

Ursprung beider Organe von demselben Mycelium wenigstens mit vorwiegender Wahrscheinlichkeit an, gegenüber der anderen Möglichkeit, dass beide Organe wechselseitig aus einander hervorgehen.

Von Uredo war keine Spur vorhanden. Dagegen fanden sich über den Aecidien, an der oberen Blattfläche, immer einige, der Blattsubstanz eingesenkte, nach aussen etwas vorspringende, breit-ovale gelbbraune Spermogonien, von anscheinend dem gewöhnlichen Bau, jedoch ohne spitze Mündungsparaphysen.

Fig. 9 (90). Querschnitt durch einen Blattfleck, auf der Unterseite Teleutosporenlager *t* und ein Aecidium *a*. An der Oberseite ein Spermogonium *s*.

Fig. 10(390). Abgeschnittene Teleutosporen. *a* ungekeimt; *b* im Beginn der Keimung; *c* theilweise ausgekeimt und entleert.

## Ueber die Bedeutung der Pflanzensäuren für den Turgor der Zellen.

Von

Dr. Hugo de Vries.

Seitdem man weiss, dass in den Chlorophyllkörpern die lebendige Kraft der Sonnenstrahlen in chemische Spannkräfte umgesetzt wird, und dass dieser Process die einzige ausgiebige Kraftquelle für die grünen Pflanzen bildet, folgt aus dem Gesetze von der Erhaltung der Kraft, dass die im Chlorophyll unter dem Einfluss des Lichtes gebildeten organischen Verbindungen nicht nur den Ausgangspunkt für die chemischen Prozesse in der Pflanze darstellen, sondern auch die Quelle der Kraft für sämmtliche, sowohl chemische als mechanische Bewegungen bilden müssen.

Der herrschenden Ansicht gemäss, ist es das lebendige Protoplasma, welches diese Spannkräfte in lebendige Kräfte umsetzt; das Protoplasma bedingt es, in welcher Weise und zu welchen Zwecken die aufgespeicherten Kräfte in jedem einzelnen Falle verwendet werden. Dementsprechend muss man annehmen\*), dass die Vorgänge, die es hervorruft, wenigstens in ihrem Anfange nicht neben ihm, sondern in seinem Innern, zwischen seinen eigenen Molekülen stattfinden. Auch wenn ein Theil des Processes, vielleicht der einzige äusserlich wahrnehmbare Theil, ausserhalb des Protoplasma verläuft, so ist doch der erste Anstoss, der Anfang der Bewegung, in allen Fällen im Protoplasma selbst zu suchen. Die Kraftentwicklung in der Pflanze hängt aufs innigste mit ihrer Athmung zusammen, und

\*) Sachs, Handbuch der Experimentalphysiologie. S. 346.

diese ist, wie Garreau's schöne Untersuchungen bewiesen haben\*), eine Function des Protoplasma.

Ueberall, wo wir im Organismus Leistungen beobachten, sind wir also gezwungen, die Frage zu stellen: Welche chemischen Spannkräfte werden dabei in lebendige Kräfte verwandelt, und in welcher Weise findet dieses unter der Herrschaft des lebenden Protoplasma statt?

Seit langer Zeit habe ich mich mit Untersuchungen über die Ursachen des Turgors und über die Beziehungen zwischen Turgor und Wachstum beschäftigt. Dabei entstand das Bedürfniss, jene Frage für die speciell von mir studirten Erscheinungen zu beantworten, denn nur von dieser Antwort konnte eine tiefere Einsicht in die Mechanik dieser Vorgänge erwartet werden.

Ich glaube, dass es mir gelungen ist, eine, wenigstens in der Hauptsache befriedigende Antwort auf die gestellte Frage zu finden. Und da diese Antwort auf manche bisher völlig räthselhafte Erscheinungen ein unerwartetes Licht wirft, und voraussichtlich in vielen Richtungen zu experimentellen Forschungen Veranlassung geben kann, so möge es mir gestattet sein, sie hier mitzuthemen.

