

# Eine Methode zur Analyse der Turgorkraft.

Von

**Dr. Hugo de Vries.**

---

I. Theil.

**Ueber isotonische Coëfficienten.**

## **Einleitung.**

Die osmotische Kraft eines Zellsaftes ist die Summe der Anziehungen, welche seine einzelnen Bestandtheile auf das umgebende Wasser ausüben. Für jeden Bestandtheil wird die Grösse dieser Anziehung offenbar durch zwei Factoren bestimmt; es sind dies die Menge, in der er im Saft vorkommt, und die Affinität seiner Molecüle zum Wasser. Diese Affinität ist in stark verdünnten Lösungen für jede Verbindung eine constante Grösse, welche in bestimmter Weise von ihrer chemischen Zusammensetzung abhängt und durch eine einfache Zahl ausgedrückt werden kann. Jene Zahl nenne ich den isotonischen Coëfficienten der betreffenden Verbindung; dieser weist also die Grösse der Anziehung Eines Molecüles<sup>1)</sup> des fraglichen Körpers in verdünnter wässeriger Lösung zum Wasser an. Als Einheit habe ich dabei, aus bald zu erörternden Gründen, ein Drittel der Anziehung eines Molecüles Kalisalpeter gewählt.

---

1) d. h.: Eines Molecüles in Grammen ausgedrückt, oder  $H = 1$  Gramm angenommen.

Die bis jetzt von mir bestimmten isotonischen Coëfficienten sind:

Für organische metallfreie Verbindungen . . . . .	2
Für die Salze der Alcalien, mit je einem Atom Metall im Molecül . . . . .	3
Für die Salze der Alcalien, mit je zwei Atomen Metall im Molecül . . . . .	4
Für die Salze der Alcalien, mit je drei Atomen Metall im Molecül . . . . .	5
Für die Salze der Erdalcalien, mit je einem Atom Säure im Molecül . . . . .	2
Für die Salze der Erdalcalien, mit je zwei Atomen Säure im Molecül . . . . .	4

Die Kenntniss dieser Zahlen ist unerlässlich, wenn man bei pflanzenphysiologischen Versuchen den Antheil berechnen will, den die verschiedenen im Zellsaft vorkommenden Stoffe an der Turgorkraft haben. Mit ihrer Hülfe aber lässt sich diese Aufgabe in sehr einfacher Weise lösen, wenn der Gehalt des Zellsaftes an den betreffenden Verbindungen durch eine chemische Analyse bekannt ist.

Wie eine solche Rechnung auszuführen ist, werde ich im zweiten Theil behandeln; der erste Theil ist ausschliesslich den Betrachtungen und Versuchen gewidmet, auf welche die Kenntniss dieser Coëfficienten beruht.

---

Eine kurze Erörterung der Principien, nach denen unsere Coëfficienten aus den Versuchen abgeleitet werden und eine nähere Begründung des für sie gewählten Namens möge der Beschreibung der befolgten Methoden vorausgehen.

Die Anziehung zwischen den Molecülen eines gelösten Körpers und seinem Lösungsmittel ist eine physikalische Kraft, und die isotonischen Coëfficienten, welche das Maass dieser Anziehung sein sollen, beziehen sich somit auf eine physikalische Eigenschaft der betreffenden Körper. Sie könnten also durch geeignete Methoden unabhängig von der Pflanze bestimmt werden. Eine solche Bestimmung ist aber bis jetzt, von der Seite der Physik, nicht, oder wenigstens nicht in der Weise ausgeführt worden, dass eine Anwendung auf die Analyse der Turgorkraft möglich wäre. Ich habe

mich dadurch gezwungen gesehen, diese Zahlen selbst zu ermitteln und die erforderlichen Methoden dazu ausfindig zu machen.

Für meinen Zweck, die Analyse der Turgorkraft, reichte es völlig aus, die relative Grösse der Anziehung zu Wasser für die verschiedenen im Zellsaft vorkommenden Stoffe kennen zu lernen, da es sich nur darum handelte, sie mit einander in dieser Beziehung vergleichen zu können. Ich habe deshalb die Anziehung eines willkürlich gewählten Körpers zum Wasser als Ausgangspunkt für meine Untersuchungen angenommen und darauf die Grösse jener Kraft bei anderen löslichen Verbindungen bezogen. Die Methoden, welche ich dabei befolgt habe, zwangen mich, jede einzelne Verbindung stets direct experimentell mit jenem Körper zu vergleichen, und die Wahl des Vergleichsobjectes wurde dementprechend nicht nach theoretischen Principien, sondern nach den Anforderungen des Experimentes getroffen. Diesen entsprach, aus den in meinen „Ursachen der Zellstreckung“ S. 11 namhaft gemachten Gründen, am meisten der Kalisalpeter, und so wurde dieses Salz zum Ausgangspunkte meiner Studien erhoben.

Es galt also, für jede im Zellsaft vorkommende Verbindung die Anziehung zu Wasser mit der des Kalisalpeters zu vergleichen. Es konnte dieses entweder derart geschehen, dass die Grösse dieser Anziehungen für eine Lösung der fraglichen Verbindung und eine Salpeterlösung gleicher Stärke gemessen wurde, oder so, dass ich für Lösungen, welche die gleiche Anziehung zum Wasser besaßen, den Gehalt an gelöster Substanz bestimmte. Ich habe den letzteren Weg gewählt, und also für eine bestimmte, jedoch stets sehr niedrige Concentration einer jeden der wichtigsten im Zellsaft vorkommenden Verbindungen die Stärke derjenigen Salpeterlösung ermittelt, welche mit ihr dieselbe Affinität zum Wasser hat.

Da dieses Verfahren somit bei jedem einzelnen Versuch wiederkehrte, sah ich mich veranlasst, die gesuchten Concentrationen mit einem einfachen Namen zu belegen. Die Wahl der anzuwendenden Bezeichnung war in Verband mit den befolgten Methoden leicht zu treffen. Aus dem nächsten Abschnitte wird man sehen, dass ich jene Concentrationen der Lösungen verschiedener Substanzen aufsuchte, welche mit der Turgorkraft derselben Zelle Gleichgewicht machen, welche also mit derselben Kraft das Wasser anziehen, wie

der Zellsaft der betreffenden Zelle. Solche Concentrationen gleicher Spannung habe ich nun isotonische<sup>1)</sup> genannt; Lösungen solcher Stärke würden also, wenn sie den Zellsaft einer lebendigen Zelle bildeten, die gleiche Turgorkraft liefern. Isotonische Concentrationen sind also solche, in denen die Lösungen verschiedener Substanzen mit derselben Kraft Wasser anziehen, oder mit der gleichen Turgorkraft einer Zelle Gleichgewicht machen.

Aus dieser Bezeichnung ist nun für das Verhältniss zwischen jenen Concentrationen, wie wir bald sehen werden, der Name der isotonischen Coëfficienten abgeleitet.

Jede Verbindung wurde direct mit dem Kalisalpeter verglichen und es konnte somit einfach als Maass für die Grösse der Anziehung einer beliebigen Lösung zum Wasser die Stärke einer mit ihr isotonischen Lösung von Kalisalpeter genommen werden. Umgekehrt werden wir bei den Analysen der Turgorkraft aus der bekannten Stärke einer Lösung und dem isotonischen Coëfficienten des gelösten Körpers jedesmal die absolute Grösse der Anziehung zum Wasser zu berechnen haben, und diese am einfachsten so ausdrücken, dass wir die Stärke einer isotonischen Salpeterlösung angeben. Dieses hat mich veranlasst, auch diese Grösse mit einem besonderen Namen zu belegen, und ich werde dementsprechend die Stärke einer Salpeterlösung, welche dieselbe Anziehung zum Wasser hat wie eine gegebene Lösung eines anderen Körpers, als deren Salpeterwerth bezeichnen. Die Ermittlung dieses Salpeterwerthes für irgend eine Concentration der Lösung einer untersuchten Verbindung war die directe Aufgabe jedes einzelnen Versuches.

Um aber die Salpeterwerthe der Lösungen verschiedener Verbindungen mit einander vergleichen zu können, war es selbstverständlich erforderlich, sie auf gleich concentrirte Lösungen aller Körper umzurechnen. Dabei entsteht aber die Frage, in welcher Form diese Concentration selbst anzugeben ist, ob in der üblichen Weise nach Gewichtsprocenten oder, wie bei titrimetrischen Analysen, nach Aequivalenten, oder endlich, den Anforderungen der heutigen theoretischen Physik entsprechend, in Molecülen? Im Laufe

---

1) Von *ισος*, gleich, und *τοπος*, Spannung, Turgor.

der Untersuchung zeigte sich nun, dass nur, wenn man den letzteren Weg einschlägt, die Salpeterwerthe gleich starker Lösungen verschiedener Substanzen zu einander in sehr einfachen Verhältnissen stehen, dass also nur auf diesem Wege eine klare Einsicht in die hier obwaltenden Gesetze erlangt werden kann. Wir werden demnach ein für allemal die Anzahl der Molecüle in einem bestimmten Volumen der Lösung und nicht die Anzahl der Gramme gelöster Substanz als das Maass der Concentration betrachten, sobald Lösungen von Substanzen verschiedener Zusammensetzung, also auch von verschiedenem Gewicht der einzelnen Molecüle, mit einander zu vergleichen sind.<sup>1)</sup>

Hat man nach diesen Principien die Salpeterwerthe für Lösungen berechnet, welche in dem gleichen Volumen dieselbe Anzahl von Molecülen enthalten, so lässt sich daraus offenbar direct auf die relative Grösse der Anziehung je eines Molecüles zum Wasser schliessen. Es hat sich nun aus meinen Versuchen ergeben, dass die Salpeterwerthe von Lösungen verschiedener Substanzen, welche sämmtlich 0.1 Molecül in Grammen ausgedrückt im Liter enthalten, je einem der folgenden Zahlen nahezu gleich sind: 0.066, 0.10, 0.133, 0.166. Ich hätte nun diese Zahlen ohne Weiteres zu isotonischen Coëfficienten erheben können, und müsste dieses auch thun, wenn ich für den Kalisalpeter die Einheit einsetzen wollte. Ich habe es aber vorgezogen, solches nicht zu thun, sondern die Einheit unserer Coëfficienten so zu wählen, dass diese selbst zu ganzen Zahlen würden. Es veranlasste mich dazu die Erwägung, dass jene Zahlen sich nahezu zu einander verhalten, wie 2 : 3 : 4 : 5. Der genannte Zweck wird somit erreicht, wenn wir den Coëfficienten des Salpeters willkürlich zu 3 wählen. Wir setzen also die Anziehung eines Molecüles Kalisalpeters zum Wasser in verdünnter Lösung = 3; und es wird somit die Anziehung aller übrigen untersuchten Verbindungen pro Molecül

---

1) Da die Aequivalente zu den Molecülen stets in einfachem Verhältniss stehen, habe ich meine empirischen Lösungen, den Vorschriften der titrimetrischen Methode folgend, nach Aequivalenten dargestellt und sie für die Berechnung des Resultates auf Molecüle umgerechnet.

nahezu gleich 2, 3, 4 oder 5. Diese Zahlen sind es nun, welche ich im Anfange isotonische Coëfficienten genannt habe.

