zu dem Mittelnerven, von welchem die Seitennerven als Verzweigungen ausgehen. Nach unten aber bleiben sie getrennt. Indem sie in der Höhe von b b (Fig. 10) in das hypokotyle Glied übertreten, kommen die beiden Paare der zwei Kotedonarstiele zusammen und stellen sie sich in ein Kreuz, in welchem sie bald so enge aneinanderschließen, daß ihre Grenzen nicht scharf mehr zu erkennen sind. Doch erkennt man auf dem Querschnitte des hypokotylen Gliedes (Fig. 15) an der Form des Holzkörpers (Fig. 15 hlz) deutlich, daß hier vier einzelne Stränge zu einem Kreuze vereinigt sind. Die vier Arme dieses

Kreuzes entsprechen jede nicht der Mitte eines der aus den Keimblattstielen absteigenden Stränge, sondern der Grenze zweier solcher Stränge. Denn der Form entsprechend, welche er bereits in jenen Stielen hat, ist jeder Holzkörper auf seiner Außenseite etwas konkav. Die Ränder der Holzkörper sind also die vorspringenden Leisten in unserer Figur. Was nun den ferneren Bau dieses Holzkörpers anbelangt, so besteht er, vom Mittelpunkt aus betrachtet, zuerst aus Ring- und Spiralgefäßen, dann aus porösen Gefäßen, zwischen denen Holzfasern vorkommen. An den Seiten jedes einzelnen Bündels gehen die Ring- und Spiralgefäße ziemlich weit nach außen vor, so daß jene vier hervorspringenden Leisten zum großen Theil aus ihnen gebildet sind. Den Holzkörper umgeben das Kambium und der Weichbast, beide aus eiweißführenden, dünnwandigen Zellen bestehend, und in der erwähnten Figur also durch ihre violette Farbe leicht kenntlich. Im äußeren Theile des Weichbastes liegen einzelne Gruppen von dickwandigen Bastfasern (bst.) Das Ganze ist von der sogenannten Stärkescheide umgeben, einer Schicht von eng aneinanderschließenden Zellen, welche die innerste Lage des parenchymatischen Grundgewebes darstellen und häufig auch dann Stärke führen, wenn solche sonst im Gewebe nicht angetroffen wird. Sie ist in der Figur durch blaue Punkte angedeutet.

Während die Gefäßbündel im ganzen hypokotylen Gliede in einem vierstrahligen Kreuze stehen, stehen sie in der Wurzel stets im Dreieck (vergl. Fig. 16). Hier sind es nicht mehr die aus den Kotylen absteigenden Blattspurstränge, sondern eigene, in der Wurzelspitze sich durch Spitzenwachsthum verlängernde Bündel. Auch ist ihre Entwicklungsweise eine andere und bedingt die Eigenthümlichkeiten des späteren Dickenwachsthums des Wurzelkörpers. In dem in Fig. 16 abgebildeten Stadium hat dieses Dickenwachsthum bereits angefangen. Man sieht hier einen dreieckigen Holzkörper (hlz), der aus porösen Gefäßen und Holzfasern gebildet ist. Jede Ecke des Dreiecks entspricht einem Stränge. Mit diesen Strängen stehen die Bastbündel (bst) abwechselnd, was daher rührt, daß sie ursprünglich neben dem Holzkörper, nicht auf dessen Außenseite angelegt worden sind. Zwischen beiden Theilen hat sich bereits aus dem dort befindlichen Kambium ein reichlich entwickelter Weichbast ausgebildet, den ich wegen des Eiweißgehaltes, durch den er in den jüngeren Strecken der Wurzel sich auszeichnet, in der Figur violett angegeben habe.

Das ganze Gefäßbündelsystem ist von einer Zellschicht umgeben, welche den Namen Perikambium führt, und in der die ersten Anlagen zu den Nebenwurzeln gebildet werden. Diese Nebenwurzeln stehen beim Klee in drei Reihen, da sie nur dort entstehen, wo das Perikambium auf seiner Innenseite an das weichzellige (in der Figur violette) Gewebe grenzt, nicht aber auf der Außenseite der drei Gruppen von Bastbündeln hervortreten können.

#### d) Das erste Blatt und die Knospe.

Im trockenen Samen bildete die Plumula oder das Federchen die Knospe, aus der sich später der ganze belaubte Stock der Kleepflanze entwickeln sollte. Diese Knospe entfaltet schon während der Keimung eine große Thätigkeit; aus ihr ist das ungedreite Blatt hervorgegangen, in ihr sind die vorhandenen Anlagen für neue

Blätter erheblich ausgebildet worden, und neue Blattanlagen sind aus dem Vegetationskegel, der eigentlichen Spitze des Stocdes (Fig. 10), hervorgewachsen. Für diese Neubildungen war ein großer Verbrauch von Assimilationsprodukten erforderlich; diese wurden zum Theil durch die Reservestoffe des Samens geliefert, mußten aber zum anderen Theil erst durch Kohlensäure-Assimilation neu dargestellt werden. Man findet diese für das Wachsthum bestimmten Stoffe in der Form von Eiweiß und Stärke in den jungen Organen aufgespeichert; das Eiweiß, welches zur Bildung des Protoplasma dient, im Vegetationskegel und den allerjüngsten Neubildungen, in denen noch Zelltheilungen vor sich gehen, und die Protoplasma-körper noch an Zahl und Masse zunehmen. Die Stärke dagegen in denjenigen Organen, welche bereits aus dem Stadium der Zelltheilung herausgetreten sind, und wo das rasche Wachsthum der Zellwand jetzt große Quantitäten von stickstofffreien organischen Nährstoffen verlangt. Eine deutlichere Uebersicht über die Verbreitung der Stärke und des Eiweißes gibt uns unsere schematische Figur 10; diese lehrt zugleich, daß andere wichtige Assimilationsprodukte, wie Traubenzucker, Del oder Asparagin, in diesem Zustande nicht mehr nachgewiesen werden können.

Das fertig entwickelte einfache Blatt der Keimpflanze zeigt sowohl in seiner äußeren Erscheinung als in seinem anatomischen Bau in mancher Hinsicht Uebereinstimmung mit den späteren Blättern der erwachsenen Kleepflanze; in manchen Punkten weicht es aber auch von diesen ab. Im Allgemeinen kann man sagen, daß die Abweichungen darin bestehen, daß das erste Blättchen einfacher und schwächer gebaut ist als die späteren, was wohl darin seine Ursache hat, daß die junge Pflanze noch nicht hinreichend erstarrt ist, um bereits jetzt völlig normal ausgebildete Blätter zu entwickeln. Abgesehen von der Anzahl der Spreiten und der äußerst geringen Größe, zeigt sich dieser einfachere Bau in manchen Punkten des anatomischen Baues. So zeigt z. B. ein Querschnitt eines Blattstiels einer kräftig entwickelten Pflanze gewöhnlich 5—7 Gefäßbündel, wogegen in dem ersten Blatte der Keimpflanze nur 3 Stränge den Stiel durchziehen. Auch die Nervatur der Spreite ist eine viel einfachere, doch zeigt sie bereits das charakteristische Merkmal der Kleeblätter in den gabelförmig verzweigten Seitennerven, welche mit fast ungeminderter Dicke bis an den Rand des Blattes verlaufen.

Da wir im nächsten Aufsatze dieser Reihe die Anatomie und Entwicklungsgeschichte der Kleeblätter, sowie die Vorgänge der Assimilation und der Stoffwanderung darin ausführlich behandeln werden, möge hier das über das erste Blatt und die Knospe Gesagte genügen; eine ausführlichere Beschreibung würde nur zu Wiederholungen führen.

In der fertigen Keimpflanze finden sich schon an einzelnen Stellen Ablagerungen von oxalsaurem Kalk, einem Salze, das in krystallinischer Form in der Kleepflanze im späteren Leben in sehr großer Menge vorkommt und an bestimmten morphologischen Orten abgelagert ist. Es findet sich nämlich stets in der Begleitung der Gefäßbündel, und zwar in der innersten, den Bastbelegen angrenzenden Schicht des parenchymatischen Grundgewebes. In der Keimpflanze kommt es an den Nerven des einfachen Blattes in ziemlich großer Menge, in geringerer Quantität

auch in den Stielen der Keimblätter vor. An beiden Stellen bekleiden die Krystallführenden Zellen die Bastbelege als kontinuierliche, dünne Schicht.

### § 3. Die einzelnen Perioden der Keimung.

#### a) Die Quellung der Samen.

##### 1. Beschreibung des Vorganges.

Wenn man lufttrockene Kleesamen in Wasser bringt, so saugen sie große Mengen davon ein und quellen dabei sehr erheblich auf. Dieser Vorgang fängt bei einigen Körnern schon in den ersten Stunden der Befeuchtung an, bei andern aber erst viel später. Zunächst dringt das Wasser in die Samenhaut; diese nimmt dadurch an Volum zu, und es entstehen in ihr feine Runzeln, welche man deutlich sehen kann, wenn man die einige Stunden lang eingeweichten Samen mit einer Loupe betrachtet. Nach einigen weiteren Stunden wird die Haut wieder glatt, da jetzt auch die inneren Theile Wasser eingesogen und sich ausgedehnt haben. Die Größe der Samen ist dabei von 1.5—2.0 Mm. auf etwa 2.5—3.0 Mm., also sehr ansehnlich gestiegen.

Ein sehr großer Theil des aufgenommenen Wassers wird vom Endosperm festgehalten. Im trockenen Samen bildete dies eine überaus dünne, nur stellenweise eben sichtbare Schicht zwischen dem Keim und der Samenhaut; im aufgequollenen Samen ist es an manchen Stellen, zumal auf dem Rücken der beiden Keimblätter zu einer mächtigen Gewebemasse angeschwollen. Seine äußerst großen Zellen sind jetzt mit einem wasserklaren Saft strohend gefüllt, während sie vorher ganz trocken und zusammengedrückt waren. Welchen Stoffen die Zellen diese merkwürdige Eigenschaft verdanken, ist bis jetzt noch nicht untersucht worden, doch ist die Thatsache hervorzuheben, daß die Aufsaugung des Wassers und die Aufquellung ganz plötzlich vor sich gehen können. In sehr schöner Weise kann man dieses beobachten, wenn man feine Schnitte durch das Endosperm trockener Samen unter dem Mikroskop bringt und nun Wasser zusetzt. Die Aufnahme geschieht so plötzlich, daß es kaum möglich ist, den Vorgang in seinen Einzelheiten mit dem Auge zu verfolgen.<sup>1)</sup> Diese großen, vom Endosperm aufgenommenen Wasserquantitäten gestatten uns einen Einblick in die Rolle, welche dieses Gewebe bei der Keimung des Kleesamens zu spielen hat. Bei anderen Samen, in denen es vorkommt, führt es in der Regel Reservestoffe, und zwar gewöhnlich den wichtigsten Theil davon. Hier ist dies nicht der Fall, denn die winzig kleine Quantität Eiweiß in seiner äußersten Zellschicht kommt kaum in Betracht. Seine Rolle muß also eine andere sein. Es fungirt als Wasserbehälter bei der Keimung. Hat der Same sich im feuchten Erdreich einmal mit Wasser vollgesogen, so kann die Erde um ihn herum jetzt zu einem gewissen Grade austrocknen, ohne daß dadurch die Keimung sofort sistirt wird. Denn ein Theil der zur Streckung des Würzelchens nöthigen Wassermengen kann von dem Endosperm geliefert werden. Dadurch wird es den flach gesäten Kleesamen bequemer, nach

1) Vergl. hierüber auch Nobbe in Landw. Versuchsstat. 1872. S. 260.

einmaliger Befeuchtung ihre Würzelchen durch die obersten, austrocknenden Schichten in die tieferen und feuchteren zu senden und so der Gefahr des Austrocknens, welche für so kleine Samen verhältnißmäßig sehr groß ist, in den normalen Fällen zu entgehen.

Daß wirklich die vom Kleesamen bei der Quellung aufgenommenen Wassermengen sehr ansehnliche sind, lehren uns nicht nur die mitgetheilten Beobachtungen, sondern noch in viel höherem Grade die quantitativen Bestimmungen, welche hierüber in der Literatur vorliegen. Nach den Bestimmungen von R. Hoffmann enthalten die Rothklee Samen im lufttrockenen Zustande 9.9% Wasser<sup>1)</sup>; in einer dunstgesättigten Atmosphäre nehmen sie in fünf Tagen dazu noch 6.5% auf. Dagegen saugen sie, in Wasser gelegt, mehr als ihr eigenes Gewicht und zwar 117.5% auf. Unter den zahlreichen, von Hoffmann untersuchten landwirthschaftlichen Sämereien, werden sie in dieser Eigenschaft nur vom Weißklee übertroffen.<sup>2)</sup> Die Volumvermehrung erreicht bei der Einquellung im Maximum 143—150%.<sup>3)</sup>

Bei der Beschreibung des Samens haben wir gesehen, daß der Farbstoff, welchem die Schale ihre gelbe bis braune, ja oft violette Farbe verdankt, in dem Inhalte der stäbchenförmigen Zellen der äußeren Samenschale liegt. Bei dem Einweichen der Samen löst sich nun dieser Farbstoff und diffundirt in das umgebende Wasser hinaus. Nach mehreren Stunden sind schon einige Samen ganz blaß geworden, nach einigen Tagen haben alle eine blaßgelbe Farbe angenommen. Dabei geben nicht nur die dunkelgefärbten, sondern auch die gelblichen Samen Farbstoff an das Wasser ab. Legt man die, während einiger Stunden eingeweichten Samen zur weiteren Aufquellung auf feuchtes Fließpapier, so sieht man einen grünlichen bis braunen Farbstoff von jedem einzelnen Samen aus sich allmählig über das Papier verbreiten. Daß hierbei auch andere, in der Samenschale enthaltene Körper aus den Zellen ausgewaschen werden, ist selbstverständlich, ja man darf als wahrscheinlich annehmen, daß die erwähnten stäbchenförmigen Zellen mit dem Farbstoffe alle ihre in Wasser löslichen und leicht diffusiblen Inhaltskörper verlieren werden.<sup>4)</sup>

Was endlich das Verhalten des Keimes selbst bei der Quellung anbelangt,

1) Die Angaben verschiedener Forscher schwanken hier. So fand z. B. Siegert in den lufttrockenen Samen 17.27 pCt. Wasser. (Landw. Versuchstat. I. S. 261.)