Es leuchtet ein, dass die Zelle keine Arbeitskraft aus Nichts hervorbringen kann; die osmotisch wirksamen Inhaltsstoffe stellen aber eine solche Kraft vor, und es fragt sich also, welches die Quelle dieser Kraft ist.

Nach dem oben Gesagten kann diese Quelle nur in der der Zelle zugeführten organischen Nahrung gesucht werden; aus ihr müssen also die osmotisch wirksamen Stoffe durch die Lebensthätigkeit des Protoplasma erzeugt werden. Als organische Nahrung fungirt hauptsächlich der Zucker (die Glucose), seine chemische Spannkraft kann, unter Mitwirkung des freien Sauerstoffes, leicht in andere Kraftformen umgesetzt werden.

Unsere Frage lässt sich also so zuspitzen: Welche Stoffe erzeugt das Protoplasma aus jenem Material, um dem Zellsafte seine Turgorkraft\*\*) zu geben?

Hierauf antworte ich: Die Pflanzensäuren sind die Träger der Turgorkraft; sie werden unter der Herrschaft des Protoplasma aus den aufgenommenen Nährstoffen und dem Sauerstoffe zu diesem Zwecke

\*) Garreau, Ann. sc. nat. 1851. 3. Serie. T. XV.

\*\*) Unter Turgorkraft verstehe ich die osmotische Kraft der lebenden Zelle.

gebildet. Folgende Gründe lassen sich bereits jetzt für diese Meinung anführen.

1. Dass die Glucose selbst die Turgorkraft nicht liefern kann, habe ich bereits früher aus ihrer geringen Anziehung zu Wasser und der niedrigen Concentration des Zellsaftes junger kräftig turgescirender Zellen abgeleitet. Dasselbe gilt für alle übrigen Inhaltsstoffe mit geringer Anziehung zu Wasser\*).

2. Gewisse anorganische Salze des Zelleninhaltes zeichnen sich durch eine grosse Anziehungskraft für Wasser aus. So z. B. Kalisalpeter und Chlorkalium. Solche Salze müssen aber von den Zellen von ausserhalb aufgenommen, sie können nicht neu erzeugt werden. Sie können sich also höchstens in untergeordneter Weise an der Turgorkraft betheiligen.

3. Die in den Pflanzen allgemein verbreiteten organischen Säuren und löslichen organisch-sauren Salze (vorwiegend die Kalisalze) zeichnen sich nach Graham's berühmten Untersuchungen über die Diffusion\*\*) ebenso wie die oben genannten Salze in Hinsicht auf die Anziehungskraft für Wasser aus. Obgleich die chemische Natur der Pflanzensäuren nur in den wenigsten Fällen bekannt ist, darf man doch nach allen bisherigen Erfahrungen über das Verhalten der verschiedenen anorganischen und organischen Säuren bei der Diffusion mit Bestimmtheit schliessen, dass auch den Pflanzensäuren und manchen ihrer Salze eine sehr grosse Anziehungskraft für Wasser zukommt, und dass sie also bereits in sehr verdünnten Lösungen den Zellen eine bedeutende Turgorkraft werden mittheilen können.

4. Das Parenchym, welches bekanntlich im jungen Zustande gewöhnlich als Schwellgewebe fungirt, lässt ganz allgemein eine saure Reaction des Zellsaftes deutlich erkennen\*\*\*), auch dann, wenn andere Theile des Pflanzenkörpers, wie das Phloëm†) oder gewisse Idioblasten††) einen alkalischen Saft führen. Es scheint, dass Aepfelsäure, der wohl immer etwas Citronensäure beigemischt ist, die allgemeinste Pflanzensäure im Parenchym ist. Ob die Säuren dort frei oder an Basen

\* ) Ursachen der Zellstreckung. S. 32—33.