Diesen Erörterungen entsprechend sind also die isotonischen Coëfficienten die Zahlen, welche das Verhältniss zwischen den Salpeterwerthen gleich concentrirter Lösungen anweisen, und da gleich concentrirte Lösungen nach dem oben Gesagten hier solche bedeuten, welche im Liter die gleiche Anzahl Molecüle enthalten, so geben unsere Coëfficienten selbstverständlich die relative Grösse der Anziehung zu Wasser für je ein Molecül ( $H = 1$  Gramm) an. Hierauf gründet sich die S. 427 gegebene Definition und die Berechtigung der Methode, nach der unsere Coëfficienten berechnet worden sind.

Denn hat man durch den Versuch den Salpeterwerth für eine Lösung von 0,1 Molecül gefunden, so braucht man diese Zahl offenbar nur mit 30 zu multipliciren, um den isotonischen Coëfficienten der betreffenden Verbindung zu erhalten.

Die isotonischen Coëfficienten geben also die relative Anziehung der verschiedenen Substanzen (pro Molecül gerechnet) zu Wasser an. Wünscht man für sie eine Einheit, so ist diese offenbar ein Drittel der Anziehung eines Salpetermolecüles zu Wasser. Aus mehreren Gründen empfiehlt sich dazu aber auch die Hälfte der Affinität eines Molecüles Oxalsäure, also die Anziehung eines Aequivalenten Oxalsäure zu Wasser. Denn diese Säure stellt nach Mohr<sup>1)</sup> die Grundlage der acidimetrischen Titrimethode dar, bei der jede Analyse stets auf eine Lösung von 0,1 Aequivalent Oxalsäure bezogen, resp. durch directe oder indirecte Vergleichung der zu analysirenden Lösung mit einer solchen ausgeführt wird. Der isotonische Coëfficient von Oxalsäure ist aber nach S. 428 = 2, der von einem Aeq. Oxalsäure also = 1. Die isotonischen Coëfficienten weisen demnach an, wie viele Aequivalente (= halbe Molecüle) Oxalsäure mit derselben Kraft Wasser anziehen wie ein Molecül der fraglichen Verbindung.

Mittelst unserer isotonischen Coëfficienten lässt sich nun offenbar für eine jede verdünnte Lösung eines beliebigen Körpers die Grösse

---

1) F. Mohr, Lehrbuch der analytisch-chemischen Titrimethode.

der Anziehung zum Wasser berechnen, wenn ihre Concentration bekannt ist. Man hat dazu einfach ihren Salpeterwerth zu berechnen — denn dieser gilt uns als das Maass für jene Anziehung. In gemischten Lösungen berechnet man aus der Analyse den Salpeterwerth jeder einzelnen Verbindung, und die Summe dieser Grössen ist offenbar gleich dem Salpeterwerthe der Mischung. Diese Berechnungen werden wir im zweiten Theil näher besprechen und durch Beispiele erläutern; sie bilden die Grundlage einer jeden Analyse der Turgorkraft.

In den folgenden Abschnitten dieses ersten Theiles gebe ich nun zunächst eine kurze Auseinandersetzung der Principien, welche mich bei der Wahl und Ausbildung meiner Methoden geleitet haben, und dann eine detaillirte Beschreibung der einzelnen Methoden und der danach angestellten Versuche. Die Discussion der Resultate trenne ich davon vollständig; sie bildet den Gegenstand des letzten Kapitels, in welchem die Gesetze der isotonischen Coëfficienten und die Beziehungen der durch sie gemessenen Kraft zu anderen physikalischen Kräften erörtert werden.

---

## Abschnitt I.

### Principien der Methoden.

Die ganze Untersuchung über die isotonischen Coëfficienten wurde im Dienste der Analyse der Turgorkraft unternommen, und es ergab sich daraus als oberstes Princip, dass die wichtigsten Versuchsbedingungen, wie z. B. der Grad der Verdünnung der Lösung, die Temperatur u. s. w. so viel wie möglich dieselben sein müssten, wie in denjenigen physiologischen Processen, auf welche die Analyse der Turgorkraft später Anwendung finden würde. Weitaus am einfachsten und sichersten wird dieses aber erreicht, wenn wir den Turgor selbst als Grundlage unserer Methode wählen.

Ich habe nun eine Reihe von Erscheinungen aus dem Gebiete des Turgors auf ihre Brauchbarkeit für meinen Zweck geprüft, und es zeigte sich, dass die erforderlichen Bedingungen in zwei Fällen in befriedigender Weise erfüllt waren. Es waren diese die Plasmolyse ausgewachsener Zellen und die Gewebespannung wachsender Organe. Auf diese beiden Erscheinungen liessen sich empfindliche und zuverlässige Methoden gründen, wie ich jetzt auseinandersetzen werde.

Beide Methoden sind physiologische, und vielleicht wird mancher Leser den Einwand machen, dass rein physikalische Eigenschaften der Körper, wie die isotonischen Coëfficienten, auch nach physikalischen Methoden zu erforschen wären. Ich gebe dieses gerne zu, muss aber sogleich hervorheben, dass physiologische Methoden, wenigstens in diesem Falle, mit den besten physikalischen Methoden in Genauigkeit und Sicherheit der Ausführung wetteifern können. Ueberhaupt sind die lebenden Zellen so empfindlich und die Lebenserscheinungen so fein abgestuft, dass man sich nicht wundern darf, wenn mit physiologischen Methoden sogar schärfere und feinere Resultate erhalten werden als mit rein physikalischen. Ich brauche nur auf Engelmann's neueste Untersuchungen mittelst der Bacterien-Methode zu weisen, um die Berechtigung meiner Behauptung durch ein klares und allgemein bekanntes Beispiel zu sichern.

Nach diesen Auseinandersetzungen können wir dazu übergehen, die Grunderscheinungen zu beschreiben, auf welche unsere Methoden zur Bestimmung der isotonischen Coëfficienten gegründet sind. Sie sind, wie bemerkt, der Plasmolyse und der Gewebespannung entlehnt.

Zunächst fassen wir die plasmolytische Methode in's Auge.

Die bahnbrechenden Arbeiten von Pringsheim und Nägeli haben vor nahezu dreissig Jahren in der Contraction des lebendigen Protoplasma von der Zellhaut unter dem Einfluss wasserentziehender, aber die Zellen nicht tödtender Flüssigkeiten eine Erscheinung kennen gelehrt, deren Bedeutung für die wichtigsten Abschnitte unserer Wissenschaft seitdem stetig zugenommen hat<sup>1)</sup>. Auf die breite von

---

1) N. Pringsheim, Untersuchungen über den Bau und die Bildung der Pflanzenzelle. 1854.

diesen Forschern gelegte Grundlage beruht unsere plasmolytische Methode, wie bereits der Name andeutet. Es war zumal Pringsheim, der die Anwendung von Salzlösungen und die Benutzung schwacher Concentrationen empfahl und die Nothwendigkeit betonte, nicht nur die fertige Erscheinung, sondern vorwiegend deren ersten Anfänge und deren allmähliges Fortschreiten zu studiren, während Nägeli sein Hauptaugenmerk auf die physikalischen Eigenschaften des contrahirten Protoplasma lenkte. Diese Principien sind es, von denen unsere Methode ausgeht; sie sucht die Plasmolyse in möglichst schwach concentrirten Lösungen, vorwiegend von Salzen, auf, und findet ihre Berechtigung in der von Nägeli hervorgehobenen Impermeabilität des Protoplasma.

Wird eine ausgewachsene Zelle in eine starke Salzlösung gebracht, so löst sich bekanntlich der lebendige Plasmaschlauch von der Zellhaut los, und zieht sich auf ein kleineres Volumen zusammen, indem der von ihm umschlossene Zellsaft Wasser an die umgebende Salzlösung abgibt. Je schwächer die eindringende Lösung, um so geringer ist diese Contraction oder die Plasmolyse. Es lässt sich nun leicht durch Ausprobiren verschieden concentrirter Lösungen bestimmen, welche die schwächste Lösung ist, welche noch gerade zur Abhebung des Protoplasten, sei es auch nur an einer einzigen Ecke, genügt.

Diese Concentrationsgrenze kann man nun für verschiedene Körper ermitteln, z. B. für Kalisalpeter und eine beliebige andere Verbindung, und, wie ich sogleich zeigen werde, ergibt es sich dann aus einer einfachen Ueberlegung, dass diese beiden Stoffe in jenen Concentrationen genau mit der gleichen Kraft Wasser an-

C. Nägeli, Primordialschlauch und Diosmose (Endosmose und Exosmose) der Pflanzenzelle. In den Pflanzenphysiol. Unters. von C. Nägeli und C. Cramer, Heft I, 1855.

Ueber Turgescenz, sowie über osmotische und plasmolytische Erscheinungen vergleiche man ausserdem:

Dutrochet: Mémoires pour servir à l'histoire des végétaux et des animaux. 1837.

J. Sachs, Mechanik des Wachsens, im Lehrbuch der Botanik, 3. u. 4. Aufl.

W. Pfeffer, Osmotische Untersuchungen, Studien zur Zellmechanik, 1877.

de Vries, Die mechanischen Ursachen der Zellstreckung, 1877.

und ferner die in diesen Abhandlungen citirte Literatur.

ziehen. Solche Concentrationen sind also nach unserer Definition (S. 430) als isotonische zu bezeichnen.