2) R. Hoffmann, in Jahresber. d. agr.-chem. Untersuchungsstation in Böhmen 1864 S. 6; nach Jahresber. für agrif.-Chemie 1864. S. 108. Weißklee nimmt 126.6 pCt. Wasser auf; Zuckerrüben 120.5 pCt.; die Knäuel dieser Pflanze lassen sich aber wegen der anhängenden vertrockneten Kelche nicht mit den übrigen Sämereien vergleichen. Auch Haberlandt fand, daß lufttrockene Kleesamen mehr als ihr eigenes Gewicht (bis 114.4 pCt.) an Wasser aufnehmen können. (Centralblatt für Agrif.-Chemie VI. 1875. S. 277.) Dimitriewicz bestimmte die Wasseraufnahme auf 115—120 pCt. (Haberlandt, Pflanzenbau I, 1875. S. 75.); letzterer giebt einige Zahlen an, welche zeigen, daß die Zunahme des Volumens und des Gewichtes bei der Quellung um so rascher vor sich geht, je höher die Temperatur (zu 0° und 3.5° C.) ist. Dasselbe fand auch Haberlandt, Jahresber. für Agrif.-Chemie 1860. S. 69.

3) Dimitriewicz. l. c.

4) In den wissenschaftlich-praktischen Untersuchungen auf dem Gebiete des Pflanzen-

so kann man mit Sicherheit annehmen, daß die chemischen Metamorphosen der Reservestoffe, welche die Keimung begleiten, schon bei oder kurze Zeit nach der Einquellung anfangen. Aber bevor in dem Würzelchen der Anfang der Streckung bemerkbar ist, sind diese Veränderungen noch zu geringfügig, um auf mikrochemischem Wege nachgewiesen werden zu können.

## 2. Individuelle Verschiedenheiten der Samen bei der Einquellung.

Die Geschwindigkeit, mit der die Kleesamen Wasser aufnehmen, ist bei den einzelnen Körnern eine äußerst verschiedene, und da diese Einweichung eine unerläßliche Bedingung für die Keimung ist, so lohnt es sich, diese individuellen Unterschiede hier etwas näher zu betrachten. Am einfachsten ist folgender Versuch. Man legt in eine flache Schale eine große Anzahl von Samen in ein wenig Wasser zum Einquellen und Keimen aus und erneuert das Wasser von Zeit zu Zeit. Jeden Tag entfernt man aus der Schale sämtliche Samenkörner, deren Würzelchen die Samenschale durchbrochen hat, und bemerkt sich die Anzahl der weggenommenen Körner.

Nachdem dann in den ersten Tagen weitaus die größte Zahl der Samenkörner gekeimt hat, und die Anzahl der übrig gebliebenen merklich geringer geworden ist, kann man den Versuch noch mehrere Wochen lang fortsetzen: fast jeden Tag wird man neue Samenkörner in Keimung finden. Bei genauerer Betrachtung ergibt sich, daß die Körner lange Zeit ganz hart und anscheinend ohne eine Spur von Wasser aufgenommen zu haben im Wasser liegen bleiben, daß sie aber, sobald sie einmal anfangen merklich aufzuquellen, auch innerhalb weniger Tage keimen. Dem entsprechend findet man auch nach mehreren Wochen noch ganz trockenen Samen. Robbe<sup>1)</sup>, der einen solchen Versuch während 262 Tagen, also über 8 Monate fortsetzte, fand nach dieser Zeit von 1000 Samenkörnern noch etwa ein Duzend hart und unverändert. Diese Erfahrungen lehren, daß die Quellungs-

baues, herausgegeben von Fr. Haberlandt I. 1875. S. 75, sucht Dimitrievicz durch eine Tabelle zu beweisen, daß die Gewichtsverluste der Rothkleeamen bei der Quellung um so größer sind, je höher die Temperatur (zwischen 0 und 35° C.) ist, und je länger der Versuch (von 6—48 Stunden) dauert. Ich gebe den Satz, als aus allgemein physiologischen Erfahrungen äußerst wahrscheinlich, gerne zu, muß aber die Zahlen für unrichtig, und damit den Beweis für nicht geliefert halten. Dimitrievicz findet bei der Einquellung in 4 Stunden bei 0°—15° eine Trockengewichtsabnahme von 9.3—11.5 pCt., bei 35° in derselben Zeit sogar von 24 pCt. Solche enormen Gewichtsverluste in so kurzer Zeit sind höchst unwahrscheinlich, zumal wenn man bedenkt, wie groß dann der Gewichtsverlust in den ersten Tagen der Keimung selbst wohl sein müßte. Wie wenig Gewicht diesen Zahlen beizulegen ist, zeigen am deutlichsten die Untersuchungen Boussingault's (Economie rurale I, 1 Ed. p. 38—40), welcher fand, daß der Trockengewichtsverlust der Rothkleeamen bei der Keimung, bis zu dem Zeitpunkte, wo das Würzelchen in einer Länge von 5—10 Mm. hervorgetreten ist, nur 6.8 pCt. beträgt. Es ist also die Vermuthung wohl erlaubt, daß in dem erwähnten Versuche Dimitrievicz's die Samen bereits gekeimt haben, worüber aber alle Angaben fehlen. In diesem Falle würden die beobachteten großen Gewichtsverluste nicht der Diffusion, wie D. meint, sondern der Athmung zuzuschreiben sein.

1) Robbe, Landw. Versuchsstat. 1872. S. 262.

fähigkeit bei den einzelnen Kleesamen äußerst verschieden ist. Im Allgemeinen sah ich die größeren Körner rascher keimen, als die kleineren; doch gilt diese Regel nur mit vielen Ausnahmen.<sup>1)</sup>

Die Ursache dieser Verschiedenheit liegt, wie von Robbe nachgewiesen wurde, in dem verschiedenen Widerstand, den die äußere Samenschale dem Eindringen des Wassers entgegenstellt<sup>2)</sup>. Wenn man Samen, welche mehrere Tage oder Wochen ohne Erfolg in Wasser lagen, nun an irgend einer Stelle vorsichtig anschneidet oder anfeilt, so daß nur die alleräußerste Schicht der Haut entfernt wird, so quellen sie nun im Wasser ausnahmslos binnen wenigen Stunden auf, als Zeichen, daß das einzige Hinderniß gegen die Aufquellung mit der Durchbrechung der äußeren Haut entfernt worden ist. Ich habe diese Versuche mit demselben Erfolg wiederholt.

In Folge dieser Undurchlässigkeit der äußeren Haut für Wasser geht bei Keimungsversuchen nur eine ziemlich beschränkte Anzahl von Samen auf. So fand Robbe<sup>3)</sup> im Mittel aus sehr zahlreichen Versuchen die prozentische Anzahl der innerhalb drei Tagen nach der Befeuchtung keimenden Kleesamen nur auf 65; in sieben weiteren Tagen keimten noch weitere 19 pCt., während nach Ablauf dieser Frist von den übrigen 16 pCt. die Hälfte gefault und die andere Hälfte trocken und unverändert geblieben war.

b) Erste Periode. Vom Anfang der Keimung bis zum Durchbrechen der Erddede.

#### 1. Charakteristik dieser Periode.

Den wichtigsten Wendepunkt in der Keimungsgeschichte des Kleeß bildet der Augenblick, wo die Samenlappen die Erde durchbrechen, und sich also dem Lichte aussetzen. Es ist daher angemessen, diesen Zeitpunkt als die Grenze von zwei Keimungsperioden zu betrachten und diese Perioden einer getrennten Behandlung zu unterwerfen. So lange der Keimling noch von der Erde bedeckt und der Einwirkung des Lichtes entzogen ist, kann er sich nur auf Kosten der im Samen aufgespeicherten Nährstoffe entwickeln; nachdem er ans Licht getreten ist, können neue Assimilationsprodukte durch die Kohlensäure-Zerlegung am Lichte gebildet werden.

1) Zöbl publizirt in Haberlandt's Pflanzenbau I. 1875. S. 93 einige Versuche über die Dauer der Keimfähigkeit des Rothkleeß bei der Aufbewahrung in fließendem Wasser. Nimmt man täglich eine Probe der unter Wasser gebrachten Samenkörner, um ihre Keimkraft (prozentische Anzahl der keimfähigen Körner) zu bestimmen, so nimmt diese Keimkraft im Allgemeinen stetig ab; nach 49tägigem Aufenthalt im Wasser keimten nur noch 4 pCt. der Samen. Inwiefern dieser allmähliche Verlust der Keimfähigkeit mit dem allmählichen Aufquellen der Samen zusammenhängt, lehren die Versuche nicht.

2) Robbe, l. c. Hier findet man auch einige Versuche beschrieben, welche beweisen, daß dieser Widerstand nicht etwa einem wachsartigen Ueberzug der Samenhaut zuzuschreiben ist. Mit gleichem Resultate wiederholte v. Höhnel diese Versuche (Haberlandt, Pflanzenbau. I. 1875. S. 80.

3) Landw. Versuchsstat. 1874. S. 147, wo auch wichtige Angaben über die Beziehung der Keimfähigkeit zu dem Aussehen der Saatproben zu finden sind.

In der ersten Periode ist der ganze Keimling blaß, fast farblos; in der zweiten sind seine Keimblätter und die übrigen beleuchteten Theile grün gefärbt.

Die Reservestoffe des Samens werden bei der Keimung theils direkt zum Aufbau und zum Wachsthum der Keimtheile, theils zu der bei diesen Prozessen unerläßlichen Athmung verwendet. In Folge der letzteren werden organische Bestandtheile unter Aufnahme von atmosphärischem Sauerstoff in Wasser und Kohlensäure übergeführt; das Wasser mischt sich mit dem Vegetationswasser, und die Kohlensäure entweicht. Der Gehalt an Trockensubstanz nimmt also in Folge der Athmung stetig ab. Sobald aber die Kohlensäure-Assimilation am Lichte anfängt, ist hierin eine Quelle neuer organischer Substanzen, und also eine Ursache der Zunahme des Gehaltes an Trockensubstanz gegeben, und sehr bald erhält diese Vermehrung des Trockengewichtes das Uebergewicht über den Substanzverlust bei der Athmung.

Als charakteristisches Merkmal der ersten Periode betrachten wir also die Entwicklung unter dem Abschluß des Lichtes und nur auf Kosten der Reservestoffe des Samens. Dieses Merkmal findet seinen klarsten Ausdruck in der stetigen Abnahme des Trockengewichtes.

Die Abnahme des Trockengewichtes beträgt nach den Untersuchungen von Boussingault vom Anfang der Keimung bis zu dem Zeitpunkte, wo das Würzelchen in einer Länge von 0.5—1.0 Cm. aus dem Samen herausgetreten ist, 6.8 pCt.<sup>1)</sup> Beim weiteren Verlauf der Keimung steigt dieser Verlust noch auf 11.9 pCt.<sup>2)</sup>

Bei der Athmung wird in Folge der Drydation organischer Stoffe zu Kohlensäure und Wasser Wärme frei. Unter gewöhnlichen Umständen gleicht sich die dadurch entstehende Temperaturerhöhung sehr bald mit der Umgebung aus; meßbare Differenzen entstehen nicht. Wenn man aber Samen in Haufen, und von schlechten Wärmeleitern umgeben, keimen läßt, so kann sich die Wärme in ihnen anhäufen, und zu einer beträchtlichen Erhöhung der Temperatur Veranlassung geben. Für keimende Kleeamen wurde dieser Temperaturüberschuß über die Umgebung bei solchen Experimenten von Göppert<sup>3)</sup> auf 14° R. gefunden.

Nachdem wir in allgemeinen Zügen die Grenze zwischen den beiden Keimungsperioden des Klee charakterisirt haben, wollen wir nicht unterlassen hervorzuheben, daß diese Grenze keineswegs eine sehr scharfe, oder unter allen Umständen konstante ist. Die Kohlensäure-Assimilation fängt keineswegs sogleich nach dem Durchbrechen der Erde an; erst müssen noch die Keimblätter unter dem Einflusse des Lichtes ergrünen. Und bevor sie die Samenschale abgeworfen und sich entfaltet haben, kann die Assimilation wohl nicht so intensiv werden, daß sie die Trockengewichtsabnahme durch

1) Boussingault, *Economie rurale* I. 1<sup>o</sup> Ed. 1843. p. 38.

2) Boussingault, *Econ. rurale* I. 2 Ed. 1851, nach Dudemans und Rauwenhoff, *Scheikundige verschynselen by de kieming*. p. 41. In meiner (ersten) Auflage der *Econ. rurale* finde ich diese Angabe nicht.

3) Göppert, *Wärmeentwicklung*, Wien, 1832; citirt nach Franz: *Studien an der Kartoffelknolle*. 1873. S. 32.

Athmung bedeutend überwiegt. Erst später kann dies der Fall sein. Der Verlust an Trockensubstanz wird also erst nach dem Durchbrechen der Erde und nur sehr allmählich in Gewichtszunahme übergehen. Aber so lange die Keimblätter noch blaß sind, ist es vollständig sicher, daß keine Assimilation stattgefunden hat; sobald sie ergrünt sind, läßt sich dieses äußerlich nicht mehr beurtheilen. Will man also den allmählichen Gang der Veränderung des Trockengewichtes bei der Keimung erforschen, so wird man sein Hauptaugenmerk stets auf jene Grenze zu richten haben, wo man die sicherste Aussicht hat, den Wendepunkt der Kurve anzutreffen. Jede andere Grenzbestimmung muß, auch bei der sorgfältigsten Auswahl der Versuchsobjekte nach ihrem Entwicklungszustande, wegen der unvermeidlichen Ungleichheit der Exemplare, zu weniger zuverlässigen Resultaten führen. Deshalb betrachte ich die von mir gewählte Grenze als die zweckmäßigste.