\*\* ) Graham, Philosophical Transactions. 1849, 1850, 1851.

\*\*\* ) Gaudichaud, Comptes rendus XXVII. Nr. 1—2; vergl. Bot. Ztg. 1848. S. 850.

† ) Sachs, Berichte der k. sächs. Ges. 1860. I, II. S. 24.

†† ) Payen, Bot. Ztg. 1848. S. 849.

gebunden vorkommen, ist einstweilen gleichgültig. Das allgemeine Vorkommen der Pflanzensäuren und ihrer löslichen Salze, sowohl bei grünen als bei nicht grünen Pflanzen und in allen Organen, muss doch eine ganz bestimmte Bedeutung für das Leben der Pflanzen haben.

5. Die im Zellsaft vorkommenden Pflanzensäuren genügen dem von mir aufgestellten Satze, dass das Protoplasma für die den Turgor bedingenden Inhaltsstoffe nicht oder doch nur in sehr geringem Grade permeabel sein darf\*). Nur wenn diese Bedingung erfüllt ist, kann nach meiner Ansicht ein im Zellsaft gelöster Stoff auf die Dauer wesentlich zur Erhöhung der Spannung zwischen Wand und Inhalt der Zelle beitragen. Dass aber das Protoplasma für Pflanzensäuren wenig oder gar nicht permeabel ist, geht u. A. aus ihrem Verhalten zum Chlorophyll hervor. Denn die Pflanzensäuren haben die Eigenschaft, das Chlorophyll zu zerstören, dessen ungeachtet kommen sie oft in bedeutender Menge neben diesem Farbstoff in lebenden Blättern vor. Tödtet man die Blätter von *Oxalis Acetosella* in warmem Wasser, so erhält die Säure freien Zutritt zum Chlorophyll und die Blätter werden augenblicklich braun. In der lebenden Zelle wehrte also das Protoplasma der Säure den Zutritt zu den Chlorophyllkörnern\*\*).

Bereitet man sich einen wässerigen Auszug der *Oxalis*-Blätter, und taucht man lebende Blätter anderer Pflanzen in diese hinein, so bleiben sie grün, taucht man aber vorher getödtete Blätter hinein, so verfärben sie sich augenblicklich. Das lebende Protoplasma ist also für die Säure impermeabel\*\*\*). Dasselbe lehren uns die oben citirten Beobachtungen von Payen und Sachs über das Vorkommen saurer und alkalischer Zellen in dem nämlichen Gewebe.

6. Manche chemische Umsetzungen organischer Säuren hängen bekanntlich vom Licht ab; dieses eröffnet uns die Hoffnung, bei Reizwirkungen im Pflanzenreich, soweit sie Aenderungen des Turgors veranlassen, und durch die Bildung oder Vernichtung von Pflanzensäuren vermittelt werden, Ausgangs-

\* ) Sur la perméabilité du protoplasma des betteraves rouges, in Archiv. Néerl. T. VI. 1871. p. 117. Vergl. Ursachen der Zellstreckung. p. 27 ff.

\*\* ) de Vries, Archiv. Néerl. T. VI. 1871. p. 261. Aehnliches fanden Kraus und Andere bei mehreren anderen Pflanzen.

\*\*\* ) Zu derselben Folgerung gelangte Wiesner: Die natürlichen Einrichtungen zum Schutze des Chlorophylls. 1876. S. 11 ff.



punkte für die Erforschung der Wirkungsweise der Reize, zunächst des Lichtes, ausfindig zu machen.

Die bis jetzt angeführten Argumente waren allgemeiner Natur; ich will jetzt noch einige besondere Erscheinungen besprechen, welche meiner Ansicht als Stütze dienen können.