Dass nun diese Lösungen dieselbe Affinität zu Wasser besitzen, ergibt sich aus einer genauen Betrachtung der plasmolytischen Grunderscheinung. Der Protoplast bildet eine allseitig geschlossene Blase, welche den Zellsaft umschliesst, und ist bekanntlich sowohl für die verschiedenen in jenem Saft gelösten Körper als auch für künstliche, von aussen einwirkende Substanzen, so lange diese unschädlich sind, impermeabel. Dagegen lässt er Wasser mit grosser Leichtigkeit durch sich hindurchgehen, und es stellt sich also sehr bald ein Gleichgewichtszustand ein, in welchem die innere und die äussere Lösung das Wasser mit derselben Kraft anziehen. Je mehr Flüssigkeit der inneren Lösung entzogen werden muss, bevor dieser Zustand erreicht ist, um so geringer wird ihr Volumen, um so höher ihre Concentration. In einer plasmolysirten Zelle übt also der Zellsaft dieselbe Anziehung zu Wasser aus, wie die Lösung, in der sie liegt, wenn man wenigstens von der geringen Differenz absieht, welche der Druck des elastisch gespannten Protoplasten auf den Zellsaft ausübt, und welcher also zu der Affinität der äusseren Lösung addirt werden müsste, um völlige Gleichheit zu erlangen.

Jetzt denke man sich zwei einander in jeder Beziehung gleiche Zellen, welche durch Lösungen verschiedener Salze plasmolysirt sind. Es sei die Concentration der letzteren derart gewählt, dass in beiden die Plasmolyse genau den gleichen Grad erreicht hat. Die Concentration und das Volumen der Zellsäfte werden also in beiden Zellen einander gleich sein, also auch die Affinität dieser Säfte zu Wasser. Ebenfalls wird die elastische Spannung der beiden Protoplaste dieselbe sein. Daraus geht hervor, dass die beiden äusseren Lösungen, welche mit der Affinität der Zellsäfte zu Wasser und der elastischen Spannung des Protoplasten in beiden Zellen Gleichgewicht machen, gleichfalls beide mit derselben Kraft Wasser anziehen und dass ihre Concentrationen also isotonische sind.

Ob in zwei Zellen die Plasmolyse denselben Grad erreicht hat, lässt sich aber um so genauer beurtheilen, je geringer die Ablösung von der Zellhaut ist, und am leichtesten, wenn in beiden Zellen nur eine gerade wahrnehmbare Spur von Contraction stattgefunden hat. Aus diesem Grunde wird man in den Versuchen stets die

schwächsten Concentrationen aufsuchen, welche gerade noch Plasmolyse hervorrufen.

Aus den isotonischen Concentrationen lassen sich nun ohne Weiteres die isotonischen Coëfficienten auf die in der Einleitung besprochenen Weise berechnen. Man geht dabei von der Voraussetzung aus, dass die Affinität für Wasser in verdünnten Lösungen, innerhalb der Grenzen unserer Versuche, der Concentration der Lösung proportional, oder mit anderen Worten, für jedes einzelne Molecül von dieser Concentration unabhängig ist. Die Richtigkeit dieser Voraussetzung aber werden wir im folgenden Abschnitt § 4 experimentell beweisen.<sup>1)</sup>

Hiermit ist das Princip der plasmolytischen Methode angegeben, die Details der Ausführung wolle man im nächsten Abschnitt vergleichen.

Die Methode der Gewebespannung geht von der folgenden Thatsache aus. Spaltet man den wachsenden Gipfel eines Sprosses der Länge nach in vier möglichst gleiche Theile, so krümmen sich diese augenblicklich, indem das Mark sich verlängert und die Epidermis sich zusammenzieht<sup>2)</sup>. Legt man nun einen Streifen in Wasser, so nimmt das Mark dieses rasch auf, die Krümmungen nehmen zu und das Ganze rollt sich häufig zu einer enggewundenen Spirale zusammen. Legt man einen zweiten Streifen in eine starke Salzlösung, so entzieht diese dem Marke einen Theil seines Wassers, der Streifen wird schlaff und verliert seine Krümmung. Zwischen diesen beiden Extremen lässt sich nun eine Concentration ermitteln, in der die Krümmung der Streifen weder zu- noch abnimmt, die Zellen des Markes also weder Wasser aufnehmen noch auch solches verlieren. In dieser Concentration zieht also die Salzlösung mit derselben Kraft Wasser an sich wie das lebendige Markgewebe. Die Wasser anziehende Kraft des turgescen ten Gewebes ist nun zwar nicht dieselbe wie die des in seinen Zellen enthaltenen Zellsaftes, sondern um so viel geringer als der elastischen Spannkraft der Protoplaste und der Zellhäute entspricht; jedoch hat dieses auf unsere Erörterung keinen Einfluss.

---

1) Für manche concentrirte Lösungen gilt diese Regel erfahrungsgemäss nicht.

2) Sachs, Lehrbuch der Botanik, 4. Aufl., S. 764 ff.

Hat man nun für zwei verschiedene Salze die Concentrationen ermittelt, in denen die Kreuzstreifen desselben Sprosses weder an Krümmung gewinnen noch verlieren, so sind diese offenbar isotonische Concentrationen, und ist das eine Salz Kalisalpeter, so lässt sich aus ihnen der isotonische Coëfficient des anderen Körpers in der früher besprochenen Weise ableiten. Die Details der Methode findet man im dritten Abschnitt, § 1.

Beide Methoden führen, wie sich erwarten liess, und wie man in den folgenden Abschnitten sehen wird, in der Hauptsache zu denselben Resultaten. Es beweist dieses experimentell, dass unsere Coëfficienten für die Lebenserscheinungen wachsender und ausgewachsener Zellen dieselben sind, und also auf beide Fälle angewandt werden dürfen. Man vergleiche hierüber auch den zweiten Abschnitt, § 5.

Vergleicht man die beiden Methoden mit einander, so haben beide ihre Vortheile, aber auch ihre Nachtheile. Bei der zweiten Methode häuft sich die Wirkung zahlloser Zellen in jedem Streifen von selbst; bei der Plasmolyse beobachtet man immer die einzelnen Zellen und nur, wenn die verschiedenen Zellen desselben Gewebes sehr genau dieselbe Turgurkraft besitzen, lässt sich mit Sicherheit eine Mittelzahl bestimmen. Dagegen ist die Haut der ausgewachsenen Zellen, falls sie überhaupt für die erstere Methode brauchbar sind, starr, und es ändert sich das Volumen der Zelle selbst in der Salzlösung nicht; die Elasticität der Zellhaut, welche bei der zweiten Methode immer mit im Spiele ist, ist hier also völlig ausgeschlossen, die Grunderscheinung also eine viel einfachere. Dazu kommt, dass die Kreuzstreifen aus ungleichnamigen, zum Theil activen, zum Theil passiven Geweben zusammengesetzt sind, was die Erscheinung selbstverständlich erheblich complicirt.

Bei der Beurtheilung beider Methoden spielt aber die Dauer der Versuche eine Hauptrolle. In der plasmolytischen Methode muss das Eintreten des Gleichgewichtszustandes abgewartet werden, in der anderen Methode aber braucht der Aufenthalt in den Lösungen nur gerade so lange zu dauern, bis mit Sicherheit zu entscheiden ist, ob der Streifen sich auf- oder abrollt, wozu meist wenige Minuten genügen. Aus später zu erwähnenden Gründen ist es nutzlos, die Versuche nach dieser Entscheidung noch weiter fortzusetzen, und es

leuchtet ein, dass dieselbe also getroffen wird, lange bevor das Gleichgewicht zwischen inneren und äusseren Lösungen eingetreten sein kann. Dadurch aber übt die Diffusionsgeschwindigkeit der gelösten Stoffe, d. h. die Geschwindigkeit, mit der sie in das Markgewebe eindringen, einen nicht zu vernachlässigenden Einfluss auf das Resultat aus, demzufolge eigentlich nur für Stoffe, welche annähernd mit derselben Schnelligkeit eindringen wie Kalisalpeter, vollkommen genaue Resultate erhalten werden. Langsam diffundirende Lösungen können am Ende des Versuches im Markgewebe noch nicht dieselbe Concentration erreicht haben, welche sie ausserhalb besitzen, und üben also eine etwas zu schwache Wirkung aus; ihre Affinität zu Wasser wird demnach etwas zu niedrig gefunden. Glücklicherweise ist diese Fehlerquelle nun für eine relativ kleine Anzahl von Verbindungen von wirklichem Einfluss, und für diese Fälle ist die plasmolytische Methode, bei der dieser Fehler selbstverständlich ausgeschlossen ist, unbedingt vorzuziehen.

Das Material für die Methode der Gewebespannung, kräftig wachsende Sprossgipfel, ist nur im Frühjahr und im Hochsommer in genügender Menge zu haben, während die andere Methode in jeder Jahreszeit angewandt werden kann. Endlich ist die erstere auf das Studium neutraler Lösungen beschränkt, indem saure Flüssigkeiten die Protoplaste der wachsenden Zellen viel zu rasch verändern. Die plasmolytische Methode lässt aber, bei geeigneter Wahl der zu plasmolysirenden Zellen, auch die Untersuchung schwacher Säuren und saurer Salze zu.

Aus allen diesen Gründen empfehle ich für spätere Untersuchungen hauptsächlich die plasmolytische Methode als Mittel zur Bestimmung isotonischer Coëfficienten; sie führt immer leicht und sicher zum Zweck und ihre Resultate sind bei genügender Reinheit der Lösungen so genaue, wie man sie zu theoretischen Folgerungen nur wünschen darf.

Zur richtigen Beurtheilung meiner Arbeit möchte ich an dieser Stelle Einiges über den historischen Gang meiner Untersuchung einschalten. Die Ausbildung der plasmolytischen Methode, welche jetzt äusserst einfach ist, ist anfangs auf zahllose Schwierigkeiten gestossen, und es schien mir längere Zeit unmöglich, ihr eine hinreichende Genauigkeit zu geben. Unter diesen Umständen habe ich die

Methode der Gewebespannung versucht, und mit ihr die isotonischen Coëfficienten der wichtigsten Stoffe aus dem Zellenleben ermittelt. Später trat dann die Nothwendigkeit doch an mich heran, die Zahlen auch auf plasmolytischem Wege bestimmen zu können und es gelang mir endlich, die Schwierigkeiten zu beseitigen. Von den verschiedenen denkbaren Formen plasmolytischer Methoden, welche ich ausprobirt habe, bevor mir die Anwendung der sogenannten vergleichenden Methode gelang, hat mich eine zu einigen später zu beschreibenden Resultaten geführt. Diese wird im zweiten Abschnitt, § 3, als Transport-Methode beschrieben werden, ist aber jetzt, nachdem die vergleichende plasmolytische Methode ausgebildet wurde, wegen ihrer sehr unbequemen Ausführung gänzlich bei Seite gestellt.