Die Größe des Trockengewichtsverlustes bei dieser Grenze wird voraussichtlich je nach den äußeren Umständen eine sehr verschiedene sein. Je rascher die Keimung erfolgt, und eine je geringere Decke die Samen zu durchbrechen haben, um so geringer wird die totale Menge der zur Athmung verbrauchten Substanz sein, bevor die Pflänzchen aus Licht treten. In demselben Maße aber werden die jungen Pflänzchen kräftiger sein, da sie jetzt aus der doppelten Quelle der Reservestoffe und der neuen Assimilationsprodukte schöpfen können. Dauert es dagegen lange bis die Samen den Boden durchbrechen, so verlieren sie viel Substanz, ja es ist mir vorgekommen, daß Samen, welche eine zu trockene Bodendecke nicht zu durchdringen vermochten, sich ganz verathmeten und nach dem völligen Verbrauch ihrer stickstofffreien Reservestoffe im Boden abstarben, ohne ans Licht zu treten. Die mikrochemische Analyse solcher Keimlinge, welche in drei Wochen die Erdoberfläche noch nicht erreicht hatten, zeigte nur noch Spuren von Stärke und Zucker; das Del war bereits völlig verschwunden. Auch Eiweiß war kaum noch nachweisbar, dagegen war das kohlenstoffarme Spaltungsprodukt des Eiweißes, das Asparagin, in diesen Pflänzchen ebenso stark angehäuft wie in ausgewachsenen etiolirten Keimlingen. Es war also fast das ganze Respirationsmaterial aus dem Samen verbraucht. Der Trockengewichtsverlust dieser Exemplare muß also ein sehr ansehnlicher gewesen sein.

In dem erwähnten Falle reichten unter ungünstigen Umständen die Reservestoffe des Samens nicht aus, um den Keimungsprozeß zum normalen Abschluß zu bringen; die Keimlinge starben, bevor sie die zweite Periode erreichten. Daß umgekehrt unter sehr günstigen Umständen die erste Periode mit viel geringerem Nährstoffmaterial durchlaufen und zum günstigen Abschluß gebracht werden kann, folgt aus der Thatfache, daß es gelingt, die Keimlinge nach der Entfernung eines Keimblattes, ja sogar, nachdem beide Samenlappen abgebrochen worden sind, noch zur normalen Entwicklung zu bringen. In solchen Versuchen fand Blociszewski<sup>1)</sup>, daß von Klee-Embryonen, welche beider Kotylen beraubt waren, auf feuchtem Gießpapier 100 pCt., in Erde in einem Topfe 90 pCt. und im Garten 71 pCt. auf-

1) Blociszewski. Landwirthsch. Jahrbücher V. 1876. S. 149 ff.

gingen; doch waren die Pflänzchen so schwächlich, daß die meisten bald starben; nur 7 der im Topfe gezogenen Exemplare entwickelten sich normal. Von den mit einem Kothledo im Garten ausgesäten gingen 72 pCt. auf, 56 pCt. entwickelten sich weiter und erreichten im Laufe des Sommers eine nur etwas geringere Höhe als die aus ganzen Samen gezogenen Controllpflanzen, brachten es im Mittel aber nicht zu der Hälfte des normalen Trockengewichtes. Sie blieben also den ganzen Sommer hindurch schwächer als die normalen Exemplare.

## 2. Gestaltungsvorgänge.

Sobald der Kleesamen reif ist, ist er keimfähig; in feuchte Erde, oder in ein wenig Wasser gebracht, quillt er in der Regel bald auf, und es bricht nach 1—3 Tagen das Würzelchen aus der Samenschale hervor. Diese frühe Keimfähigkeit der Samen kann in nassen Sommern dadurch zu Verlusten Veranlassung geben, daß die Samen, während sie noch in der Fruchthülle und vom Kelch umschlossen an der Pflanze sitzen, schon keimen und ihre Würzelchen zwischen den Früchten des Köpfs hindurch treiben. In dem nassen Sommer des Jahres 1876 hatte ich mehrere Male die Gelegenheit dieses zu beobachten.

Wie lange dagegen trocken aufbewahrte Kleesamen ihre Keimfähigkeit behalten können, ist nicht mit Genauigkeit anzugeben.

Das erste äußerlich sichtbare Zeichen der Keimung nach der Aufquellung ist das Hervortreten des Würzelchens ans Licht. Das Würzelchen durchbricht, indem es sich verlängert, die Haut an der Stelle der Mikropyle, welche im eingeweichten Samen kaum unterscheidbar ist; es entsteht hier eine unregelmäßige, rissige Oeffnung, welche sich beim späteren Dickenwachsthum des Würzelchens allmählich erweitert. Der Nabel bleibt dabei zwischen dem Würzelchen und den Kothlen und ist hier noch viel später, ja sogar zur Zeit des Abstreifens der Schale zu erkennen. Je nach der Lage des Samens im Boden krümmt sich nun das Würzelchen, indem es sich streckt, in verschiedener Richtung, um so bald wie möglich eine vertikal abwärts gerichtete Lage anzunehmen. In dieser wächst es nun stets weiter, sofern es daran nicht durch äußere Umstände gehindert wird. Unsere Figur 3 auf Tafel XIII stellt den Keimling in diesem Entwicklungszustand im Längsschnitt dar. Eine Vergleichung mit dem Längsschnitt des trockenen Samens (Fig. 1) lehrt, daß bis jetzt nur eine Verlängerung des Würzelchens stattgefunden hat. Auch haben sich bereits einige Wurzelhaare entwickelt und ist dadurch (bei a. a.) die Grenze zwischen dem hypokotylen Glied (hg) und der Wurzel äußerlich kenntlich geworden.

Weitere Veränderungen finden in der äußeren Gestaltung in der ersten Periode nicht statt; nur die Länge des Würzelchens und des hypokotylen Gliedes nimmt fortwährend zu. Diese Verlängerung beruht theils auf der Theilung, theils auf der Verlängerung der im Samen vorhandenen Zellen; zu einem dritten Theile aber wird sie durch Spitzenwachsthum der Wurzel vermittelt. Die Streckung der Zellen fängt an der Grenze (a. a) zwischen der Wurzel und dem hypokotylen Glied an und schreitet von da aus nach oben und unten stetig vorwärts. In dem in Fig. 3 abgebildeten Stadium ist in dem obersten Theile des hypokotylen Gliedes noch kaum

der Anfang der Streckung in den Zellen wahrnehmbar, während die untersten Zellen bereits ausgewachsen sind.

Mit diesem Längenwachsthum geht die Ausbildung des Gefäßbündels Hand in Hand; in der Wurzel entstehen die ersten porösen Gefäße, im hypokotylen Gliede die ersten Ring- und Spiralgefäße.

### 3. Wanderung und Metamorphosen der einzelnen Bildungstoffe.

Wir betrachten getrennt die Wanderung der stickstofffreien Reservestoffe, und die der stickstoffhaltigen, und stellen am Schlusse einige Angaben über Nebenprodukte der Stoffwanderung zusammen.<sup>1)</sup>

Die stickstofffreien Reservestoffe des ruhenden Samens sind das Del und die Stärke, welche im parenchymatischen Gewebe des ganzen Keims abgelagert sind. Während der Einquellung und in dem ersten Momente der Streckung des Würzelchens erleiden sie noch keine merkliche Veränderung. Sobald aber das Würzelchen eine Länge von wenigen Millimetern erreicht hat, fangen in seiner ganzen Länge die Stärke und das Del an spärlicher zu werden, zumal aber in dem mittleren Theile. Dafür tritt in dem ganzen Parenchym des Würzelchens Traubenzucker auf, der bald überall so zunimmt, daß das Gewebe bei der Kupfer-Kalireaktion eine intensiv orangene Färbung annimmt. Es ist deutlich, daß dieser Zucker aus den verschwundenen, stickstofffreien Reservestoffen entstanden ist. Sowohl das Del als die Stärke sind durch bis jetzt noch nicht aufgefundene Fermente in Zucker verwandelt und dadurch in eine lösliche Form übergeführt worden. Dieser Zucker wird zum Aufbau der Cellulosewandungen bei der Streckung verbraucht, aber fortwährend aus der Stärke und dem Del neu erzeugt. Diese beiden verschwinden dadurch, noch bevor das ganze Würzelchen eine Länge von 1 Cm. erreicht hat, aus seinem mittleren Theile vollständig; in der Nähe der Wurzelspitze findet man noch Stärke, aber kein Del, dagegen sind die Kotylen mit ihren Stielen und dem obersten Theile des hypokotylen Gliedes noch dicht mit Stärke und Del erfüllt. Stärke findet man ferner in einer kontinuierlichen Schicht um das ganze centrale Gefäßbündel abgelagert. Diese, nur eine Zelle dicke Schicht, hat daher von ihrem Entdecker, Sachs, den Namen Stärkescheide erhalten.

In diesem zweiten Stadium haben wir also außer den Reservestoffen des Samens noch den Zucker, der in den Kotylen und dem obersten Theile des hypokotylen Gliedes fehlt, aber in allen sich streckenden Theilen des Würzelchens in großer Menge vorkommt. Bei der raschen Streckung des hypokotylen Gliedes und der Wurzel wird aber, nachdem bereits die dort abgelagerte Stärke und das Del verschwunden sind, nun auch der Zucker bald verbraucht. Wir treten also in das dritte Stadium, in welchem der Zucker wieder verschwindet.

1) Einige mikrochemische Beobachtungen über die Vertheilung des Eiweißes, der Stärke und des Traubenzuckers (Dextrin) in verschiedenen Keimungsstadien und über ihre Wanderung und Verbrauch beim Wachsthum lieferte Hoffmann. Chem. Ackermann. 1865. S. 153. Das mir vorliegende Referat im Jahresber. für Agrik.-Chem. 1865. S. 135 ist zu kurz, um eine Beurtheilung und Verwerthung seiner Angaben zu gestatten.

Die Vertheilung der Stoffe im Anfange dieses Stadiums, bei einer Keimlänge von etwa 1 Cm., ist in Fig. 3 auf Taf. XIII dargestellt worden. Bevor wir die Wanderung der Stoffe weiter verfolgen, wollen wir diese Figur betrachten. In ihr stellen die violette und die gelbe Farbe das Eiweiß und das Asparagin vor; diese besprechen wir später. Setzt achten wir auf das Del und die Stärke, welche durch Ringelchen und blaue Pünktchen, und auf den Zucker, der durch rothbraune Schraffirung dargestellt ist. Wir sehen, daß die Keimblätter und ihre Stiele noch ganz voll Stärke und Del sind, wenn auch diese Menge bereits eine geringere ist, als sie im ruhenden Samen war. Denn ein Theil dieser Stoffe ist bereits gelöst und den wachsenden Organen zugeführt worden. Stärke und Del hören beide dort auf, wo der Zucker anfängt; nur in einer schmalen Zone kommen diese drei Körper zusammen vor. In dieser Zone fängt die rasche Streckung der Zellen an, die höheren Zellen zeigen nur geringe Spuren von Streckung; sie sind etwa gleich hoch wie breit, während sie im ruhenden Samen etwa doppelt so breit wie hoch waren. Soweit man in der Figur den Zucker im hypokotylen Gliede abwärts verfolgen kann, soweit sind auch die Zellen noch in Streckung begriffen. In der Basis dieses Organs (oberhalb a.a.) fand ich in diesem Stadium keinen Zucker mehr; einige Messungen ergaben, daß die Länge der Zellen hier bereits dieselbe war, als in der ausgewachsenen Keimpflanze. Aller in diesen Zellen vorhandene Zucker war also bei der Streckung für die Zellohnbildung verbraucht worden. Dagegen ist die ganze Wurzel noch voll Zucker, auch in ihrem obersten, bereits ausgewachsenen Theil. Hier, wo die Streckung der Zellen keine so ansehnliche ist, bleiben noch Ueberreste an Nährstoffen, welche aber bald nach den jüngeren Theilen zuströmen werden, um dort zum Wachsthum der Zellhäute verbraucht zu werden. In diesem jüngsten Theile finden wir wieder Stärke in den Zellen; sie ist zum Theil noch ein Ueberrest der Stärke des Samens, zum Theil aber auch wohl wieder aus dem Zucker zurückgebildet, wie aus dem Verhalten in späteren Keimungsstadien hervorgehen wird. Diese Ansammlung von Stärke dient, um beim Wachsthum stets das erforderliche Material für die Cellulosebildung in unmittelbarer Nähe vorhanden zu haben; in der That ist der Verbrauch an solchem Material ein so bedeutender, daß auch hier bereits kein Zucker mehr nachgewiesen werden kann. Gegen das Ende der Streckung jeder einzelnen Zelle geht der letzte Ueberrest von Stärke in Zucker über; daher fehlt die Stärke in den Zucker-führenden Gewebepartien des Würzelchens in unserer Figur.

Eine besondere Beachtung verdienen noch die Wurzelhaube und die Stärkescheide. Erstere führte im Samen nur Eiweiß; sobald aber ihre Zellen anfangen sich zu strecken, lagern sie Stärke in sich ab, welche sie dann bei ihrem weiteren Wachsthum verbrauchen. Bekanntlich werden die äußersten Zellen der Wurzelhaube fortwährend abgestoßen; diese sind ausgewachsen und leer. Im Innern bilden sich fortwährend neue Zellen; jede dieser lagert beim Anfang ihrer Streckung Stärke für den späteren Verbrauch in sich ab. Diese Stärke stammt selbstverständlich zunächst aus dem Würzelchen; sie ist aber auf ihrem Wege durch das eiweißreiche Gewebe der Wurzelspitze weder als Stärke, noch als Zucker, noch in irgend einer anderen Form nachweisbar. Wie sie in die Haube gelangt, ist unbekannt; wahr-

scheinlich wohl als Zucker und in einer so geringen Konzentration, daß sie sich dem mikrochemischen Nachweise entzieht. Von diesem Augenblicke an bis in ein sehr spätes Lebensalter wird nun die Haube stets Stärke führen, dagegen ist Zucker in ihr nie nachweisbar.