7. Das Längenwachsthum jugendlicher Organe, z. B. der Sprosse und Wurzeln wird nach der Sachs'schen Theorie des Wachstums durch die Turgorausdehnung der Zellen des Grundgewebes wesentlich beeinflusst. Es ist leicht zu beweisen, dass die dabei beobachteten Verhältnisse nur durch die Annahme einer stetigen Neubildung osmotisch wirksamer Inhaltsstoffe erklärt werden können. Und von den bis jetzt in solchen Zellen bekannten Verbindungen können offenbar nur die Pflanzensäuren diese Inhaltsstoffe sein.

8. In Keimpflanzen, welche in destillirtem Wasser gezogen werden, nimmt die Menge der anfangs vorhandenen anorganischen Bestandtheile nicht zu, die Concentration also fortwährend ab, während die gesammte Turgorkraft der Pflanze offenbar lange Zeit zunimmt. Dieses beweist in sehr auffälliger Weise, dass die anorganischen Bestandtheile die Turgorkraft nicht liefern.

9. Wie ich in einer früheren Mittheilung dargethan habe\*), bewirken Reize eine fast momentane sehr ausgiebige Production von osmotisch wirksamen Inhaltsstoffen in den Parenchymzellen der Ranken, und die Geschwindigkeit dieses Processes beweist meiner Ansicht nach vollkommen genügend, dass die betreffenden Stoffe nicht in jenem Augenblicke von aussen aufgenommen werden können, sondern dass sie durch Umwandlung bereits vorhandener Stoffe an Ort und Stelle gebildet werden müssen. Solches kann aber, unter den bis jetzt bekannten Inhaltsstoffen, nur mit den Pflanzensäuren der Fall sein.

10. Meine Ansicht gibt eine sehr einfache Erklärung der bis jetzt, so viel mir bekannt, unerklärten Erscheinungen der Nachwirkung, sowie überhaupt des Umstandes, dass die Processe, welche im Protoplasma vor sich gehend, Aenderungen des Turgors herbeiführen, von ihrem mechanischen Effecte zeitlich oft bedeutend getrennt sein können. Denn die Bildung einer gewissen Menge von Pflanzensäure wird offenbar nur dann eine Erhöhung des Turgors thatsächlich herbeiführen, wenn die Bedingung der Anwesenheit des Wassers

\*) Bot. Ztg. 1879. S. 830.

erfüllt ist. Ist kein Wasser vorhanden, so wird der mechanische Effect der Säurebildung nothwendigerweise unterbleiben; kann die Zufuhr nur langsam geschehen, so bleibt der sichtbare Effect bei dem inneren Vorgange zurück. Letzteres ist nachgewiesenermaassen der Fall bei der Nachwirkung der Ranken, und offenbar auch bei der geotropischen Nachwirkung. Die rasche Contraction der Wurzeln, wenn sie in Wasser gelegt werden, bietet ein Beispiel des ersteren Falles, denn offenbar sind die osmotisch wirksamen Stoffe bereits vorhergebildet, ihre Wirkung äussern sie aber erst, wenn den Zellen reichlich Wasser zugeführt wird\*\*).

11. Endlich kann ich eine Beobachtung anführen, welche sich ganz direct auf die Bedeutung der Pflanzensäuren für das Wachsthum beziehen lässt. Wiesner fand, dass die im Finstern vergeilten Blätter vieler monocotylar Gewächse äusserst reich an organischen Säuren sind, sie röthen blaues Lackmuspapier sehr rasch, während die grünen Blätter solches kaum merklich thun\*\*). Ich kann diese Beobachtung dahin vervollständigen, dass auch die Stengel etiolirter dicotylar Pflanzen sehr stark sauer sind; es gelang mir aber nicht, in den klein gebliebenen etiolirten Dicotylenblättern eine deutlich saure Reaction nach zuweisen. Diese Erfahrung wirft nun aber ein sehr merkwürdiges Licht auf die Erscheinungen des Etiolament. Die Pflanzensäuren, welche die Träger der Turgorkraft sind, entstehen in Stengeln und monocotylar Blättern im Dunkeln mehr als im Lichte, dementsprechend wachsen diese Organe im Dunkeln rascher als im Lichte. In den Dicotylenblättern aber, welche im Dunkeln weniger wachsen, ist die Bildung der Säuren nur unbedeutend.