Dieser historische Gang hat auch in anderer Richtung Einfluss auf meine Versuche ausgeübt. Während der Bestimmungen nach der Methode der Gewebespannung hatte ich noch keinen Grund, zu erwarten, dass die isotonischen Coëfficienten alle in einem so einfachen Verhältnisse zu einander stehen würden; ich bestimmte also nur die Salpeterwerthe für Lösungen gleicher Stärke und zwar diese, wie meine Lösungen dargestellt waren, nach Aequivalenten. Erst, als dieser Theil meiner Arbeit völlig abgeschlossen war, lernte ich die Resultate nach Molecülen berechnen, und die einfache Anordnung der Stoffe nach steigenden isotonischen Coëfficienten führte mich dann zur Erkennung der Gruppen und der zwischen diesen herrschenden Verhältnisse (vergl. S. 428). Diese Erkennung tauchte zuerst in der Form verschiedener Hypothesen auf, und zur Entscheidung über ihre Richtigkeit führte ich dann im Winter nach der plasmolytischen Methode eine Reihe weiterer Bestimmungen aus.

Nachdem einmal das Gesetz der isotonischen Coëfficienten, wenn auch nur hypothetisch, gefunden war, liess sich für jeden zu studirenden Körper im Voraus der isotonische Coëfficient bestimmen und daraus berechnen, welche Concentration zur Plasmolyse in jedem einzelnen Fall erforderlich sein würde. Bei meinen früheren Bestimmungen hatte ich dieses immer durch Vorversuche feststellen müssen, seitdem habe ich solche fast nie wieder angestellt, sondern immer die Lösungen nach der Rechnung direct für die Hauptversuche bereitet. Dass der Erfolg mich dabei niemals täuschte, gab

mir allmählig die Gewissheit, dass die Gesetze der isotonischen Coëfficienten innerhalb der Grenzen meiner Studien, auch für noch nicht studirte Verbindungen volle Gültigkeit haben. Und dass die ohne ihre Kenntniss nach der Methode der Gewebespannung ermittelten Zahlen die Gesetze an und für sich in allen Einzelheiten deutlich erkennen lassen, giebt mir die feste Ueberzeugung, dass sie in ihrem vollen Umfange als rein empirische Gesetze gelten dürfen.

---

## Abschnitt II.

### **Bestimmung der isotonischen Coëfficienten nach der plasmolytischen Methode.**

#### **§ 1. Beschreibung der vergleichenden plasmolytischen Methode.**

Lösungen verschiedener Salze, deren Concentration noch gerade hinreicht, um das Protoplasma in den Zellen desselben Gewebes von der Zellhaut an einer kleinen Stelle abzuheben, in diesen Zellen also den geringsten Grad der Plasmolyse hervorzurufen, ziehen das Wasser mit derselben Kraft aus diesen Zellen an und haben demnach die gleiche Affinität zu Wasser. Auf diesen Satz beruht die Anwendung der plasmolytischen Methode zur Bestimmung der isotonischen Coëfficienten; seine Berechtigung habe ich im vorigen Abschnitt dargethan.

Bei der Ausführung der Versuche kommt es also darauf an, jedesmal mit demselben Gewebe jene Concentrationsgrenze für Kalisalpeter und für den zu studirenden Körper zu bestimmen; das Verhältniss dieser beiden Zahlen ist gleich dem Verhältnisse der isotonischen Coëfficienten der beiden Körper, vorausgesetzt, dass die Concentrationen in Moleculen ausgedrückt waren.

Reine Lösungen vorausgesetzt, hängt nun die Zuverlässigkeit, und die erreichbare Genauigkeit dieser Methode vorwiegend, ja fast ausschliesslich von der richtigen Wahl des zur Plasmolyse bestimm-

ten Gewebes ab, und wir wollen also jetzt die Anforderungen kennen lernen, welche an ein solches zu stellen sind.

Die erste Bedingung ist, dass die geringsten Spuren von Plasmolyse leicht und sicher wahrnehmbar sind. Die Durchmusterung von Präparaten, welche mehrere Hundert Zellen enthalten, führt nur bei relativ schwacher (100—200maliger) Vergrößerung zu einem raschen Ueberblick und zur sicheren Beurtheilung des Grades der Plasmolyse in der ganzen Ausdehnung des Präparates. Es muss also bei dieser Vergrößerung in jeder Zelle auf dem ersten Blick zu entscheiden sein, ob ihr Protoplast allseitig der Zellhaut anliegt oder an einer kleinen Stelle sich losgelöst hat. Dieses gestatten in vollständiger Weise, so weit mir bekannt, nur Oberhäute, und unter diesen nur solche mit gefärbtem Zellsaft. In Oberhautszellen kann die Plasmolyse aber hauptsächlich unter zwei verschiedenen Formen anfangen. In dem einen Falle hebt sich der Protoplast zuerst an den Ecken resp. an einer Ecke ab, in dem anderen Falle zunächst auf die Fläche der die Oberhaut nach aussen begrenzenden oder der an das innere Gewebe angrenzenden Wand. Welcher Fall eintreten wird, hängt zum Theil von der Natur der Zellen ab, zum Theil aber von der Art und Weise, wie die Salzlösung eindringt. Präparate, welche parallel mit der Oberfläche des Organes geschnitten sind, werden im ersteren Fall die geringste Spur von Plasmolyse sogleich unter dem Mikroskop verrathen, im letzteren aber nur bei sehr genauer Betrachtung mit scharfer Vergrößerung als plasmolytisch erkannt werden können. Gewebe, welche regelmässig oder auch nur häufig diese letztere Form der Contraction aufweisen, sind also für unsere Methode einfach unbrauchbar.

Findet die erste Ablösung der Protoplaste an einer Ecke der Zelle statt, so sieht man hier das Protoplasma als eine äusserst feine scharfe Linie zwischen dem Zellsaft und der eingedrungenen Salzlösung. Sind beide farblos, so entzieht sich diese Linie der Beobachtung nur zu leicht, ist dagegen der Zellsaft gefärbt, so fällt die schroffe Grenze zwischen der dunklen Farbe dieses Saftes und der farblosen Salzlösung sogleich auf, und es wird die Beobachtung der geringsten Spuren von Plasmolyse zu einer sehr leichten und sicheren Operation.

Eine zweite Bedingung ist, dass die sämtlichen Zellen des

betreffenden Gewebes in Lösungen desselben Salzes bei genau derselben Concentration in den plasmolytischen Zustand übergehen. In zahlreichen Oberhäuten ist die zur Ablösung des Protoplasten erforderliche Stärke der Lösung in den einzelnen Zellen sehr verschieden, wie man deutlich erkennt, wenn man zahlreiche Präparate in Lösungen desselben Salzes, aber verschiedener, z. B. jedesmal um 0.01 Aeq. höherer Concentration bringt. Der Uebergang ist dann kein plötzlicher, sondern nur ein allmähiger und es liegen zwischen den schwachen Lösungen, welche in keiner Zelle, und den stärkeren, welche in allen Zellen Plasmolyse hervorrufen, eine Reihe solcher, in der nur ein grösserer oder geringerer Theil der Zellen plasmolysirt ist. In diesen Fällen Mittelzahlen zu schätzen, lässt sich nicht mit hinreichender Genauigkeit ausführen; ich fordere deshalb einen solchen Grad der Gleichheit, dass völliger Uebergang sämtlicher Zellen in den plasmolytischen Zustand bei einem Concentrationsunterschiede von 0.01 bis 0.02 Aeq. Kalisalpeter mit Sicherheit erwartet werden darf. Freilich wird hierdurch die Wahl des Materials in sehr erheblicher Weise beschränkt.

Es ist selbstverständlich, dass sämtliche zu einem Versuche zu verwendenden Präparate nicht nur von derselben Pflanze, sondern von demselben Organ und in unmittelbarer Nähe von einander geschnitten werden. Es werden dadurch individuelle Unterschiede, welche zwischen verschiedenen Exemplaren und zwischen Organen ungleichen Alters erfahrungsmässig häufig obwalten, völlig ausgeschlossen. Hieraus geht aber die Bedingung hervor, dass die Organe hinreichend gross sein müssen, um jedesmal die erforderliche Anzahl von Präparaten zu liefern.

Endlich sind nur Oberhäute mit grossen Zellen zum bequemen Studium geeignet.

Diesen Anforderungen genügen von den Pflanzen, die ich bis jetzt untersuchen konnte, die folgenden, und zwar der Reihe nach in abnehmendem Maasse:

1. *Curcuma rubricaulis*, die Epidermis auf der Aussen-  
seite der erwachsenen Blattscheide der dunkelrothen Form dieser Pflanze.

2. *Tradescantia discolor*, die violetten Zellen der unter-

seitigen Epidermis der Blätter, und zwar nur die Zellen auf und unmittelbar neben dem Mittelnerven.

3. *Begonia manicata*, die rothen Oberhautszellen der oberen ringförmigen Schuppen der Blattstiele, in der Nähe der Spreite, und die rothen Flecke in der Oberhaut der ganzen Blattstiele, welche um die Basis der Schuppen herum liegen. Aber nur die am stärksten gefärbten Exemplare dieser Art boten mir ein befriedigendes Material.

Die *Begonia manicata* liefert bei weitem nicht so sichere und so genaue Resultate, wie die beiden anderen Arten, nicht selten kommt es vor, dass eine erhebliche Zahl der mit ihr angestellten Versuche sich bei der Inspection der Präparate als unbrauchbar erweisen. Sie ist aber unerlässlich, wenn es sich um das Studium von Säuren und sauren Salzen handelt.