Die Stärkescheide ist die innerste an das Gefäßbündel angrenzende Zellschicht des Grundgewebes. Sie führt, nachdem das fertig gestreckte Parenchym schon alle Stärke und alles Del verloren hat, noch lange Zeit Stärkekörner, und ist daher in der Figur an den beiden kontinuierlichen Reihen blauer Pünktchen kenntlich. Die Stärke wird hier offenbar, nachdem das umgebende Parenchym völlig entleert sein wird, für das Dickenwachsthum der Gefäßbündel aufbewahrt.

Das dritte Stadium, dessen Anfang wir jetzt ausführlich geschildert haben, dauert bis die Keimpflanzen die Erde durchbrechen, also bis zum Ende unserer ersten Periode. In dieser Zeit verlängert sich die Achse unserer Pflanze in den gewöhnlichen Fällen von etwa 1 Cm. bis auf ungefähr 4 Cm. Bei dieser bedeutenden Streckung, welche hauptsächlich in dem mittleren Theil des hypokotylen Gliedes und an der Spitze der Wurzel stattfindet, wird nun allmählich aller Zucker verbraucht. Von der Grenze beider Organe ausgehend, verschwindet der Zucker nach beiden Richtungen, am Ende der ersten Periode ist er in der Regel an keiner Stelle mehr nachzuweisen. Gleichzeitig nimmt auch die Menge des Dels und der Stärke in den Keimblättern und ihren Stielen bedeutend ab, da der größte Theil von ihnen gelöst und in die sich streckenden Theile geleitet wird, um dort für das Wachsthum der Zellhäute verwendet zu werden.

Die Verbreitung der Stärke und des Dels ist aber, abgesehen von ihrer geringeren Menge, am Ende dieses Stadiums noch dieselbe wie am Anfang, wie eine Vergleichung der Fig. 3 mit den Fig. 4—6 lehren kann, welche die Vertheilung der Stoffe im Anfang der zweiten Periode darstellen. Nur eine wesentliche Veränderung ist eingetreten: in einem Theile der Wurzel ist allmählich die Stärkescheide entleert worden, wohl indem die Stärke theils zum Dickenwachsthum des Gefäßbündels verwendet, theils der Wurzelspitze zugeleitet wurde.

In den Keimblättern und ihren Stielen konnte während der ganzen ersten Periode kein Traubenzucker nachgewiesen werden. Es muß also einstweilen unentschieden bleiben, in welcher Form die Stärke und das Del gelöst und den wachsenden Theilen zugeleitet werden.

Damit wäre die Wanderung der stickstofffreien Stoffe abgehandelt. Wir kommen zu den stickstoffhaltigen. Diese erfüllten als Eiweiß alle Zellen des ruhenden Keimes, sowohl die Epidermis und die Anlagen der Gefäßbündel, als auch das Grundgewebe. Dieses Eiweiß ist überall mit der protoplasmatischen Grundsubstanz der Zellen innig gemischt und dient als Material für das Wachsthum dieses Protoplasma. Es spielt somit seine Hauptrolle bei der Theilung und den allerersten Wachsthumsvorgängen der Zellen; sobald die rasche Streckung einer Zelle anfängt, enthält sie kein Eiweiß mehr; die stickstoffhaltige, aber eiweißfreie Substanz des Protoplasma nimmt von diesem Augenblicke an nicht merklich mehr an Masse zu.

Das Protoplasma, welches zuerst die ganze Zelle erfüllte, bildet jetzt nur noch einen dünnen Ueberzug an der Innenseite der Zellwand.

In Uebereinstimmung mit diesen Prinzipien finden wir das Eiweiß nur dort, wo noch Zelltheilungen stattfinden, entweder in den sich theilenden Zellen selbst oder in diesen und den benachbarten. Es sind also die junge Wurzelspitze und die Stengelspitze (das Federchen) sowie der Weichbast der Gefäßbündel, welche am längsten Eiweiß führen.

Betrachten wir die einzelnen Stadien eingehender, so finden wir, daß das Eiweiß aus den Zellen des hypokotylen Gliedes und der Wurzel schon sehr bald nach angefangener Keimung verschwindet; beim Anfange des dritten Stadiums findet man es im parenchymatischen Gewebe nur noch in den Kotylen, sonst nur im Gefäßbündel und den Vegetationsspitzen. Unsere Fig. 3 giebt dieses durch die Vertheilung der violetten Farbe an. Allmählich verschwindet nun auch das Eiweiß aus den Kotylen, bei einer Keimlänge von 3 Cm. traf ich noch die letzte Spur im Schwammgewebe an. Am Ende unseres dritten Stadiums ist das Eiweiß aber auf die Gefäßbündel, die Plumula und die Wurzelspitze beschränkt. (Vgl. Fig. 4—6).

Man könnte nach diesen Angaben zu der Meinung geneigt sein, daß alles Eiweiß aus den Kotylen sich durch das Gefäßbündel nach den Theilungsgeweben bewegt hätte und dort am Ende der ersten Periode bereits nahezu vollständig verbraucht wäre. Dem ist nun aber keineswegs so. Weitaus der größte Theil des Eiweißes ist in Asparagin umgewandelt worden, und findet sich als solches noch überall im Gewebe. Wir wollen diesen Körper, den man beim Klee bis jetzt nur in der Keimungsperiode aufgefunden hat, der aber in dieser Zeit in sehr ansehnlicher Menge gebildet wird, zuerst in seinen chemischen und physiologischen Eigenschaften kennen lernen, bevor wir seine Entstehung und Verbreitung bei der Keimung des Klee beschreiben.

Das Asparagin ist eine in Wasser lösliche krystallinische Substanz, welche an Stickstoff verhältnißmäßig reicher, an Kohlenstoff dagegen ärmer ist, als die Eiweißkörper. Es ist überdies von viel einfacherer, genau bekannter Zusammensetzung. Es krystallisirt in schönen, wasserhellen, durchsichtigen Säulen des orthorhombischen Systems. Es ist in absolutem Alkohol unlöslich und krystallisirt bei der Behandlung Asparagin-haltiger Gewebetheile mit diesem Reagens in Krystallen heraus; hierauf beruht die Methode seines Nachweises. In den Pflanzen entsteht es unter Abspaltung stickstofffreier, kohlenstoffreicher Nebenprodukte aus Eiweißkörpern, und kann unter Aufnahme von stickstofffreien organischen Verbindungen wieder in Eiweiß zurückverwandelt werden.<sup>1)</sup>

Bei diesen Umwandlungen des Eiweißes in Asparagin und des Asparagins in Eiweiß bleibt der absolute Stickstoffgehalt der Keimlinge stets derselbe; stickstoffhaltige organische Substanz geht dabei nicht verloren. Diese durch Boussingault's bekannte Versuche festgestellte allgemeine Regel darf man ohne Weiteres auch auf den Klee anwenden.

1) Vgl. hierüber Pfeffer in Pringsheims Jahrb. Bd. VIII. S. 530.

In den etiolirten Keimpflanzen des rothen Klees wurde das Asparagin mikrochemisch von Dessaignes und Chautard nachgewiesen<sup>1)</sup>; ich selbst sah es in sehr schönen Krystallen aus dem ausgepressten Saft herauskrystallisiren.

Untersucht man Keimlinge von Klee aus der ersten Periode mikrochemisch auf Asparagin, so findet man im Allgemeinen Folgendes. Bei der ersten Streckung des Würzelchens ist Asparagin noch ebensowenig nachzuweisen, als im ruhenden Samen. Sobald der Keimling aber in das in Fig. 3 abgebildete Alter tritt, sind sowohl die Wurzel als das hypokotyle Glied in ihren älteren Theilen in allen parenchymatischen Zellen mit einer ziemlich konzentrirten Asparaginlösung angefüllt. Der gelbe Grundton in unserer Figur zeigt die Verbreitung dieses Körpers. Die Kotylen enthalten kein Asparagin. Wie die Vertheilung der Stoffe hier war, bleibt sie bis zum Ende der ersten Periode, das Asparagin nimmt in dem Maße an Menge zu, als die Achse der Pflanze sich streckt, in demselben Maße nimmt der Gehalt an Eiweiß in den Kotylen ab.

Es wird also wohl der größte Theil des Eiweißes in dieser Periode in Asparagin umgesetzt und aus den Kotylen in das hypokotyle Glied und die Wurzel hinüber geleitet. Dagegen ist es äußerst fraglich, ob schon in dieser Zeit eine Umwandlung von Asparagin in Eiweiß stattfindet. Sollte diese vorkommen, so ist sie jedenfalls unbedeutend.

Als Nebenprodukte des Stoffwechsels bei der Keimung sind ein Gerbstoff und eine freie Säure zu betrachten.

Im ruhenden Samen findet man Gerbstoff in der Samenschale, nicht aber im Keim. Aber schon beim ersten Heraustreten des Würzelchens hat sich im ganzen Parenchym der Keimblätter Gerbstoff gebildet und stark angehäuft. In Folge dieses Gerbstoffgehaltes nimmt das Gewebe bei der Behandlung mit Kali eine rothbraune Farbe an; ein Umstand, der den Nachweis des Eiweißes mittelst Kupferoxyd-Kali in hohem Grade erschwert. Das Würzelchen enthält zu dieser Zeit keinen Gerbstoff. Beim weiteren Wachsthum scheint sich auch kein Gerbstoff mehr zu bilden; ob der vorhandene verloren geht, oder ob seine Lösung nur durch die Vergrößerung der Organe eine verdünntere wird, ist unbekannt, sicher ist es, daß er in späteren Stadien sich nicht mehr nachweisen läßt. In der Samenschale bleibt er dagegen und findet sich dort noch zur Zeit, wo diese abgestreift wird.

Läßt man eingeweichte Samen auf blauem Lackmuspapier keimen, so färben sie dieses bald roth, sie scheiden also eine freie Säure aus. Welche diese Säure ist, ist unbekannt. Vogel, der sie aus den gekeimten Kleesamen extrahirte und den Saft mit Natronlauge titrirte, giebt an, daß er in 100 Keimlingen soviel Säure fand als 0.35 Grm. Schwefelsäurehydrat entspricht.<sup>2)</sup>

Am Schlusse dieses Abschnittes möchte ich noch einige wichtige, bis jetzt unentschiedene Fragen hervorheben, welche durch analytisch-chemische Untersuchungen zu beantworten sind. In erster Linie sind die Fermente unbekannt, welche die Stärke und das Del in Traubenzucker umsetzen. Es wäre sehr wichtig, wenn man

1) Vergl. A. und Th. Husemann, die Pflanzenstoffe, S. 671.

2) Jahresber. d. Agril.-Chemie. 1872. S. 79.

diese, z. B. vielleicht mit Glycerin, aus den Keimlingen extrahiren und untersuchen könnte, zumal da eine künstliche Umsehung von fetten Oelen in Kohlehydrate dadurch vielleicht möglich werden würde. Dann ist die Natur des Eiweißkörpers in den ruhenden Samen und in den Keimpflanzen noch zu ermitteln; wahrscheinlich ist er in den ersteren Kasein oder den Legumin, in letzteren Albumin. In diesem Fall wäre seine Verwandlung bei der Keimung ein zwar schwieriger, aber sehr interessanter Gegenstand der Forschung. Ähnliche Fragen ließen sich noch viele aufstellen.

c) Zweite Periode. Entwicklung der Keimtheile unter dem Einfluß des Lichts.

1. Charakteristik dieser Periode.

Das Hauptmerkmal dieser letzten Periode der Keimung ist, daß sowohl die Gestaltungsvorgänge als der Stoffwechsel nur unter der Mitwirkung des Lichtes in normaler Weise vor sich gehen können. Das Ergrünen der Keimblätter, ihr kräftiges Wachsthum und die dadurch veranlaßte Abstreifung der Samenschale, endlich ihre Entfaltung und die Entwicklung des ersten Blattes, mit einem Worte der ganze Gestaltungsprozeß ist vom Lichte abhängig. In chemischer Beziehung verursacht das Licht die Kohlensäure-Assimilation und die Stärkebildung in den grünen Blättern; diese Stärke stellt weiterhin die Quelle dar, aus der durch Umsetzungen und Verbindung mit anorganischen Stoffen alle organischen Körper des Pflanzenleibes entstehen werden. Zunächst aber wird die neu gebildete Stärke zu zwei wichtigen Zwecken verwendet, zu der Vergrößerung der Zellhäute beim Wachsthum und zu der Umwandlung des Asparagins in Eiweiß.

Wir haben also drei wichtige Merkmale, welche diese Periode von der ersten unterscheiden. 1. Das Ergrünen und die Entfaltung der oberirdischen Theile. 2. Eine stetige Zunahme des Trockengewichtes in Folge überwiegender Kohlensäure-Assimilation. 3. Das allmähliche Verschwinden des Asparagins aus dem Gewebe.

Diesen Bemerkungen fügen wir noch einige weitere zu. In der ersten Periode war die Pflanze noch klein, die Reservestoffe wurden erst allmählich und nur zum Theil verbraucht. Daher, zumal im Anfang, die ganze Pflanze dicht mit Bildungstoffen angefüllt war. Diese sind aber allmählich verbraucht und beim Anfang der zweiten Periode, in der Regel, mit Ausnahme des Asparagins, auf einen sehr kleinen Theil reduziert worden. Und da nun in der zweiten Periode das Wachsthum ziemlich rasch vor sich geht, so muß fortwährend fast alle neugebildete Stärke sogleich verbraucht werden. Nur in den grünen Theilen und deren Nähe findet man diese Stärke, weiter in das hypocotyle Glied und die Wurzel erstreckt sie sich nicht, ja sogar in dem größten Theile der Stärkescheide fehlt sie. Während also in der ersten Periode die Pflanze voller Bildungstoffe war, zeigt sie sich in der zweiten Periode ziemlich leer.