Ich glaube also mit grosser Wahrscheinlichkeit folgende Sätze aufstellen zu können.

1. Die osmotisch wirksamen Stoffe, welche in Pflanzenzellen die Turgorkraft bedingen, sind vorwiegend die Pflanzensäuren. Sie üben diese Function theils im freien Zustande, theils als saure oder neutrale Salze aus.

2. Durch die Lebensthätigkeit des Protoplasma wird die chemische Spannkraft der Nährstoffe und des

\*) Ueber Verkürzung pflanzlicher Zellen durch Wasseraufnahme. Bot. Ztg. 1879. S. 649.

\*\*) Wiesner in Sitzber. d. k. Akademie d. Wiss. I. Abth. April-Heft. 1874. S. 49 des Separatabdr.

Sauerstoffes in die mechanische Spannkraft der Säuren umgesetzt; diese bedarf bloß des Zutrittes von Wasser, um in lebendige Kraft überzugehen.

Es liessen sich aus der vorliegenden Litteratur wohl noch eine Reihe von Thatsachen anführen, welche sich nur durch diese Ansicht in befriedigender Weise erklären lassen. Ich unterlasse es aber, jetzt näher auf diese einzugehen, da ich gesonnen bin, die Rolle der Pflanzensäuren beim Turgor zum Gegenstand experimenteller Untersuchungen zu machen. Einstweilen hoffe ich durch die aufgestellten Sätze unseren Vorstellungen über die beim Turgor wirksamen Inhaltsstoffe, statt der bisherigen vagen Betrachtungen, eine scharfe und bestimmte Fassung gegeben, und über die bisher so dunkle Rolle der Pflanzensäuren eine Meinung geäußert zu haben, welche diese zu sehr vernachlässigten Stoffe wieder in das Gebiet der experimentellen Forschung hereinzuziehen verspricht.

### Litteratur.

Aroideae Maximilianae. Die auf der Reise Sr. Majestät des Kaisers Maximilian I. nach Brasilien gesammelten Arongewächse nach handschriftlichen Aufzeichnungen von H. Schott, beschrieben von Dr. J. Peyritsch. Mit einem Titelbilde und 42 Tafeln in Farbendruck. Gross Folio. Wien, Verlag von Gerold's Sohn. — Preis 40 Fl. Oe. W.

Es gibt wenige Pflanzenfamilien aus der Reihe der Phanerogamen, welche ein so vielseitiges Interesse darbieten als die Araceen; denn zu der ausserordentlich mannigfaltigen Gestaltung der Blattformen, wie sie in der Classe der Monocotyledonen höchstens bei den Palmen auftritt, gesellt sich eine ausserordentliche Mannigfaltigkeit in der Sprossfolge, in den anatomischen Verhältnissen und der Beschaffenheit der Blüten. Abgesehen von den durch Zygomorphismus bewirkten Veränderungen der normalen pentacyclischen Blüthe gibt es kaum eine Abänderung dieses Typus, welche sich nicht bei den Araceen fände, die Placentation zeigt die verschiedenen Modificationen, deren sie überhaupt fähig ist, in schönster Reihenfolge innerhalb mehrerer Formenkreise verwandter Gattungen und die Reduction der Blüten geht in so instructiver und gradueller Weise in einzelnen Formenkreisen vor sich, dass wir wohl sagen können, es gibt kaum eine bessere Schule für ganze Theile der Blütenmorphologie, als das Studium der Blütenverhältnisse bei den Araceen. Dazu kommt nun andererseits trotz des immer wiederkehrenden Spadix und der fast allgemeinen Umbildung des obersten der Inflorescenz voran-

gehenden Blattes zu einer Spatha eine grosse Mannigfaltigkeit der Beziehungen der Blüten zu einander und eine damit in Verbindung stehende eigenthümliche Gestaltung der Spatha und des Spadix, welche man erst dann richtig verstehen kann, wenn man durch jahrelange Beobachtung der Befruchtungsvorgänge in dieser Mannigfaltigkeit nicht bloß morphologische Variationen, sondern auch physiologische Anpassungen erkannt hat.