Diese zur Aufsuchung der schwächsten plasmolysirenden Concentration oder der „plasmolytischen Grenzlösung“ bestimmten Pflanzen werde ich Indicatorpflanzen nennen, wie man bei der Titrimethode die zur Erkennung der Neutralitätsgrenze angewandten Farbstoffe Indicatoren nennt. Bei jedem Versuche ist die zur Anwendung gekommene Indicatorpflanze anzugeben. Ueber die Wahl und die Beurtheilung der Präparate möchte ich hier aber noch einige für sämtliche Versuche geltende Détails vorausschicken.

1. *Curcuma rubricaulis*. Die langen steifen Scheiden der Wurzelblätter umfassen die unteren Theile der jüngeren Blätter und verhüllen diese. Nur die älteren Blätter dienen zu meinen Versuchen, welche fast alle im Winter ausgeführt wurden. Die Scheiden sind der Länge nach von zahlreichen dünnen geraden Nerven durchzogen, auf welchen die Oberhautszellen eine mehr gestreckte Form haben als zwischen ihnen. Die mikroskopischen Präparate sind dadurch in eine grössere oder kleinere Anzahl von Fächern getheilt, welche die Durchmusterung des Ganzen in sehr wesentlicher Weise erleichtern, indem man die einzelnen Abtheilungen nach einander der Länge nach durchgehen kann. Die plasmolytische Grenzlösung ist für die Oberhautszellen der Nerven etwas schwächer als für die zwischenliegenden; erstere werden aus diesem Grunde von der Beobachtung ausgeschlossen. Die Zellen selbst sind länglich viereckig oder sechseckig, etwa 0.035 – 0.045 mm lang, die Plasmol-

lyse fängt in ihnen fast stets an einem der beiden Enden an, und die plasmolytische Grenzlösung ist stets für fast sämtliche Zellen eines Präparates (mit Ausnahme der Oberhautzellen der Nerven) bis auf 0.01 Aeq. Kalisalpeter dieselbe. Nur selten kommt es vor, dass die Grenzlösung nicht mit dieser Schärfe indicirt ist; solche Versuche sind als misslungen zu betrachten.

Da, wie wir später sehen werden, für jeden einzelnen Versuch in der Regel zwölf vergleichbare Präparate erforderlich sind, von denen sechs in die Salpeterlösungen und die sechs anderen in die Lösungen des zu studirenden Salzes gebracht werden, so hat man bei dem Anfertigen der Schnitte sehr auf ihre Vergleichbarkeit zu achten. In erster Linie müssen diese so nahe an einander wie möglich aus dem Blatte geschnitten werden, da die plasmolytische Grenzlösung an verschiedenen Stellen desselben Blattes geringe Differenzen (von etwa 0.01—0.03 Aeq.  $\text{KNO}_3$ ) zeigt. Zu diesem Zwecke zeichne ich auf die Oberfläche der Blattscheide, mit feinem Bleistift oder mit dem Messer, ein längliches Viereck, und theile dieses der Länge nach in zwei und der Quere nach in sechs Theile. Es entstehen zwölf Abtheilungen von gleicher Grösse, welche ich etwa zu 1 qmm wähle; jede Abtheilung liefert, mit dem Rasirmesser vom unterliegenden Gewebe isolirt, ein Präparat. Die sechs Präparate des einen Längsfaches kommen in die Salpeterlösungen, die des anderen in die anderen Lösungen, die der Blattspitze am nächsten liegenden in die schwächsten Lösungen und so der Reihe nach in Flüssigkeiten höherer Concentration. Sind die Concentrationen vorher derart berechnet, dass die sechs Lösungen des zu studirenden Körpers voraussichtlich isotonisch sind mit den sechs Salpeterlösungen, so kommen bei dieser Anordnung jedesmal zwei neben einander geschnittene Präparate in zwei isotonische Lösungen. In einzelnen Versuchen habe ich auch alle Präparate in einer Längsreihe geschnitten und sie der Reihe nach abwechselnd in die Salpeterlösungen und in die Lösungen des anderen Salzes gebracht, in einer Weise, welche ich bei der folgenden Art noch näher beschreiben werde.

2. *Tradescantia discolor*. Die längen schmalen Blätter dieser Pflanze zeigen auf der Unterseite meist einen deutlichen breiten Mittelnerven. Die Oberhautzellen auf diesem Nerven sind länglich sechseckig und etwa 0.15 mm lang, die auf der übrigen Blattfläche

sind gleichfalls sechseckig, aber isodiametrisch. In den letzteren ist die plasmolytische Grenzlösung in den einzelnen, neben einander liegenden Zellen sehr verschieden, und es kommt dazu häufig eine Abhebung des Protoplasten von der Innenwand, statt von den Ecken der Zellen. Aus beiden Gründen ist nur die Oberhaut auf und unmittelbar neben dem Mittelnerven für die vergleichende plasmolytische Methode brauchbar.

Die Mitte des Mittelnerven führt keine Stomata, die Zellen sind hier äusserst gleichmässig gebaut und haben sehr genau dieselbe plasmolytische Grenzlösung, d. h. die geringsten Spuren von Plasmolyse treten in allen bei genau derselben Concentration ein; die Genauigkeit ist fast ebenso gross wie bei *Curcuma*. Dasselbe gilt von den Zellenreihen neben dem Mittelnerven, nur dass hier Spaltöffnungen vorkommen. Dagegen sind die Zellen auf und neben der Mitte einander in diesen Beziehungen nicht gleich, und man muss also für jeden einzelnen Versuch entweder die eine oder die andere Art von Zellen wählen. Daraus folgt, dass sämtliche Präparate für einen Versuch in einer Längsreihe auf oder neben dem Mittelnerven geschnitten werden müssen. Durch feine Querschnitte in Entfernungen von 1—1½ mm werden nun zuerst die Grenzen der Präparate markirt, dann diese mit dem Rasirmesser vom übrigen Gewebe des Blattes getrennt. Der Reihe nach kommen sie nun abwechselnd in die Lösungen des Salpeters und der zu studirenden Verbindung, und zwar von oben nach unten in absteigender Folge der Concentrationen. Bei richtiger vorheriger Berechnung dieser letzteren gelangen also in Lösungen isotonischer Concentration stets Präparate, welche in unmittelbarer Nähe von einander dem Blatte entnommen sind.

Die plasmolytische Grenzlösung ist nicht überall auf dem Mittelnerven dieselbe, sie nimmt von oben nach unten stetig zu, in der Mitte am langsamsten, in der Nähe der Basis ziemlich rasch. Nach sehr zahlreichen Bestimmungen an je einem Blatte nimmt sie in der Mitte auf Entfernungen von 2—3 cm um etwa 0.01 bis 0.02 Aeq.  $\text{KNO}_3$  zu. Da nun die ganze Reihe der Präparate zu einem Versuch meist nur 1—2 cm lang ist, und, wie soeben dargethan, gewöhnlich nur einander nahe gelegene Präparate den Ausschlag geben, kann diese Fehlerquelle als unerheblich betrachtet werden, obgleich

sie den Werth der *Tradescantia* als Indicatorpflanze geringer macht als den der *Curcuma*.

*Tradescantia discolor* kann man aber zu jeder Jahreszeit haben, was von *Curcuma rubricaulis* leider nicht gilt.

Am Rande der Präparate beobachtet man häufig einzelne Zellen mit viel stärkerer Plasmolyse als alle übrigen aufweisen; solche Zellen sterben aus irgend einem Grunde ab und müssen von der Bestimmung der plasmolytischen Grenzconcentration durchaus ausgeschlossen werden. Je länger die Präparate in den Lösungen verweilen, um so grösser wird die Zahl solcher abweichender Zellen, um so stärker ihre Plasmolyse. Daher muss die Dauer dieses Aufenthalts, d. h. also des ganzen Versuches wo möglich auf die Zeit beschränkt werden, welche zum vollständigen Eindringen der Lösungen in alle Theile der Präparate erforderlich ist. Dazu genügen aber meist 1—2 Stunden und ich habe meine Versuche nur in besonderen Fällen länger als 4—6 Stunden dauern lassen. Dieselben Erscheinungen beobachtete ich, wenn auch in viel schwächerem Maasse, bei *Curcuma rubricaulis*.

3. *Begonia manicata*. Die Zellen von *Curcuma* und von *Tradescantia* eignen sich zur Ermittlung isotonischer Coëfficienten in allen den Fällen, wo man neutrale Verbindungen zu untersuchen hat. Freie Säuren und saure Salze ertragen beide nicht, wenn wenigstens die saure Reaction eine gewisse niedrige Grenze überschreitet. Von sauer reagirenden Substanzen habe ich mit *Tradescantia* keine, mit *Curcuma* nur eine Verbindung (einfach saures citronensaures Kalium,  $K_2HC_6H_5O_7$ ) mit Erfolg studiren können; überhaupt ist *Tradescantia* sauer reagirenden Flüssigkeiten gegenüber viel empfindlicher als *Curcuma*. Auch alkalische Reaction ertragen beide auf die Dauer nicht.

Es würden dadurch Säuren und saure Salze vollständig von meinen Untersuchungen ausgeschlossen worden sein, wenn ich nicht in *Begonia manicata*, nach vielfachem Suchen, eine Indicatorpflanze kennen gelernt hätte, welche wenigstens durch schwache Säuren während der Dauer meiner Versuche nicht gefährdet würde. Sie erträgt Säuren und saure Salze, welche schwächer sind als Oxalsäure, stundenlang ohne wirklichen Nachtheil für das Resultat meiner Versuche.

Für stärkere Säuren sowie für freie Alkalien habe ich bis jetzt noch keine Indicatorpflanze ausfindig machen können. Dadurch ist leider eine wichtige theoretische Seite unserer Frage meinen Forschungen entgangen; doch pflegen solche Substanzen glücklicherweise in den lebenden Zellen nicht vorzukommen, und die Kenntniss ihrer isotonischen Coëfficienten ist somit für die Analyse der Turgorkraft nicht erforderlich.

Die *Begonia manicata* bietet bei weitem nicht ein so reichliches und so gleichmässiges Material, wie *Curcuma* und *Tradescantia*, und ich habe sie deshalb nur ausnahmsweise zur Ermittlung der isotonischen Coëfficienten neutraler Verbindungen angewandt.