Dieser Unterschied der beiden Perioden tritt mit sehr verschiedener Schärfe hervor, je nach dem Alter, in welchem die Keimlinge die Erde durchbrechen. Je früher dies geschieht, um so größer ist der noch unverbrauchte Theil der Reservestoffe, um so weniger wird also die neu sich bildende Stärke in Anspruch genommen. Dauert

es dagegen sehr lange, bis der Keimling ans Licht tritt, so kann er seine Nährstoffe bereits zum größten Theile verathmet haben. So z. B. beobachtete ich in Keimpflänzchen, welche in einem trockenen Boden drei Wochen gebraucht hatten, um die Erde zu durchbohren, und welche ich gleich nach der Entfaltung der Cotylen untersuchte, Folgendes. Das Del und die Stärke waren in einigen Exemplaren völlig verschwunden, in anderen fand sich nur noch eine kleine Menge von Stärke in der Nähe der Knospe. In den letzteren war im hypocotylen Glied und der Wurzel hie und da noch die letzte Spur von Traubenzucker zu finden. Auch das Eiweiß war spärlich; dagegen ist das Asparagin in solchen Exemplaren in unverminderter Menge vorhanden. Daß ich solche Exemplare auch bei der weiteren Keimung sehr leer fand, kann nicht überraschen, und man darf annehmen, daß sich dementsprechend aus ihnen im Allgemeinen auch nur kümmerliche Pflanzen entwickeln werden.

Daß bei noch längerer Dauer der ersten Periode die Keimlinge sich völlig verathmen und also die zweite Periode nie erreichen können, haben wir bereits auf S. 494 mitgetheilt.

## 2. Gestaltungsvorgänge.

Sobald die Wurzel sich durch die eigene Verlängerung und durch die Wurzelhaare in der Erde festgesetzt hat, muß natürlich die weitere Streckung des hypocotylen Gliedes dazu führen, die Cotylen aus der Erde emporzuheben. Je nachdem diese lockerer oder fester im Boden liegen und also einen geringeren oder größeren Widerstand bieten, entstehen in dem jungen Stengel eigenthümliche Spannungen und Krümmungen, um diesen Widerstand zu überwinden. In der Regel werden die Keimblätter dabei mit sammt der Schale ans Licht gebracht, in einzelnen Fällen können sie aus der Schale herausgezogen werden. Jetzt fängt der Einfluß des Lichtes an. Zunächst wirkt es auf das Längenwachsthum des hypocotylen Gliedes ein. Die Streckung dieses Organs war im Dunkeln rasch und ansehnlich, im Lichte wird sie so langsam und unbedeutend, daß die Keimblätter nur eben aus dem Boden hervorragen. Dieses genügt aber für ihre Entfaltung und ist später für den festen Stand der kräftiger werdenden Pflanze sehr wesentlich. Denn wenn das hypocotyle Glied weit aus der Erde hervorragt, so ist es bald zu schwach um die Pflanze zu tragen, und sobald diese einige wenige Blätter entfaltet hat, fällt sie um. Daß dem wirklich so ist, lehren Topfkulturen des Kleees nur zu häufig, wenn diese an schlecht beleuchteten Stellen ausgesät worden sind.

Die Keimblätter ergrünen in der Regel bereits, bevor sie die Samenschale abwerfen. (Vgl. Fig. 4). Die Ursache dieser Abstreifung liegt in dem nun eintretenden Wachsthum dieser Theile, welches unter Theilung und Streckung der Zellen die Keimblätter bald zu groß für ihre Hülle macht. Diese wird also allmählich abgeschoben und fällt endlich von selbst zu Boden. Dabei weichen die Cotylen plötzlich aus einander, indem in ihren Stielen bereits vorher Spannungen aufgetreten waren, und in sehr kurzer Zeit führen die Stiele die Samenlappen jetzt in eine horizontale, flach ausgebreitete Lage, wobei sie fast auf der Erde ruhen.

Hier nehmen sie eine immer dunklere grüne Farbe an, und wachsen bis sie etwa eine vierfache Größe erreicht haben. Inzwischen entwickelt sich nun auch die Knospe, und das erste ungedreite Blatt tritt hervor.

Während diese Veränderungen in den oberirdischen Theilen vor sich gehen, hat auch die Wurzel ihr Wachsthum fortgesetzt. Sie ist zu einer Länge von oft mehr als 10 Cm. herangewachsen und hat eine Reihe von Nebenwurzeln aus sich hervorgebracht.

In derselben Zeit hat sich auch der innere Bau vollständig ausgebildet. Es wäre aber überflüssig, auch diese Vorgänge hier zu schildern, da wir sie in unserem zweiten Paragraphen, bei der Behandlung der fertigen Keimpflanze, bereits ausführlich besprochen haben.

### 3. Wanderung und Metamorphosen der einzelnen Bildungstoffe.

Auf unserer Tafel stellen die Figuren 4—6 die Vertheilung der Stoffe im Anfang, die Figuren 10—16 ihre Verbreitung am Ende dieser Periode dar. Ich bitte den Leser also bei der jetzt folgenden Beschreibung, diese Abbildungen, zumal aber die Hauptfiguren 4—6 und 10—12 mit einander vergleichen zu wollen.

Wir betrachten zunächst die stickstofffreien Bildungstoffe. Sie sind am Anfang unserer Periode noch als Del und Stärke in den Cotylen vorhanden, und werden fortwährend in den grünen Theilen als Stärke neu erzeugt. In diesen Organen werden sie zunächst und zum weitaus größten Theil sogleich zum eigenen Wachsthum verbraucht; ein kleinerer Theil wandert aus ihnen in den Stamm und in die Wurzel, um hier theils zur Regeneration des Eiweißes aus dem Asparagin, theils für das Wachsthum der Zellhäute zu dienen. In Folge dieses Verbrauches nimmt die Menge des Dels in den Cotylen stetig ab, nach ihrer Entfaltung fand ich darin nur noch geringe Spuren. Bei der Entwicklung des ungedreiten Blattes sind auch diese Spuren in vielen Exemplaren bereits verschwunden; in anderen halten sie sich als letzte Ueberreste allerdings länger. Dagegen nimmt die Menge der Stärke sowohl absolut, als auch im Verhältniß zur Größe der Organe fortwährend zu; alle oberirdischen Theile sind damit dicht erfüllt. (Fig. 10). In dem hypocotylen Glied läßt sie sich nur eine sehr kleine Strecke weit abwärts verfolgen, bald beschränkt sie sich auf die Stärkescheide des Gefäßbündels; in dieser reicht sie je nach dem Alter und den Individuen tiefer oder weniger tief herab, erreicht aber seit dem Anfange der zweiten Periode die Wurzel nicht mehr. In der Wurzel fehlt sie überall in den ausgewachsenen Theilen, nur in den sich streckenden Zellen der Wurzelspitze und in der Haube kann sie nachgewiesen werden. Hier ist sie offenbar aufgespeichert, um für das Wachsthum der Zellhäute der betreffenden Zellen verbraucht zu werden. Jede neue, aus dem eiweißreichen Vegetationspunkt heraustretende Zelle lagert neue Stärke in sich ab und verwendet diese späterhin für ihre eigene Streckung. So kommt es, daß man in jedem Alter der Keimpflanze die sich grade streckenden Zellen voll Stärke findet, während in den ausgewachsenen keine stickstofffreien Bildungstoffe mehr nachweisbar sind.

Woher beziehen die Zellen der Wurzelspitze ihre Stärke? Offenbar aus der

einzigem Quelle organischer Substanz in der Pflanze, aus den grünen, oberirdischen Theilen. Diese organische Substanz muß also durch das hypocotyle Glied und durch die Wurzel ihnen fortdauernd zuströmen. In welcher Form geschieht dieses? Welche Verbindung ist es, die in den Blättern aus Stärke entsteht und in den Wurzelspitzen wieder in Stärke umgesetzt und als solche abgelagert wird? Auf diese Frage geben uns die Untersuchungen für den vorliegenden Fall keine Antwort. Denn auf der ganzen bezeichneten Bahn können höchstens im Anfange dieser Periode noch Spuren von Traubenzucker nachgewiesen werden, später aber findet man dort weder Traubenzucker noch Stärke. Da nun aber in zahlreichen anderen Fällen bekanntermaßen der Zucker die Form ist, in der die stickstofffreien Stoffe in den Pflanzen wandern, so ist die rationellste Annahme, welche uns die obige Erscheinung erklären kann, die, daß auch hier Zucker von den Blättern zu den Wurzelspitzen wandert, und daß wir ihn nur deshalb nicht mikrochemisch nachweisen können, weil er in zu geringer Menge, in zu verdünnter Lösung die Gewebe durchzieht. Diese Annahme hat, bei der relativen Armuth der ganzen Pflanze an Bildungstoffen nichts Auffallendes, und kann daher einstweilen als sehr wahrscheinlich angenommen werden. Sie ließe sich vielleicht durch eine analytisch-chemische Untersuchung des anscheinend zuckerfreien Gewebes direkt beweisen oder widerlegen.

Als stickstoffhaltige Verbindungen besitzt die Kleepflanze am Ende der ersten Keimungsperiode Eiweiß und Asparagin. Das Eiweiß findet sich erstens in der Wurzelspitze und im Vegetationspunkte des Stengels und in den jüngsten Neubildungen dieses letzteren, dann aber auch im Weichbaste des ganzen Gefäßbündelsystems. Das Asparagin ist überall im parenchymatischen Gewebe des Stengels und der Wurzel verbreitet. Bei den Neubildungen von Zellen in der Knospe, der Wurzelspitze und beim Dickenwachsthum des Gefäßbündels wird fortwährend Eiweiß zum Aufbau des Protoplasma der neuen Zellen verbraucht. In dem Maße als neue Zellen entstehen, würde also der Vorrath dieses Körpers abnehmen, und man müßte bald eine Armuth daran an den genannten Stellen nachweisen können. Dem ist nun aber nicht so, weil fortwährend das Asparagin sich mit den neuen Assimilationsprodukten verbindet und so wieder zu Eiweiß wird. Nicht die Menge des Eiweißes, sondern die des Asparagins nimmt fortwährend und stetig ab, und dieses dauert solange fort, bis am Ende der Keimung keine Spur dieser letzteren Verbindung mehr nachgewiesen werden kann. (Fig. 10—12). Nur in einzelnen Fällen fand ich in dem in Fig. 10—12 abgebildeten Stadium noch etwas Asparagin im Stengel und in der Wurzel; ja bei der Keimung unter ungünstigen Beleuchtungsbedingungen erhielt sich dieses bisweilen bis zur Entwicklung des ersten gedrehten Blattes, offenbar wegen Mangel an hinreichenden Assimilationsprodukten zur Umwandlung der ganzen Menge des Asparagins in Eiweiß. Die Quantität des Eiweißes ist dabei nur wenig verändert, seine Vertheilung ist eine etwas andere geworden, indem es in dem Gefäßbündel der älteren Theile des hypocotylen Gliedes und der Wurzel fast ganz verschwunden ist. Dagegen wird es jetzt in der Spitze einer jeden neuen Seitenwurzel in erheblicher Menge gefunden. (Fig. 11.)

Als Nebenprodukt des Stoffwechsels tritt in dieser Periode oxalsaurer Kalk

auf. Man findet die ersten Kryställchen oft schon vor der Entfaltung der Keimblätter in der Gefäßbündelscheide der Keimblattstiele und zwar vorzugsweise in deren unterer Hälfte. Sobald das einfache Blatt sich entwickelt, fängt auch hier die Ablagerung von oxalsaurem Kalk an; diese nimmt bald so sehr zu, daß die Krystalle die scheidenartige Bekleidung der Bastbelege sowohl der Gefäßbündel im Stiele als der Nerven der Spreite in dichter Menge erfüllen. In jeder solchen Zelle der Scheide bildet sich nur ein einziger Krystall aus. Der in diesen Krystallen abgesetzte Kalk entsteht zu einem großen Theile aus den Kalksalzen des Samens, wie daraus hervorgeht, daß die Krystalle sich auch bei der Kultur der Keimlinge in destillirtem Wasser bilden. — Im hypocotylen Gliede und in der Wurzel ist um diese Zeit kein oxalsaurer Kalk nachweisbar.

#### § 4. Die Keimung im Dunklen.

##### a) Allgemeines.

Um uns eine klare Vorstellung machen zu können von dem Antheile, den das Licht in der zweiten Keimungsperiode an der Ausbildung und dem Stoffwechsel der Keimpflanzen des Klee hat, wollen wir jetzt untersuchen, wie die Keimung in völliger Finsterniß verläuft. Die erste Periode wird ohnehin im Dunklen durchlaufen, wir haben hier also nur die zweite ins Auge zu fassen.

Läßt man Kleesamen in einem Topf im dunklen Schrank keimen, so geht die Keimung anfangs normal vor sich, die Keimlinge durchbrechen nach mehreren Tagen die Erdoberfläche und die Keimblätter werden durch das sich streckende hypocotyle Glied emporgehoben. Aber die Cotylen wachsen so gut wie gar nicht und streifen also nur in seltenen Fällen die Schale ab, gewöhnlich bleiben sie ganz oder doch zum Theil darin verborgen. Im ersteren Falle weichen sie etwas aus einander, zu einer normalen Entfaltung kommt es aber nie. Dagegen streckt sich das hypocotyle Glied zu einer ganz ansehnlichen Länge. Während die Cotylen am Lichte nur eben aus der Erde hervorragen, werden sie jetzt mehrere Centimeter hoch emporgehoben. Dazu kommt, daß alles blaß bleibt, die gelbe oder weiße Farbe geht nicht in die grüne über. Im Laufe von 2—3 Wochen werden alle stickstofffreien Reservestoffe des Samens theils zum Wachsthum, theils zur Athmung verbraucht, und verschwinden also aus dem Gewebe, weil neue Assimilationsprodukte nicht gebildet werden. Aus demselben Grunde häuft sich auch das Asparagin fortwährend an; es kann nicht wieder in Eiweiß zurückverwandelt werden, weil dazu das erforderliche Material fehlt. Nach drei bis vier Wochen fangen die Pflänzchen an zu sterben; sie werden schlaff und fallen zusammen. Sie haben sich völlig verathmet. Nur das Asparagin, das zur Athmung nicht taugt, bleibt auch beim Tode noch in ihrem Gewebe; es ist jetzt aber völlig nutzlos. So endet das Leben der Keimpflanzen im Dunklen in Folge von Mangel an Athmungsmaterial.