So ist es erklärlich, dass diese Pflanzengruppe einen Jünger der Botanik fesseln und begeistern, zu immer tiefer gehenden Studien anregen und schliesslich die wissenschaftliche Thätigkeit eines fleissigen Mannes fast allein in Anspruch nehmen konnte. Noch heute, nach den umfassenden und grundlegenden Arbeiten Schott's ist die Aufgabe, das über diese Familie Bekannte zu durchdringen, keine kleine und die Aufgabe, den innern Zusammenhang des thatsächlich Bekannten zu erkennen, ist noch lange nicht vollständig gelöst, trotzdem Ref. bei seinen Arbeiten über die Familie mehr darnach, als nach einer Erweiterung der Formenkenntniss strebte. Wie stand es aber um diese Familie, als sie die Lieblingsfamilie Schott's wurde? Linné unterschied nur die Gattungen *Arum*, *Dracontium*, *Calla*, *Acorus*, *Pothos*; Schott aber brachte die Zahl der Gattungen während seiner 40jährigen Bearbeitung dieser Familie auf ungefähr Hundert; und diese Gattungen sind mit wenigen Ausnahmen natürliche, durch sorgfältigstes Studium aller einem nur mit Auge und Loupe arbeitenden Botaniker zugänglichen Verhältnisse der Blätter, Blüten und Früchte begründet. Da bekanntlich Schott's Ansichten bezüglich der Species sich ziemlich denjenigen näherten, welche heute von Jordan und Anderen vertreten werden, so hatte Ref. anfangs bei seinen Arbeiten über die Araceen auch etwas Misstrauen gegen die Schott'schen Gattungen; aber es zeigte sich, dass dieselben meistens wohlbegründet waren und dass auch die wenigen, welche eingezogen werden mussten, doch wenigstens natürlichen Gruppen oder Untergattungen entsprechen. Die Art und Weise, wie Schott die Familie studirte, ist bewundernswerth und die von ihm hinterlassenen Materialien sind das beredteste Zeugniß der Liebe und Opferfreudigkeit, zu welcher ihn die Araceen begeisterten. Durch seine zahlreichen Verbindungen mit den bedeutendsten Systematikern seiner Zeit gelang es ihm, fast alle getrockneten Araceen der grösseren Herbarien zum Studium zu erhalten und Alles, was ihm zugeing, wurde von geübten Pflanzenzeichnern, wie Seboth, Oberer und Nickelli so gezeichnet, als ob es für die Publication bestimmt gewesen wäre, so dass also Schott auch nach Rückgabe der ihm geliehenen Pflanzen immer wieder auf sie zurückgehen konnte. Dies ist aber der kleinere Theil seiner Leistungen. Durch seine Stellung als Vorsteher der kaiserlichen Gärten in Schönbrunn war Schott in der Lage, alle ihm zugänglichen lebenden Araceen jahrelang zu cultiviren und schliesslich auch ihre Blüten- und Fruchtbildung, sowie auch ihre Keimung zu beobachten (die meisten Araceen müssen ziemlich alt werden, bis sie eine blühende Generation entwickeln). Von diesen lebenden Araceen, deren jetzt noch fast 300 Formen in Schönbrunn cultivirt werden, wurden bei kleineren die ganzen Pflanzen, bei grösseren die Blätter und Blütenstände, von allen die einzelnen Blüthenheile in musterhaften Analysen, namentlich durch den Wiener Künstler