Während ihres Aufenthaltes in sauren Flüssigkeiten sterben die Protoplaste pflanzlicher Zellen allmähig <sup>1)</sup>, um so langsamer je schwächer und verdünnter die Säure ist. Bei stärkeren Säuren tritt der Tod so rasch ein, dass die Bestimmung der isotonischen Concentration völlig unmöglich wird, in schwächeren Säuren halten die Zellen der *Begonia* aber noch Stunden lang aus, nachdem die Plasmolyse in ihnen bereits eingetreten ist. Wird in dieser Zwischenzeit ein constanter Grad der Plasmolyse erreicht, so weisen die Versuche die isotonische Concentration in der üblichen Weise an und in solchen Fällen können die Bestimmungen also ausgeführt werden. Ist die saure Reaction aber eine so starke, dass sie direct schädlich ist, so wird ein solches Gleichgewicht nicht erreicht, die Protoplaste fahren stets fort, sich zu contrahiren und sich weiter von der Wand abzulösen. In solchen Fällen ist also eine Bestimmung der isotonischen Concentration nicht möglich oder doch sehr ungenau. Auch in schwachen Säuren und sauren Salzen findet später eine solche anhaltende Contraction statt, aber da diese bei *Begonia manicata* gewöhnlich erst 10—12 Stunden nach dem Anfange des Versuches anfängt, ist sie bei der üblichen Dauer der Experimente (2—4 Stunden) nicht zu befürchten. Controlbeobachtungen nach etwa 10 Stunden haben dann nöthigenfalls den Beweis zu liefern, dass jene Erscheinung während des Versuches noch nicht angefangen hatte. Bei *Curcuma* und zumal bei *Tradescantia* fängt jene stetige Contraction in sauren Lösungen fast stets gleich im Anfange des Ver-

---

1) Eingehende Mittheilungen über diese Erscheinung behalte ich mir für einen anderen Aufsatz vor.

suches an; dies ist einer der Gründe, weshalb diese Arten für das Studium saurer Substanzen, wie gesagt, nicht geeignet sind.

Am Rande der Präparate sterben einzelne Zellen gewöhnlich auffallend schnell, ihre Protoplaste contrahiren sich sehr stark; sie werden von den Beobachtungen stets ausgeschlossen.

Es erübrigt noch, die beiden brauchbaren Zellenformen der *Begonia manicata* gesondert zu beschreiben.

In der Nähe der Spreite sieht man rings um den Blattstiel einige dunkelrothe, am Rande feine Wimpern tragende, den Blattstiel umfassende Schuppen. Ihre Oberhaut besteht, mit Ausnahme des basalen und des an die Wimpern grenzenden Theiles, aus sehr gleichmässigen, länglich vier- bis sechseckigen Zellen mit tiefrothem Zellsaft. Nur dieser mittlere Theil der Oberhaut wird zur Herstellung der Präparate benutzt, welche nun der Reihe nach abwechselnd in Lösungen von Salpeter und einer anderen Verbindung, und von steigender Concentration gelangen, wie dieses bei den beiden vorigen Arten ausführlicher angegeben wurde.

Weiter nach unten trägt der Blattstiel schmalere kleinere Schuppen, um so kleiner und in um so grösserer Entfernung von einander, je näher man der Basis des Stieles kommt. Am Grunde eines jeden solchen Schuppens sind die Oberhautszellen des Stieles roth gefärbt, während zwischen diesen Flecken die Epidermis farblos ist. Diese rothen Flecken sind nun auf dem mittleren Theile des Stieles einander hinreihend gleich, d. h. haben nahezu dieselbe plasmolytische Grenzlösung und können also für unsere Methode Verwendung finden. In jedem einzelnen Fleck ist die Gleichheit der Zellen keine so grosse, indem die Grenzlösung mit zunehmender Entfernung von dem Schuppen sich ändert. Es werden aus diesem Grunde jedesmal die äusseren und inneren Zellen eines jeden Fleckens ausgeschlossen und zur grösseren Sicherheit in jede Lösung stets zwei oder drei Präparate gebracht. Es braucht nach diesen Bemerkungen wohl keine weitere Ausführung, dass die oberen Schuppen diesen Flecken als Indicatorgewebe weit vorzuziehen sind. Die einzelnen Präparate kommen wieder der Reihe nach, von oben nach unten, in die Lösungen, wie bei den anderen Arten beschrieben wurde.

Bei der Anwendung von *Begonia* als Indicatorpflanze habe ich es mir zur Regel gemacht, Mittelzahlen aus grösseren Ver-

suchsreihen zu fordern, als bei den meisten Versuchen mit *Curcuma* und *Tradescantia* nöthig war.

Ich möchte diesen Paragraphen nicht schliessen, ohne mein Bedauern darüber auszusprechen, dass es mir trotz vielfacher Bemühungen nicht gelungen ist, eine grössere Auswahl von Indicatorpflanzen ausfindig zu machen und namentlich eine solche zu entdecken, welche stärkere Säuren und freie Alkalien zu untersuchen gestattet. Hoffentlich werden Andere hierin glücklicher sein; ich habe in vier Jahren nur diese finden können.

## § 2. Versuche nach der vergleichenden plasmolytischen Methode.

Für diese Versuche habe ich mir kleine Gestelle anfertigen lassen, in denen je sechs kleine Glascylinder in einer Reihe aufgestellt werden konnten. Diese Cylinder waren etwa 1,5–2 cm weit und 10 cm hoch; ihr Volumen war 15–20 CC. In jedes Röhrchen brachte ich 10–15 CC einer Lösung, worauf es gewöhnlich mit einem Stopfen lose geschlossen wurde, um einer Concentrationsänderung durch Verdunstung vorzubeugen. In jede Lösung kam dann das dafür nach § 1 bestimmte Präparat; dieses wurde nicht vorher in Wasser gebracht oder sonst abgewaschen, denn das Volumen der Lösung genügte, um den Inhalt der durchschnittlichen Zellen, der sich selbstverständlich mit der Lösung mischte, völlig unschädlich zu machen.

Die Dauer des Aufenthaltes in den Lösungen war in der Regel zwei Stunden, wo nicht, so ist dieses bei den einzelnen Versuchen erwähnt. Die Temperatur war gewöhnlich 13–15° C.; die Versuche sind im Winter im geheizten Zimmer angestellt. Am Schlusse des Versuches wurden die Präparate mikroskopisch untersucht, wobei jedes unter Deckglas in der eigenen Lösung blieb.

Die schwächste zur Plasmolyse erforderliche Concentration wechselt nach den individuellen Blättern und nach der Lage des Präparates auf dem Blatte, überschritt aber in meinen Versuchen mit *Curcuma* und *Tradescantia* fast nie die Grenzen 0.10 und 0.16 Aeq. Kalisalpeter. Ich habe deshalb für jeden Versuch die sechs folgenden Lösungen von Kalisalpeter benutzt: 0.10, 0.11, 0.12, 0.13, 0.14, 0.15 Aeq., und diesen in seltenen Fällen 0.16 statt 0.10

zugefügt. Es war durch diese Anordnung eine vorherige Bestimmung der Grenzlösung des betreffenden Blattes überflüssig. Von dem zu untersuchenden Salze wurden gleichfalls sechs Lösungen verschiedener Concentration hergestellt und zwar zumeist derart, dass entweder alle sechs oder doch die beiden mittleren mit den correspondirenden Salpeterlösungen nach vorheriger Berechnung isotonisch waren. Die Berechnung ergibt sich leicht aus der S. 428 genannten Regel für die isotonischen Coëfficienten.

Die Erfahrung hat gelehrt, dass häufig ein einzelner Versuch zur Ermittlung des Coëfficienten ausreicht; jedoch habe ich deren gewöhnlich wenigstens zwei bis drei angestellt und aus diesen das Mittel genommen, weil ja kleine Versuchsfehler und geringe Unterschiede zwischen den einzelnen auf demselben Blatte neben einander geschnittenen Präparaten nicht immer völlig ausgeschlossen sind.

Die Lösungen habe ich nach Aequivalenten dargestellt, wie solches bei Anwendung der Titrimethode üblich ist. Es hat dies keinen Nachtheil, weil ja die Concentration nach Molecülen sich aus der nach Aequivalenten stets in so äusserst einfacher Weise berechnen lässt. Bereitung und Controle der Reinheit meiner Lösungen geschahen nach der Titrimethode; als Grundlage benutzte ich zehntelnormale Oxalsäure, zur Ausmessung von Säuren eine auf jene gestellte Lösung von Kalihydrat. Bei der Darstellung der Titirflüssigkeiten sowie bei der Ausführung der verschiedenen Operationen habe ich das vorzügliche Werk Mohr's „Lehrbuch der chemisch-analytischen Titrimethode“ befolgt.

Chemische Reinheit der Lösungen ist selbstverständlich durchaus erforderlich, um richtige Resultate zu erlangen. Ich habe dabei nach bekannten Vorschriften gearbeitet und werde deshalb bei jedem Körper nur kurz die Bereitungsweise anzuführen haben, und verweise im Uebrigen auf Mohr's citirtes Werk, auf Fresenius' „Anleitung zur quantitativen chemischen Analyse“ und auf Würtz' „Dictionnaire de Chimie“, denen ich meine Vorschriften entnommen habe.

Erklärung der Tabellen. Jede Tabelle besteht aus zwei Hälften, die linke enthält die Hauptversuche, die rechte die mit den correspondirenden Präparaten ausgeführten Controlversuche in den

Salpeterlösungen. Jede horizontale Zeile bezieht sich auf Einen Versuch; die verschiedenen Versuche sind zumeist an verschiedenen Tagen und fast immer mit verschiedenen Blättern der Indicatorpflanze angestellt. Von den jedesmal angewandten zwölf Lösungen führe ich nur jene an, welche die gesuchte Grenze umschliessen.