Die ausgewachsene etiolirte Keimpflanze unterscheidet sich somit von der normalen 1. durch den völligen Mangel der Ausbildung der äußeren Gestalt, 2. durch den vollständigen Verbrauch aller stickstofffreien Bildungstoffe, 3. durch das Bleiben

des Asparagins in dem Gewebe. Hieraus folgt, daß die Neubildung von Stärke, die Regeneration von Eiweiß aus dem Asparagin und die normale äußere Entwicklung in den grünen Keimpflanzen Folgen der Einwirkung des Lichtes sind, daß die Mitwirkung des Lichtes dazu unerläßlich ist.

Nach diesen einleitenden Bemerkungen wollen wir die etiolirte Keimpflanze in ihren einzelnen Theilen einer genaueren Betrachtung unterwerfen, und werfen daher zuerst einen Blick auf Tafel XIII. Die Figuren 7—9 stellen die Vertheilung der Stoffe in der ausgewachsenen etiolirten Keimpflanze, einige Zeit vor dem Tode dar. Vergleicht man diese mit den Figuren 10—12, so wird man mit einem Blicke die Folgen der Lichtwirkung übersehen. Um andererseits den allmählichen Verlust der Nährstoffe beim Etiolement beurtheilen zu können, kann man die Abbildung der etiolirten Keimpflanze (Fig. 7—9) mit dem Anfange der zweiten Periode (Fig. 4—6) vergleichen. Denkt man sich aus diesen letzteren die grüne Farbe der Cotylen weg, so stellen sie genau den Anfang der zweiten Periode bei der Keimung im Dunklen dar. Die stickstofffreien Nährstoffe, welche hier noch verzeichnet sind, verschwinden beim Etiolement allmählich vollständig. Die Betrachtung der erwähnten Figuren wird uns also das Verständniß der jetzt folgenden Beschreibung erleichtern.

#### b) Gestaltungsvorgänge.

In einer etiolirten Keimpflanze ist das hypocotyle Glied sehr stark überverlängert, es erreicht nicht selten 6 Cm. Länge und mehr, während es bei der Keimung flach gesäter Samen im Freien oft nur einige Mm. lang wird. Zu diesem ansehnlichen Wachsthum wird weitaus der größte Theil der Reservestoffe verbraucht. Dadurch entsteht bald ein Mangel an Nahrung, in Folge dessen die Wurzel und die Cotylen in ihrem Wachsthum gehindert werden und also klein bleiben. Erstere erreicht häufig nicht mehr als 2 Cm. Länge, während sie in ausgewachsenen, am Licht erleuchteten Exemplaren oft über 1 Decm. lang ist. Nebenwurzeln bildet die Hauptwurzel der etiolirten Exemplare nicht. Die Cotylen wachsen so wenig, daß sie gewöhnlich die Samenschale nicht abstreifen können. Und da auch ihre Stiele, wie Fig. 7, angiebt, abwärts gekrümmt bleiben, so bleibt die Gestalt fortwährend die eines noch jungen Keimlings. (z. B. wie in Fig. 4).

Mit der inneren Differenzirung steht es nicht viel besser. Die Spaltöffnungen auf den Cotylen und dem hypocotylen Gliede bilden sich schon sehr früh, etwa in dem Stadium von Fig. 7, auch im Dunklen aus, dagegen werden in den Parenchymzellen der Keimblätter die Chlorophyllkörner nicht differenzirt. Im Gefäßbündel entstehen die ersten Ring- und Spiralgefäße bereits früh, aber zu einem kräftigen Dickenwachsthum der Stränge kommt es im Dunklen nicht. Also ging auch in allen diesen Punkten die Entwicklung nicht wesentlich weiter, als sie bereits am Ende der ersten Periode war. Wir können das Gesagte also kurz dahin zusammenfassen, daß die ganze Entwicklung, mit Ausnahme der ansehnlichen Streckung des hypocotylen Gliedes, auf derjenigen Stufe stehen bleibt, auf der in normalen Fällen die Einwirkung des Lichtes anfängt.

## c) Vertheilung der Bildungstoffe.

Von den stickstofffreien Reservestoffen des Samens ist das Del allmählich vollständig verbraucht worden. Auch der Traubenzucker, der beim Anfange der Keimung aus einem Theil des Dels und der Stärke entstanden war, ist nicht mehr nachzuweisen. Von der Stärke sind noch Spuren übrig und zwar um so geringere, je älter das untersuchte Exemplar ist. In der Wurzel verschwindet die Stärke sowohl aus der Haube als aus dem jungen Gewebe und damit hört in diesem Theil der Pflanze das Wachsthum auf. Am längsten findet man die Stärke noch in dem oberen Theil des hypocotylen Gliedes und in den Stielen der Keimblätter, zuerst noch im Parenchym, dann nur noch in der Stärkescheide, endlich gar nicht mehr. Auffallend ist es, daß, wenn bereits fast alles Gewebe seine Stärke verloren hat, diese in den Spaltöffnungszellen der Cotylen noch zu finden ist; sie liegt hier in zahlreichen, äußerst kleinen Körnchen, welche in jeder einzelnen Zelle in 3—5 Gruppen vereint sind. Die Lage dieser Gruppen entspricht der Lage der Chlorophyllkörner in denselben Zellen an ergrüntem Exemplaren.

Stickstoffhaltige Nährstoffe sind auch hier das Eiweiß und das Asparagin; ersteres in der Wurzelspitze, der Knospe und dem Gefäßbündel, letzteres im Grundgewebe. Das Eiweiß nimmt fortwährend an Menge ab, in demselben Maße nimmt das Asparagin zu, weil es aus jenem entsteht. Bald führt das Gefäßbündel nur noch in der Nähe der beiden Neubildungsheerde Eiweiß. Das Asparagin findet sich sowohl in der Wurzel als im hypocotylen Gliede in großer Menge; dagegen konnte ich es aus den Cotylen nur mit vieler Mühe und in geringer Quantität gewinnen.

Der oxalsaure Kalk, der bei der Keimung am Lichte im Anfang der zweiten Periode in den Scheiden der Gefäßbündel der Cotyledonartheile abgelagert wird, entsteht an diesen Stellen auch bei der Keimung im Dunklen. Die Krystalle sind sehr deutlich aber nicht zahlreich, und kommen nur an der genannten Stelle vor. Ihr Vorkommen beweist, daß ihre Entstehung unabhängig ist von der Einwirkung des Lichtes, und also auch mit der Kohlensäure-Assimilation in keinem direkten Zusammenhang steht.

## § 5. Einfluß äußerer Umstände auf die Keimung.

Je nachdem die äußeren Einflüsse für die Keimung mehr oder weniger günstige sind, geht diese rascher oder langsamer vor sich. Unter diesen Einflüssen sind in erster Linie die Temperatur, der Zutritt des atmosphärischen Sauerstoffs und die Feuchtigkeit zu nennen. Die Beziehung des Lichtes zu der Keimung haben wir im vorigen Paragraphen bereits behandelt.

Der aufgestellte Satz ist ein in der Pflanzenphysiologie so allgemein gültiger, daß er einer besonderen Beweisführung für den rothen Klee nicht bedarf. Wohl aber ist es wichtig, die genaueren Beziehungen des Keimungsprozesses bei unserer Pflanze zu den erwähnten Agentien kennen zu lernen. Es liegen in der

Literatur einige zerstreute Angaben über diese Beziehungen vor, welche zwar noch nicht erlauben, ein zusammenhängendes Bild zu entwerfen, aber doch manche werthvolle Thatsachen enthalten. Ich will es versuchen, diese Notizen hier in möglichst übersichtlicher Form zusammenzustellen.

Ueber die Widerstandsfähigkeit der ruhenden, trockenen Samenkörner gegen äußere Einflüsse finde ich eine Angabe Just's<sup>1)</sup>, nach welcher trockene Kleesamen in trockener Luft bei 120° C. starben, aber Temperaturen unter 120° C. ertrugen, ohne die Keimfähigkeit zu verlieren. Wenn Kleesamen einer Temperatur von 100° C. ausgesetzt waren, so keimten sie nachher noch, wenn man ihnen das entzogene Wasser vorsichtig wiedergab, nicht aber, wenn sie schnell befeuchtet wurden. In dunstgesättigter Atmosphäre verloren die Kleesamen dagegen bei 75° C. in wenigen Stunden, bei 50° C. in 48 Stunden ihre Keimfähigkeit.

Für Frostwirkungen sind die trockenen Samen selbstverständlich unempfindlich; die eingeweichten, ja auch solche, deren Würzelchen bereits hervorgetreten ist, nehmen aber auch bei ziemlich tiefen Kältegraden keinen wesentlichen Schaden. Körnerproben, welche während 24 Stunden eingeweicht waren, ertrugen nachher -10° C. und -22° C., ohne ihre Keimfähigkeit einzubüßen. Sie behielten diese sowohl beim langsamen als auch beim raschen Aufthauen<sup>2)</sup>. Proben, welche während 48 Stunden in feuchter Erde eingequellt waren, ertrugen eine zehnstündige Einwirkung von -14° R. ohne Nachtheil; ja, sogar nach 6 Tagen, als die Keimung schon angefangen hatte, aber die Keimlinge die Erde noch nicht durchbrochen hatten, ertrugen sie eine Einwirkung von -8.5° R.<sup>3)</sup>

Die Geschwindigkeit der Keimung hängt in erster Linie von der Temperatur ab. Die vollständigsten Angaben hierüber sind von Haberlandt gemacht worden. Er ließ Rothkleeamen in einem Eiskasten bei 0-1° C. keimen; nach 45 Tagen waren die ersten Anfänge der Keimung sichtbar, nach 4 Monaten hatten von 305 Körnern 29, also etwa 10 pCt. gekeimt. Ihre Würzelchen hatten sich bis 2-6 Mm. entwickelt<sup>4)</sup>. Steigt die Temperatur einige Grade über dem Gefrierpunkt, so nimmt sowohl die Geschwindigkeit der Keimung als auch die procentische Anzahl der keimenden Samen rasch zu. So erfolgte in einigen Versuchen mit konstanter Temperatur die Keimung mit dem ersten Sichtbarwerden der Würzelchen, in Tagen nach dem Auslegen der trockenen Samen:<sup>5)</sup>

1) Bot. Zeitung. 1875. S. 52.

2) Haberlandt, im Centralblatt für Agrik.-Chemie. 1874. S. 275.

3) Haberlandt, im Jahresber. für Agrik.-Chemie. 1861. S. 150.

4) Haberlandt, Pflanzenbau. 1875. I. S. 109. Die viel älteren Versuche von Sachs über die untere Temperaturgrenze waren nicht während so langer Zeit fortgesetzt, und fanden das Minimum also etwas höher, n. l. bei 4° R. (Chem. Ackersmann. 1859. S. 129; Jahresber. d. Agrik.-Chemie. 1859. S. 92).

5) Haberlandt, Jahresber. für Agrik.-Chemie 1860, p. 69 und Landw. Versuchsstat. 1874. S. 107.

bei 3·8° R. in 7·5 Tagen.

„ 8·4° R. „ 3 „

„ 12·5° R. „ 1·75 „

„ 14·8° R. „ 1 Tag.

Bei höheren Temperaturen erfolgte die Keimung in Stunden<sup>1)</sup>:

bei 13° R. in 32 Std.

„ 20° R. „ 24 „

„ 25° R. „ 24 „

„ 30° R. „ 24 „

Bei diesem letzteren Versuche keimten stets alle ausgelegten Samen. Bei 35° und 40° R. fand keine Keimung mehr statt<sup>2)</sup>.

Demnach liegen die für die Keimung günstigen Temperaturen zwischen 0° und 30—35° R., und steigt die Keimungsgeschwindigkeit mit steigender Temperatur etwa von 1—20° R. Bei welcher Temperatur die Keimung am raschesten vor sich geht, mit anderen Worten, wo das Optimum für diesen Prozeß liegt, ist bis jetzt nicht bekannt.

Ueber den Einfluß der Temperatur auf die Dauer des ganzen Keimungsprozesses liegen nur wenige Angaben vor. Nach Sachs<sup>3)</sup> wurde das Ende der Keimung bei einer Bodentemperatur von 10—13° R. binnen 8—10 Tagen erreicht; nach A. Baer<sup>4)</sup> bei 15—20° R. in 4—7 Tagen.

Dem Einflusse der Temperatur zunächst steht die Abhängigkeit der Keimung vom atmosphärischen Sauerstoff. Ohne Sauerstoff können die Samen nicht keimen, und bis zu einer gewissen Grenze wird die Geschwindigkeit der Keimung mit dem vermehrten Zutritt dieses Gases zunehmen. Besondere Untersuchungen über diesen wichtigen Gegenstand sind mir nicht bekannt geworden, deshalb gebe ich hier die Beschreibung eines Demonstrationsversuches zur Veranschaulichung jener Abhängigkeit.

Zahlreiche Samen werden auf einem Teller flach ausgebreitet, und während 24 Stunden in Wasser eingeweicht. Nach Ablauf dieser Frist stellt man den Teller vorsichtig etwas schief, so daß die Samen der einen Seite etwa 1 Cm. hoch mit Wasser bedeckt sind, die der anderen Seite aber nicht mehr bedeckt sind. Um die Austrocknung der letzteren zu verhindern, kann man den Teller mit einer Glasscheibe locker bedecken. Am nächsten Tag haben fast alle außerhalb des Wassers liegenden Samen gekeimt, im Wasser noch kein einziger. Am folgenden Tage sind jene weiter gewachsen; die welche am Rande des Wassers nur von einer dünnen Schicht bedeckt sind, fangen an ihre Würzelchen zu treiben, die tiefer bedeckten regen sich noch nicht. Erst nach etwa 8 Tagen fangen auch die letzteren an zu keimen, nachdem die zuerst gekeimten die Samenschale längst abgeworfen und theilweise die grünen Cotylen schon entfaltet haben. Auf dem geneigten Teller sieht

1) Haberlandt, Landw. Versuchsstat. 1874. S. 111.

2) Just fand bereits bei 39° C. = 31° R. keine Keimung mehr. Bot. Jahresbericht. II. S. 761.

3) Sachs, Chem. Ackermann 1859; Jahresber. d. Agrik.-Chemie. 1859. S. 92.

4) Baer, Jahresber. d. Agrik.-Chemie. 1859. S. 99.

man dann in schöner Reihenfolge alle Entwicklungsstadien von den noch ungekeimten Samen bis zu den schon ergrünten Keimpflänzchen.

Die Wirkung des Wassers kann in diesem Falle keine andere sein, als die Verzögerung des Zutrittes des atmosphärischen Sauerstoffes, und der Versuch zeigt also, daß die Keimung um so rascher von statten geht, je freier die Luft zu den Samen dringen kann. Wenn man täglich das Wasser erneuert, und dadurch täglich neuen Sauerstoff zuführt, kann man die Kleesamen ganz unter Wasser bis zur Entfaltung und Ergrünung der Cotylen sich entwickeln, lassen. Sie brauchen dazu aber eine verhältnißmäßig äußerst lange Zeit, so z. B. in einem Versuche bei gewöhnlicher Zimmertemperatur unter einer 1.5 Cm. hohen Wasserschicht mehrere Wochen.

Mehr als der Einfluß der Temperatur und des Sauerstoffes ist der der Feuchtigkeit in der Praxis von Interesse, doch liegen auch hierüber keine eingehenden Untersuchungen vor. Man weiß nur im Allgemeinen, daß die Keimung der Klee auf offenem Acker, wegen der Austrocknung der obersten Schichten der Erdrinde durch die Sonne, mit großen Schwierigkeiten zu kämpfen hat, daß aber die Keimung sehr gut vor sich geht, wenn der Klee als Unterfrucht unter einer anderen, den Acker beschattenden und feucht haltenden Frucht gesät wird. Die praktischen Erfahrungen hierüber an dieser Stelle auseinanderzusetzen, würde uns hier zu weit führen; es wäre sehr zu wünschen, daß die hier obwaltenden Verhältnisse zum Gegenstand besonderer Forschung gemacht würden.

Ebenso wenig können wir hier über die zweckmäßigste Saattiefe des Klee Angaben machen. Es soll nur bemerkt werden, daß diese durch die beiden Faktoren Sauerstoffzutritt und Feuchtigkeit in erster Linie bestimmt wird. Eine Behandlung dieses Themas von allgemeinen Gesichtspunkten aus, ist also erst nach der Erledigung der angedeuteten Vorfragen möglich.

#### § 6. Tabellarische Uebersicht über die wichtigsten mikrochemischen Beobachtungen.

Der Zweck der vorliegenden Abhandlung ist nicht nur von der Entwicklung der Keimpflanzen des Klee und von den dabei stattfindenden chemischen Prozessen ein allgemeines Bild zu entwerfen, sondern es sollte dieses Bild soweit ausgearbeitet werden, daß weitere Untersuchungen über spezielle Fragen sich daran leicht anknüpfen lassen. In dieser letzteren Hinsicht wird die Uebersicht wohl am besten dadurch erleichtert werden, daß ich die Vertheilung der wichtigsten, mikrochemisch nachweisbaren Stoffe über die verschiedenen Organe und Gewebeformen in allen Stadien des Wachstums tabellarisch zusammenstelle. Eine solche Tabelle findet man auf S. 508 u. 509. Sie läßt neben den speziellen Angaben, beim ersten Blick deutlich hervortreten, in welchen Perioden in bestimmten Keimtheilen die Inhaltsstoffe wichtige Veränderungen erleiden und in welchen sie stationär sind.

Ich habe in dieser Tabelle die beiden wichtigsten Endprodukte des ganzen Stoffwechsels, die Cellulose und die Grundsubstanz des Protoplasma nicht angeführt; sie werden im ganzen Laufe der Entwicklung überall gebildet; ihre Erwähnung

hätte nur Zweck, wenn über ihr Auftreten quantitative Angaben gemacht werden könnten. Nur hätte vielleicht die bedeutendere Ablagerung von Cellulose im Holzkörper und in den Bastfasern der Gefäßbündel hervorgehoben werden sollen.

Auch die Nebenprodukte des Stoffwechsels wurden nicht erwähnt; hauptsächlich, weil ihre Bedeutung und die Art ihrer Entstehung noch ganz im Dunklen liegt.

Die leeren Organe sind in der Tabelle durch ein — angegeben.

### § 7. Zusammenfassung.

Am Schlusse dieses Aufsatzes soll es versucht werden, die wichtigsten Ergebnisse in möglichst einfachen Zügen zu einem Gesamtbilde zu vereinigen. Der detaillirten Darstellung in den vorigen Paragraphen entsprechend, behandeln wir auch hier zuerst den ruhenden Samen und dann die Keimung selbst und theilen letztere in zwei Perioden. Als Grenze dieser beiden Abschnitte des Keimungsprozesses betrachten wir den Augenblick, in welchem der junge Keimling die Erdoberfläche durchbricht; bis dahin befand er sich im Dunklen und lebte ausschließlich von den im Samen aufgespeicherten mütterlichen Assimilationsprodukten; von diesem Momente ab entwickelt er sich unter dem Einflusse des Lichtes und wenigstens zum Theil auf Kosten neu assimilirter organischer Substanz.

Im Samen liegt, fest von der harten Samenhaut und einem spärlich entwickelten Endosperm umschlossen, der Keim. Dieser enthält die Anlagen zu den Hauptorganen der späteren Pflanze als Würzelchen und Federchen, und daneben die beiden großen Samenlappen. Alle Theile des Keimes sind mit Reservestoffen dicht angefüllt, sowohl mit organischen als mit unorganischen. Dagegen finden sich weder in der Samenschale, noch in dem Endosperm irgendwie erhebliche Mengen von Nährstoffen, wenn diese im letzteren auch nicht vollständig fehlen. Die Haut dient nur zur Beschützung des Samens; sie ist es, welche beim Anfang der Keimung zuerst das erforderliche Wasser aufsaugen muß, eine Funktion, für welche sie so wenig geeignet ist, daß sie gerade im Gegentheil bei manchen Körnern dem Eindringen des Wassers einen fast unüberwindlichen Widerstand entgegensetzt. Das Endosperm quillt bei der Keimung sehr stark auf und lagert dabei äußerst große Quantitäten Wasser in sich ab, welche es im Nothfalle dem sich entwickelnden Keime abtreten kann. Es fungirt also als Wasserbehälter.

Die organischen Bildungstoffe sind in den Zellen des Keimes aufgespeichert. Sie sind theils stickstoffhaltige: Eiweiß, theils stickstofffreie: Stärke und Del. (Vgl. Tafel XIII, Fig. 1 und 2). Eiweiß findet sich ausnahmslos in allen Zellen, dagegen werden die Stärke und das Del nur im parenchymatischen Gewebe angetroffen; in der jungen Epidermis und den Gefäßbündelanlagen fehlen sie. Die Samenlappen und das Würzelchen sind gleich reich an diesen Reservestoffen; die äußerste Wurzelspitze und das Federchen, welche bei der Keimung als Theilungsgewebe fungiren werden, enthalten jetzt, wie später, nur Eiweiß. Bemerket sei noch, daß das Eiweiß für den Aufbau der protoplasmatischen Grundsubstanz der Zellen, die Stärke und das Del dagegen für das Wachsthum und die Neubildung der Zellwände sowie zur Athmung bestimmt sind.

## Vertheilung der wichtigsten Stoffe in den Keimlingen D

Keimtheile.	Im ruhenden Samen.	Erste Keimungsperiode.		
		Beim ersten Hervorbrechen des Würzelchens.	Bei einer Länge der Keimaxe von 1 Cm.	Bei einer Länge der Keimaxe von 2—3 Cm.
I. Samenlappen.				
1. Oberhaut.	Eiweiß.	Eiweiß.	Eiweiß.	Weniger Eiweiß.
2. Parenchym.	Eiweiß, Stärke, Del.	Eiweiß, Stärke, Del.	Eiweiß, Stärke, Del.	Weniger Eiweiß, Stärke und Del.
3. Nerven.	Eiweiß.	Eiweiß.	Eiweiß.	Eiweiß.
II. Stiele d. Samenlappen.				
1. Oberhaut.	Eiweiß.	Eiweiß.	Eiweiß.	Weniger Eiweiß.
2. Parenchym.	Eiweiß, Stärke, Del.	Eiweiß, Stärke, Del.	Eiweiß, Stärke, Del.	Stärke, Del, Asparagin.
3. Gefäßbündel.	Eiweiß.	Eiweiß.	Eiweiß.	Eiweiß.
III. Federchen.				
1. Einfaches Blatt.	}	Eiweiß.	Eiweiß.	Eiweiß.
2. Jüng.gedreit.Blatt.				
3. Blattanlagen.				
4. Stengelspitze.				
IV. Hypocot. Glied.				
1. Oberhaut.	Eiweiß.	Eiweiß.	Nur im oberen Theil Eiweiß.	Kein Eiweiß.
2. Parenchym.	Eiweiß, Stärke, Del.	Eiweiß, Stärke, Del; Asparagin; Zucker im unteren Theil.	Eiweiß Stärke und Del nur im oberen Theil; Asparagin überall; Zucker nur in der Mitte.	Stärke und Del im oberen Theil; Asparagin überall, Zucker nur in der Mitte.
3. Stärkescheide.	ebenso.	ebenso.	Stärke.	Stärke.
4. Gefäßbündel.	Eiweiß.	Eiweiß.	Eiweiß.	Eiweiß.
V. Ausgewachsener Theil der Wurzel.				
1. Parenchym.	}	Eiweiß, Stärke, Del, Asparagin; Zucker im oberen Theil.	Traubenzucker, Asparagin.	Zucker nur im unteren Theil; Asparagin.
2. Stärkescheide.				
3. Gefäßbündel.				
4. Nebenwurzeln.				
VI. Wurzelspitze.				
1. Streckungsgewebe.	Eiweiß, Stärke, Del.	Eiweiß, Stärke, Del.	Stärke, Asparagin.	Stärke, Asparagin.
2. Theilungsgewebe.	Eiweiß.	Eiweiß.	Eiweiß.	Eiweiß.
3. Wurzelhaube.	Eiweiß.	Eiweiß.	Stärke.	Stärke.

rothen Klees in verschiedenen Altersstadien.

Erste Keimungsperiode.	Zweite Keimungsperiode.			In der ausgewachsenen etiolirten Keimpflanze.
	Bei der Abstreifung der Samenschale.	Nach der Entfaltung der Samenlappen.	Nach der Entfaltung des ersten Blattes. Ende der Keimung.	
Bei Durchbrechen der Erddecke. Länge 5—6 Cm.				
Wenig Eiweiß. Weniger Eiweiß, Stärke und Del. Weniger Eiweiß.	Kein Eiweiß, Chlorophyll und Stärke in den Spaltöffnungen. Stärke, Del, Chlorophyll; kein Eiweiß. Wenig Eiweiß.	Chlorophyll und Stärke in den Spaltöffnungen. Wenig Del; Chlorophyll neu assimilirte Stärke. Wenig Eiweiß.	Chlorophyll und Stärke in den Spaltöffnungen. Chlorophyll; neue Stärke. Wenig Eiweiß.	Ohne Chlorophyll aber Stärke in den Stomata. Wenig Asparagin.
Wenig Eiweiß. Stärke; wen. Del.; Aspar. Weniger Eiweiß.	Kein Eiweiß; Chlorophyll und Stärke in den Spaltöffnungen. Stärke, Asparagin. Weniger Eiweiß.	Chlorophyll und Stärke in den Spaltöffnungen. Viel Stärke, wenig Aspar. Wenig Eiweiß.	Chlorophyll und Stärke in den Spaltöffnungen. Viel Stärke kein Asparag. Wenig Eiweiß.	Asparag.; Spuren v. Stärk. Spuren von Eiweiß.
Eiweiß.	Eiweiß.	{ Eiweiß, Stärke. Eiweiß. Eiweiß. Eiweiß.	{ Chlorophyll, neu assimil. Stärke, wenig Eiweiß in den Nerven. Eiweiß, Stärke. Eiweiß. Eiweiß.	{ unentwickelt, nur Eiweiß.
—	—	—	—	—
Stärke im oberen Theil; Asparagin überall; weniger Zucker. Stärke. Eiweiß.	Weniger Stärke; kein Zucker; Asparagin überall. Nur im oberen Theil Stärke. Eiweiß.	Stärke im oberen Theil; weniger Asparagin. Nur im oberen Theil Stärke. Wenig Eiweiß.	Stärke im oberen Theil; kein Asparagin. Stärke etwas tiefer abwärts. Wenig Eiweiß.	Viel Asparagin. Wenig Stärke im oberen Theil. Nur i. ober. Theil Eiweiß.
Weniger Zucker; Asparagin. Stärke. Eiweiß fehlen.	Kein Zucker; Asparagin. Stärke nur im unteren Theil. Eiweiß fehlen.	Weniger Asparagin. Keine Stärke. Wenig Eiweiß. Erste Anlagen m. Eiweiß.	Kein Asparagin. — Wenig Eiweiß. Eiweiß, Stärke.	Viel Asparagin. — fehlen.
Stärke, Asparagin. Eiweiß. Stärke.	Stärke, Asparagin. Eiweiß. Stärke.	Stärke, weniger Asparag. Eiweiß. Stärke.	Stärke. Eiweiß. Stärke.	Asparagin. Eiweiß.