Im Kopfe der Tabellen sind die Namen der untersuchten Verbindungen und darunter die Concentrationen der einzelnen Lösungen nach Aequivalenten (für die Zuckerarten nach Molecülen) aufgeführt. In den correspondirenden Spalten bedeutet  $n$ , dass die Zellen am Ende des Versuches nicht plasmolysirt waren;  $hp$ , dass nahezu die Hälfte und  $p$ , dass sämmtliche oder nahezu sämmtliche Zellen in den plasmolytischen Zustand übergegangen waren. Versuche, in denen nicht leicht zwischen diesen drei Fällen zu unterscheiden war, sind stets von den Tabellen ausgeschlossen worden. In den I. C. überschriebenen Spalten findet man das Resultat jedes einzelnen Versuches, nämlich die schwächste zur Plasmolyse erforderliche Concentration als „Isotonische Concentration“ aus den daneben aufgeführten Beobachtungen abgeleitet. Das Verhältniss der isotonischen Concentration des Kalisalpeters zu der entsprechenden des verglichenen Körpers findet man in der letzten Spalte angegeben, jedoch so, dass hier die Concentrationen nach Molecülen statt nach Aequivalenten gerechnet sind. Um dieses zu erreichen, brauchte man nur den Quotienten aus den in die I. C. überschriebenen Spalten eingetragenen Zahlen mit der Valenz der betreffenden Verbindung zu multiplizieren.

Nach dem in der Einleitung Gesagten ist es klar, dass diese „Verhältnisse“ die Salpeterwerthe solcher Lösungen vorstellen, welche im Liter Ein Molecül, in Grammen ausgedrückt, enthalten. Sie brauchen also nur mit dem isotonischen Coëfficienten des Salpeters (3) multiplicirt zu werden, um die Coëfficienten für die untersuchte Verbindung zu ergeben (S. 432). Ich habe nun aus sämmtlichen Versuchen zunächst den Mittelwerth dieses Verhältnisses abgeleitet und daraus den isotonischen Coëfficienten berechnet. Beide Zahlen finden sich unter jeder Tabelle angeführt.

Ich lasse jetzt erst die Versuche mit neutralen, und dann jene mit sauren Lösungen folgen und zwar in einer Reihenfolge, welche sich auf das S. 428 genannte Resultat bezieht.

## I. Rohrzucker.

$C_{12}H_{22}O_{11}$ . Molec. Gewicht 342.

Die Lösungen wurden aus reinem Kandiszucker durch Auflösen bestimmter Gewichtsmengen in Wasser hergestellt; sie enthielten im Liter so viele Mal 342 Gramm Zucker als über jede Spalte angegeben ist.

Der Kandiszucker enthielt pro Gramm weniger als 1 Milligramm Asche.

Als Indicatorpflanze diente in den beiden ersten Versuchen *Curcuma rubricaulis*, im letzten *Tradescantia discolor*. Versuch I dauerte 7 Stunden; Versuch II und III 4 Stunden, doch wurde nach 8 Stunden festgestellt, dass die Lage der gesuchten Concentration sich nicht verschoben hatte.

	Rohrzucker.				Kalisalpeter.				Verhältniss
	0.20	0.22	0.24	I. C.	0.12	0.13	0.14	I. C.	
I	n	hp	p	0.22	n	hp	p	0.13	0.591
II	n	p	p	0.21	n	p	p	0.125	0.595
III	n	p	p	0.21	n	hp	p	0.13	0.619

Im Mittel ist demnach für Rohrzucker:

Das Verhältniss zwischen den isotonischen

Concentrationen . . . . . 0.602.

Der isotonische Coëfficient . . . . . 1.81.

## II. Invertzucker.

Gemenge der isomeren Kohlenhydrate, Dextrose und Levulose,  $C_6H_{12}O_6$ . Molec. Gewicht 180.

Nach Sachsse, „Die Eiweisskörper, Kohlenhydrate und Farbstoffe, S. 194“, ist der reducirende Zucker der Pflanzen in allen gut untersuchten Fällen ein Gemenge gleicher Theile Dextrose und Levulose von derselben Natur, wie dasjenige, das bei der Inversion aus Rohrzucker entsteht. Es war aus diesem Grunde wichtig, von

den reducirenden Zuckerarten den Invertzucker zur Bestimmung des isotonischen Coëfficienten auszuwählen.

Reiner aschenfreier Kandiszucker wurde mit etwas Schwefelsäure im Wasserbade bei 50° C. während zwei Tage invertirt, und dann einige Tage bei 15–20° C. aufbewahrt. Aus der farblosen Flüssigkeit wurde die Schwefelsäure durch eine im Voraus berechnete Menge einer gesättigten Barytlösung niedergeschlagen und durch Filtration abgeschieden; die jetzt neutrale Lösung sammt den Waschwässern auf ein bestimmtes Volumen gebracht und der Gehalt an Invertzucker mit Fehling'scher Lösung bestimmt. Es zeigte sich, dass eine vollkommene Inversion stattgefunden hatte, da sämmtlicher benutzter Rohrzucker als Invertzucker zurückgefunden wurde. Aus der klaren aschenfreien 8procentigen Lösung wurden nun durch Verdünnung die erforderlichen Lösungen nach Molecülen hergestellt. Die zweite Horizontalzeile der Tabelle giebt also an, wie viel Mal 180 Gramm Zucker die Lösungen pro Liter enthielten.

Als Indicatorpflanze diente *Curcuma rubricaulis*. Versuchsdauer 4 Stunden.

	Invertzucker.						Kalisalpeter.					Verhältniss
	0.18	0.195	0.21	0.225	0.24	I. C.	0.12	0.13	0.14	0.15	I. C.	
I	—	n	n	hp	p	0.225	—	n	hp	p	0.14	0.622
II	n	hp	p	—	—	0.195	n	p	p	—	0.125	0.641
III	—	n	hp	p	p	0.21	n	hp	p	—	0.13	0.629

Im Mittel ist also für Invertzucker:

das Verhältniss zwischen den isotonischen

Concentrationen . . . . . 0.627.

der isotonische Coëfficient . . . . . 1.88.

### III—V. Essigsäures Kalium, Salpetersäures Natrium, Chlorammonium.

Essigsäures Kalium,  $KC_2H_3O_2$ . Molec. Gewicht 98.

Reines kohlenäures Kalium und Essigsäure wurden in äquivalenter Menge in Lösung vorsichtig mit einander gemischt, die Kohlen-

säure durch Erwärmen vertrieben und das Gemenge bis zu 0.2 Aeq. verdünnt. Aus dieser Flüssigkeit wurden durch weitere Verdünnungen Lösungen von 0.08 bis 0.15 Aeq. hergestellt und zu den Versuchen benutzt. Da die Lösungen von 0.12, 0.13 und 0.14 Aeq. die Grenze umschlossen, sind nur die mit diesen durchgeführten Versuche in der Tabelle mitgeteilt worden.

Salpetersaures Natrium,  $\text{NaNO}_3$ . Molec. Gewicht 85.

Für jede Lösung wurden die Krystalle in einer abgewogenen Menge in Wasser gelöst.

Chlorammonium,  $\text{NH}_4\text{Cl}$ . Molec. Gew. 53,5.

Das Salz enthielt weder K noch Na und zeigte in bestimmter Menge in Wasser gelöst und mit zehntelnormaler Silberlösung titirt, den richtigen Gehalt von Cl. Es wurde zu jeder Lösung besonders aufgelöst.

Als Indicatorpflanzen dienten zu den Versuchen I, II und III *Curcuma rubricaulis*, zu IV und V *Begonia manicata* und zwar zu IV die Oberhaut der obersten Blattstielschuppen, zu V die rothen Flecke des Blattstieles selbst. Versuchsdauer für I 3 Stunden, für II 4 Stunden und für III—V  $2\frac{1}{2}$  Stunden.

		Kalisalpeter.								Verhältniss
		0.12	0.13	0.14	I. C.	0.12	0.13	0.14	I. C.	
Essigsäures Kalium . .	I	n	hp	p	0.13	n	hp	p	0.13	1.0
Salpetersaures Natrium	II	n	hp	p	0.13	n	hp	p	0.13	1.0
Chlorammonium . . . .	III	n	hp	p	0.13	n	hp	p	0.13	1.0
- . . . .	IV	n	n	p	0.135	n	n	p	0.135	1.0
- . . . .	V	n	hp	p	0.13	n	hp	p	0.13	1.0

Für diese Salze ist also das Verhältniss zwischen den isotonischen Concentrationen 1.0 und der isotonische Coëfficient somit 3.0.

## VI. Citronensaures Kalium.

$K_3 C_6 H_5 O_7$ . Aequivalentzahl 102. Molecular-Gewicht 306.

Die Lösung wurde durch vorsichtiges Mischen äquivalenter Mengen von reiner krystallisirter Citronensäure und von reinem kohlensaurem Kalium und Entfernung der Kohlensäure durch Erwärmung dargestellt. Die Citronensäure hinterliess beim Glühen im Platintiegel pro Gramm 1 Milligr. Asche. Ein Aequivalent der Säure in Milligrammen ausgedrückt (0.07 Gramm) erforderten zur Neutralisation genau 10.0 CC. einer zehntelnormalen Kalilösung; ebenso erforderte ein Aequivalent kohlensauren Kaliums, in Milligrammen ausgedrückt (0.069 Gramm), genau 10.0 einer zehntelnormalen Oxalsäure-Lösung. Zur Herstellung der neutralen Lösung wurden die Säure und das kohlensaure Salz in äquivalenten Mengen abgewogen und in Lösung vorsichtig gemischt, damit durch Spritzen kein Verlust entstehe.

Als Indicatorpflanze diente zu den Versuchen I—IV *Curcuma rubricaulis*, zu V und VI die Oberhaut der Blattstielschuppen und zu VII die rothen Flecke in der Oberhaut eines Blattstieles von *Begonia manicata*. Versuchsdauer 4—4½ Stunden.

	Citronensaures Kalium.					Kalisalpeter.					Verhältniss × 3	
	0.20	0.22	0.24	0.26	I. C.	0.11	0.12	0.13	0.14	0.15		I. C.
I	—	n	hp	p	0.24	—	n	hp	hp	p	0.135	1.675
II	—	n	n	p	0.25	—	—	n	hp	p	0.14	1.680
III	n	n	p	p	0.23	—	n	hp	p	—	0.13	1.696
IV	n	hp	p	—	0.22	n	n	p	p	—	0.125	1.705
V	n	n	hp	p	0.24	n	n	hp	p	—	0.13	1.625
VI	—	n	n	p	0.25	—	—	n	n	p	0.145	1.740
VII	—	n	n	p	0.25	n	n	hp	p	—	0.13	1.560

Hieraus berechnet sich für das citronensaure Kalium:

das mittlere Verhältniss zwischen den isotonischen Concentrationen . . . . . 1,669.  
der isotonische Coëfficient . . . . . 5.01.