Die Reservestoffe sind im Kleesamen nicht in einem richtigen Verhältniß vorhanden. Das Eiweiß und die anorganischen Verbindungen finden sich darin in hinreichender Menge, um die Keimung ohne Hülfe von neu aufgenommenen Stoffen zu Ende zu führen. Mit den stickstofffreien organischen Nährstoffen ist dies nicht der Fall; diese sind, im Verhältniß zu den übrigen in viel zu geringer Menge da. Für die ersten Tage der Keimung genügen sie, aber schon mit dem Anfange der zweiten Periode ist eine neue Zufuhr von stickstofffreien organischen Verbindungen nothwendig. Diese entstehen nun in den Pflanzen bekanntlich nur aus der Kohlensäure-Zerlegung am Lichte, daher kann die zweite Keimungsperiode nur am Lichte zum Abschluß gebracht werden.

Dieses eigenthümliche Mißverhältniß<sup>1)</sup> ist so auffallend, daß es sich lohnt, einen Versuch hervorzuheben, welcher geeignet ist, es in ein recht scharfes Licht zu stellen. Für diesen Versuch bringen wir Kleesamen auf drei verschiedene Arten zur Keimung; erstens in normaler Weise, im Freien in feuchter Erde, zweitens in einem dunklen Kasten in feuchter Erde, und drittens im Lichte, aber ohne jeglichen anderen Zusatz, als den des erforderlichen destillirten Wassers. Die letzteren Pflänzchen werden sich genau so entwickeln, wie die im Freien keimenden; sie erreichen das Ende der Keimung (Stadium von Fig. 10—12, Tafel XIV) eben so rasch wie diese. Hieraus folgt, daß die anorganischen Stoffe im Samen völlig ausreichen. Die im dunklen Kasten stehenden Keimlinge bringen es nicht einmal zur normalen Entfaltung ihrer Cotylen; sobald sie das Stadium von Fig. 7—9 erreicht haben, hört ihre Entwicklung auf, und nachdem sie noch einige Tage unverändert geblieben sind, sterben sie. Diese Wahrnehmung zeigt, wie nothwendig die Mitwirkung des Lichtes für die normale Gestaltung ist; und daß diese Wirkung in der Zerlegung der Kohlensäure und der Bildung neuer organischer Substanz begründet ist, kann durch eine Vergleichung des Gehalts an solchen Stoffen in den Exemplaren der drei Abtheilungen unseres Versuchs leicht bewiesen werden. (Vergl. Fig. 7—9 mit Fig. 10—12).

Die erste Periode der Keimung umfaßt die Quellung der Samen, das Hervortreten und die Streckung des Würzelchens (und des hypocotylen Gliedes). Schon während der Quellung, mehr aber noch beim ersten Hervortreten des Würzelchens fangen die chemischen Umwandlungen der Reservestoffe an. Die Stärke und das Del werden im hypocotylen Gliede und in der Wurzel in großen Mengen in Traubenzucker verwandelt, der bald alle wachsenden Zellen des Parenchyms dieser Organe dicht erfüllt. (Vergl. Tafel XIII, Fig. 3). Dieser Zucker wird bei der nun

1) Dieses Mißverhältniß ist wahrscheinlich als eine Anpassung an ganz bestimmte Lebensverhältnisse aufzufassen. Der große Reichthum an Stickstoff-Verbindungen setzt die Samen in den Stand, in einem stickstoffarmen Boden ohne Gefahr zu keimen und eine lange und reich verzweigte Wurzel darin zu entwickeln, bevor eine Aufnahme solcher Verbindungen von außen her nothwendig wird. Daß eine solche Anpassung für die Kleearten und ihre Verwandten von großer Bedeutung sein muß, folgere ich aus der bekannten Thatsache, daß gerade sie in sehr stickstoffarmen Böden üppig wachsen können, weil sie auch äußerst geringe in der Atmosphäre und der Bodenluft vorkommende Mengen Ammoniak in sich anzuheften und zu verwerthen wissen.

folgenden raschen Streckung der Zellen zum Wachsthum der Zellhäute verwendet; er geht, offenbar wegen seiner nahen chemischen Verwandtschaft mit Cellulose, sehr leicht in diese über. Daraus folgt aber andererseits, daß der Zucker in dem Maße verschwinden wird, als die Zellen sich strecken, und dieses ist es auch genau, was man bei der Untersuchung von vollständigen Entwicklungsreihen von Exemplaren beobachtet. An der Basis des hypocotylen Gliedes beendigen die Zellen zuerst ihre Streckung; hier verschwindet auch der Zucker zuerst. (Vgl. Tafel XIII, Fig. 3.) Von dort aus schreitet sowohl die Streckung als das Verschwinden des Zuckers in der Keimaxe nach oben und nach abwärts stetig fort, und zu der Zeit, wo diese Axe eine Länge von etwa 5 Cm. erreicht hat, ist aller Zucker verbraucht.

Damit sind aber auch überhaupt die stickstofffreien Nährstoffe aus dem mittleren Theile der Keimaxe verschwunden, denn die dort abgelagerte Stärke und das Del waren bereits vollständig in Zucker umgesetzt. Ja es sind sogar in den Samenlappen große Theile dieser Stoffe gelöst und der Axe zugeleitet und dort ebenfalls nahezu vollständig verbraucht worden. Dies geht daraus hervor, daß der Borrath in den Samenlappen stets geringer wird, obgleich dort noch kein irgendwie erheblicher Verbrauch stattfindet. (Vgl. Tafel XIII, Fig. 4—6.)

Das Eiweiß hat beim Anfange der Streckung in der ganzen Axe, später hauptsächlich in der Wurzelspitze Verwendung gefunden. Denn im Anfange fanden überall Zelltheilungen statt, welche sich nachher auf die genannte Stelle beschränkten. Bei diesem Prozesse wird fortwährend neues Protoplasma für die neuen Zellen gebildet, und dieses entsteht, da es stickstoffhaltig ist, zum wesentlichsten Theile aus dem Eiweiß. Sobald die Theilungen in irgend einer Gewebepartie vollendet sind, und die Streckung dort angefangen hat, ist demzufolge das Eiweiß von dort verschwunden. Es findet sich bald nur noch in der Wurzelspitze, in der Stammknospe und im Gefäßbündel.

Ein nicht unbedeutender Theil des Eiweißes wird auch in Asparagin umgesetzt, eine leicht lösliche Verbindung, welche bequem durch die Keimtheile hindurchströmt, und also eines rascheren Transportes fähig ist, als das nur zähflüssige Eiweiß selbst. In der Nähe der Bildungsheerde neuer Zellen, wo die Anwesenheit von Eiweiß für den Aufbau neuer Protoplasmakörper nothwendig ist, verbindet dieses Asparagin sich wieder mit den stickstofffreien Bestandtheilen und wird so wieder in Eiweiß zurückverwandelt, wenigstens so lange die stickstofffreien Stoffe noch in der erforderlichen Menge vorhanden sind.

Ueerblicken wir die chemischen Umsetzungen in der ersten Periode, so haben wir am Anfange Eiweiß, Stärke und Del in großen Mengen im ruhenden Samen. Das Eiweiß wird zum Theil zur Protoplasmaabildung verwendet, zum Theil in Asparagin umgesetzt. Die Stärke und das Del dienen zur Zellhautbildung und zur Athmung; sie werden bei ihrem Verbrauch vorübergehend in Traubenzucker umgesetzt. Am Ende der ersten Periode haben also die Cellulose und das Protoplasma zugenommen, dafür aber Stärke, Del und Eiweiß sehr erheblich abgenommen; endlich ist das aus einem Theil des letzteren entstandene Asparagin noch als solches und zwar in ziemlich großer Menge im Gewebe vorhanden.

In der zweiten Keimungsperiode geschehen die Gestaltungsprozesse einerseits auf Kosten der noch übrig gebliebenen Reservestoffe des Samens, andererseits auf Kosten der Stärke, welche durch Kohlensäure-Assimilation in den Chlorophyllkörnern neu gebildet wird. Diese Stärke wird zum Theil zur Athmung, zum Theil zur Regeneration des Eiweißes aus dem Asparagin verwendet, dient aber zum weitaus größten Theil für das sehr kräftige Wachsthum, welches alle Theile in dieser Periode zeigen, und wodurch die anfangs sehr zarten und schwachen Keimlinge allmählich bedeutend gestärkt werden. Zuerst fangen die Keimblätter an zu wachsen, sie werden dadurch zu groß für die sie umschließende Samenschale und streifen diese ab. Dann entfalten sie sich und breiten sich in horizontaler Lage aus, um dem Lichte eine möglichst große Fläche darzubieten. Während sie ihre definitive Größe erlangen, entwickelt sich das erste Blatt aus der Stammknospe, und wächst die Hauptwurzel immer tiefer in die Erde hinab. Bald ist nun auch das erste Blatt fertig, und hat sich die Wurzel mit zahlreichen kleinen Nebenwurzeln im Boden befestigt. (Fig. 10—12). Bei dieser kräftigen Entwicklung ist zunächst das Del in den Cotylen völlig verbraucht worden; dann aber ist auch das Asparagin allmählich gänzlich in Eiweiß zurückverwandelt, und dieses selbst schon zum größten Theil bei der Bildung neuer Zellen in Protoplasma umgesetzt worden. Was die letzte Reservestärke des Samens anbelangt, so ist auch wohl von dieser nichts mehr übrig, obgleich dies bei der reichlichen Neubildung von Stärke sich natürlich nicht empirisch entscheiden läßt.

Am Ende der Keimung ist also vom Del des Samens, sowie von dem Traubenzucker und dem Asparagin, welche direkt aus den Reservestoffen des Samens entstanden sind, nichts mehr übrig. Auch die Reservestärke ist wohl verschwunden, dagegen ist das Gewebe reichlich mit neu assimilirter Stärke erfüllt. Das Eiweiß des Samens ist ebenfalls verbraucht, und nur Spuren von solchem sind noch in den Stammknospen und der Wurzelspitze vorhanden; hier ist es aber mittelst neu assimilirter Stärke aus dem Asparagin regenerirt worden. Man kann also mit einem Wort sagen, daß die Reservestoffe des Samens jetzt völlig verbraucht sind, sie sind vollständig in die Bestandtheile der ausgebildeten Zellen, zumal in das Protoplasma mit seinen Theilen (z. B. den Chlorophyllkörnern), und in die Zellhäute verwandelt worden. Von jetzt an müssen also alle erforderlichen Nährstoffe von außen aufgenommen werden: die Keimung ist beendigt, und die Vegetation fängt an.

## Erklärung der Figuren zu Tafel XIII. u. XIV.

Alle Figuren sind mit der Camera lucida aufgenommen und schematisirte Längs- und Querschnitte. Die Farben sind in ihnen nicht nach den Reaktionen des gezeichneten Präparates eingetragen, sondern sie stellen die mittleren Resultate zahlreicherer Beobachtungen dar.

In allen Figuren bedeuten:

- a. s. Äußere Samenschale.
- i. s. Innere Samenschale.
- c. Cotylen oder Samenlappen.
- c. st. Cotyledonarstiele.
- b. b. Insertionsstelle der Cotyledonarstiele.
- f. Federchen.
- h. g. Hypocotyles Glied.
- w. h. Wurzelhaube.
- w. Wurzel.
- a. Natürliche Größe des Objectes.

### Tafel XIII.

- Fig. 1. Längsschnitt des trockenen Samens.  $\frac{20}{1}$ .  
n. Nabel.
- Fig. 2. Querschnitt des trockenen Samens.  $\frac{20}{1}$ .  
e. Endosperm.
- Fig. 3. Junge Keimpflanze noch ganz im Boden versteckt. Im Längsschnitte.  $\frac{13}{1}$ .  
a. a. Grenze zwischen dem hypocotylen Glied und der Wurzel.
- Fig. 4—6. Keimpflanze beim Abstreifen der Samenschale. Längsschnitte.  $\frac{13}{1}$ .  
Fig. 4. Oberer Theil.  
Fig. 5. Ein Theil der Wurzel.  
Fig. 6. Wurzelspitze.  
a Natürliche Größe des ganzen Keimlings.
- Fig. 7—9. Ausgewachsene etiolirte Keimpflanze.  $\frac{13}{1}$ .  
Fig. 7. Oberer Theil.  
Fig. 8. Ein Theil der Wurzel.  
Fig. 9. Wurzelspitze.  
a Natürliche Größe des ganzen Keimlings.

## Tafel XIV.

Fig. 10—12. Fertige Keimpflanze.  $\frac{8}{1}$ .

Fig. 10. Oberirdische Theile.

spr. Spreite des ersten Blattes.

st. Stiel " " "

p. Polster.

n. b. Nebenblätter.

g. b. Erstes gedreites Blatt.

v. p. Vegetationspunkt.

13. } Lage der Querschnitte für die entsprechenden Fig. 13, 14 u. 15.

14. }

15. }

Fig. 11. Ein Theil der Wurzel.

w. a. Nebenwurzelanlage.

n. w. Nebenwurzel.

Fig. 12. Wurzelspitze.

Fig. 13. Querdurchschnitt eines ausgewachsenen Keimblattes.  $\frac{20}{1}$ .

n. Nerven.

o. s. Oberseite.

u. s. Unterseite.

Fig. 14. Querschnitt eines ausgewachsenen Cotyledonarstieles.  $\frac{43}{1}$ .

Fig. 15. Querschnitt des hypocotylen Gliedes.  $\frac{43}{1}$ .

bst. Bastfasergruppen.

hlz. Holzkörper.

Fig. 16. Querschnitt der Wurzel; wenig oberhalb der oberen Grenze von Fig. 12 geschnitten.  $\frac{43}{1}$ .

bst. Bastfasergruppen.

hlz. Holzkörper.