## VII. Aepfelsaures Magnesium.

Mg C<sub>4</sub> H<sub>4</sub> O<sub>5</sub>. Aequivalentzahl 78. Moleculair-Gewicht 156.

Das Salz wurde durch vorsichtiges Mischen einer Lösung von reiner weisser Aepfelsäure mit einer äquivalenten Menge gereinigten kohlen-sauren Magnesiums hergestellt; beim vorsichtigen Erwärmen löst es sich zu einer klaren Flüssigkeit auf. Die Aepfelsäure hinterliess beim Verbrennen im Platintiegel pro Gramm zwei Milligramm Asche und enthielt eine Spur von Citronensäure. Das kohlen-saure Magnesium war durch wiederholtes Auswaschen mit destillirtem Wasser von anhängenden, in Wasser löslichen Stoffen völlig befreit. Aus der durch vorsichtiges Erwärmen von Kohlensäure befreiten übersättigten Lösung des Aepfelsauren Magnesiums wurden dann durch Verdünnung die erforderlichen Lösungen hergestellt. Sofern auch diese übersättigt waren, hielten sie sich doch einige Tage.

Als Indicatorpflanze diente *Curcuma rubricaulis*.

Die Versuche dauerten 4—5 Stunden.

	Aepfelsaures Magnesium.						Kalisalpeter.					Verhältniss × 2
	0.36	0.39	0.42	0.45	0.48	I. C.	0.12	0.13	0.14	0.15	I. C.	
I	—	—	n	hp	p	0.45	—	n	hp	p	0.14	0.622
II	n	hp	p	—	—	0.39	n	p	p	—	0.125	0.641
III	n	n	p	p	—	0.405	n	p	p	—	0.125	0.622

Hieraus berechnet sich:

das mittlere Verhältniss zwischen den iso-  
tonischen Concentrationen . . . . . 0.628.  
der isotonische Coëfficient . . . . . 1.88.

## VIII. Schwefelsaures Magnesium.

MgSO<sub>4</sub>. Aequivalentzahl 60. Molec. Gewicht 120.

Krystalle MgSO<sub>4</sub> + 7 H<sub>2</sub>O. Molec. Gewicht 246.

Die Lösungen wurden aus dem reinen Salze durch jedesmaliges Auflösen einer bestimmten Menge in Wasser hergestellt.

Als Indicatorpflanze diente *Curcuma rubricaulis*; die Versuche

dauerten 4—5 Stunden; in den beiden ersteren Versuchen wurde nach weiteren fünf Stunden festgestellt, dass eine Verschiebung der isotonischen Concentration nicht stattgefunden hatte.

	Schwefelsaures Magnesium.						Kalialpeter.						Verhältniss × 2
	0.33	0.36	0.39	0.42	0.45	I. C.	0.11	0.12	0.13	0.14	0.15	I. C.	
I	n	n	hp	p	p	0.39	n	n	p	p	—	0.125	0.641
II	n	hp	p	p	—	0.36	n	hp	p	p	—	0.12	0.667
III	—	—	n	n	p	0.435	—	n	hp	hp	p	0.135	0.621
IV	—	—	n	hp	p	0.42	—	—	n	n	p	0.145	0.690

Hieraus berechnet sich für schwefelsaures Magnesium:  
das mittlere Verhältniss zwischen den isotonischen Concentrationen . . . . . 0.655.  
der isotonische Coëfficient . . . . . 1.96.

#### IX.—X. Chlorcalcium und Chlormagnesium.

Ca Cl<sub>2</sub>, Aequiv.-Zahl 55.5. Molec. Gewicht 111.

Mg Cl<sub>2</sub>, Aequiv.-Zahl 47.5. Molec. Gewicht 95.

Aus den reinen krystallisirten Salzen wurde mittelst zehntelnormaler Silberlösung eine Lösung von genau 0.5 Aeq. hergestellt, und aus dieser durch weitere Verdünnung die zu den Versuchen erforderlichen Lösungen.

Als Indicatorpflanzen dienten zu den Versuchen I und III Curcuma rubricaulis, zu II und IV Tradescantia discolor.

Versuchsdauer 4 Stunden.

		Chloride.					Kalisalpeter.					Verhältn. × 2		
		0.16	0.17	0.18	0.19	0.20	I. C.	0.11	0.12	0.13	0.14		0.15	I. C.
Ca Cl <sub>2</sub>	I	—	—	n	p	p	0.185	—	n	n	p	p	0.135	1.459
	II	n	n	p	p	—	0.175	n	n	p	p	p	0.125	1.429
Mg Cl <sub>2</sub>	III	—	n	hp	p	p	0.18	—	n	n	p	p	0.135	1.500
	IV	—	n	hp	p	p	0.18	n	n	p	p	p	0.125	1.389

Hieraus berechnet sich das Verhältniss zwischen den isotonischen Concentrationen, für CaCl<sub>2</sub> zu 1.444 und für MgCl<sub>2</sub> zu 1.444. Es sind also die isonischen Coëfficienten 4.33 resp. 4.33.

### XI. Citronensaures Magnesium.

Mg<sub>3</sub> (C<sub>6</sub> H<sub>5</sub> O<sub>7</sub>)<sub>2</sub>. Aequivalentzahl 75. Molec.-Gewicht 450.

Von der auch im folgenden Versuche benutzten Citronensäure wurde eine abgewogene Menge in Wasser vorsichtig mit einer aequivalenten Menge gewaschenen und getrockneten kohlensauren Magnesiums, dessen Wassergehalt vorher bestimmt war, gesättigt; nach der Auflösung wurde die Kohlensäure durch Erwärmen vertrieben und die Flüssigkeit auf ein bestimmtes Volumen gebracht. Aus dieser wurden durch Verdünnung die zu den Versuchen bestimmten Lösungen gemacht.

Indicatorpflanze *Curcuma rubricaulis*. Versuchsdauer 2 $\frac{1}{2}$  Stunden.

		Citronensaures Magnesium.				Kalisalpeter.				Verhältniss × 6
		0.495	0.54	0.585	0.63	I. C.	0.11	0.12	0.13	
I	—	n	hp	p	0.585	n	hp	p	0.12	1.231
II	n	n	p	p	0.5625	n	hp	p	0.12	1.280
III	n	hp	p	—	0.54	n	hp	p	0.12	1.333
IV	n	n	p	p	0.5625	n	n	p	0.125	1.333

Hieraus berechnet sich das mittlere Verhältniss zwischen den isotonischen Concentrationen zu 1,294, und der isotonische Coëfficient zu 3.88.

## XII. Citronensäure.

$C_6 H_8 O_7$ ''''. Aequivalentzahl 64. Molec.-Gewicht 192.

Krystalle  $C_6 H_8 O_7 + H_2O$ . Aequivalentzahl 70. Molec.-Gewicht 210.

Die krystallisirte Citronensäure hinterliess beim Glühen im Platintiegel pro Gramm 1 Milligr. Asche. Ein Aequivalent der Säure in Milligrammen ausgedrückt (0,07 Gramm) erforderte zur Neutralisation genau 10 CC einer zehntelnormalen Kalilösung. Jede Lösung wurde durch Auflösen der erforderlichen Gewichtsmenge in Wasser dargestellt.

Als Indicator dienten die Blattstiele von *Begonia manicata*, und zwar für Versuch I die Oberhaut der obersten Schuppen, für die übrigen Versuche die rothen Flecke in der Oberhaut der Blattstiele in der Nähe der Schuppen. In den beiden ersten Versuchen wurden die nämlichen Präparate zwei- resp. dreimal durchmustert, es zeigte sich dabei keine Verschiebung in der Grenze der Plasmolyse, woraus zu folgern ist, dass das Resultat nicht von der giftigen Wirkung der Säure beeinflusst wurde.

		Citronensäure.					Kalisalpeter.					Verhältniss × 3		
	Dauer inStd.	0.50	0.55	0.60	0.65	0.70	I. C.	0.12	0.13	0.14	0.15		0.16	I. C.
I	2	n	n	hp	p	—	0.60	n	hp	p	p	—	0.13	0.650
	5	n	n	hp	p	—	0.60	—	—	—	—	—	—	0.650
II	2	n	n	p	p	—	0.575	n	p	p	p	—	0.125	0.652
	5	n	n	p	—	—	0.575	—	—	—	—	—	—	0.652
	9	—	n	p	p	—	0.575	—	—	—	—	—	—	0.652
III	3	n	hp	hp	p	p	0.575	n	hp	hp	p	p	0.135	0.704
IV	2	—	—	n	hp	p	0.65	n	n	n	hp	p	0.15	0.692

Hieraus berechnet sich, wenn man von jedem Versuch nur eine Beobachtung verwendet, als Mittelzahl:

das Verhältniss zwischen den isotonischen

Concentrationen . . . . . 0.674.

der isotonische Coëfficient . . . . . 2.02.

## XIII. Weinsäure.

$C_4 H_6 O_6$ . Aequivalentzahl 75. Molec.-Gewicht 150.

Krystallisirt ohne Krystallwasser.

Die krystallisirte Säure hinterlies beim Verbrennen pro Gramm 1 Milligr. Asche; ein Aequivalent, in Milligrammen ausgedrückt (0.075 Gr.), erforderte zur Neutralisation genau 10 CC einer zehntelnormalen Kalilösung. Jede Lösung wurde durch Auflösen der erforderlichen Gewichtsmenge dargestellt.

Als Indicator diente *Begonia manicata*; für die Versuche I und II die rothen Flecke der Blattstieloberhaut, für III und IV die Oberhaut der obersten ringförmigen Schuppe des Blattstieles.

Die Versuche II und IV zeigen, dass in der 5. bis 9. Stunde des Versuches die Grenze keine Verschiebung erfährt, dass daher der nach zwei Stunden gefundene Werth zu niedrig ist; ich habe diesen deshalb von der Berechnung der Mittelzahl ausgeschlossen.

		Weinsäure.					Kalisalpeter.					Verhältniss × 2
	Dauer in Std.	0.35	0.40	0.45	0.50	I. C.	0.12	0.13	0.14	0.15	I. C.	
I	3	n	p	p	p	0.375	n	hp	hp	p	0.135	0.720
II	2	n	hp	p	p	0.40	—	—	—	—	—	0.625
	5	n	p	—	—	0.375	n	p	p	—	0.125	0.667
	9 <sup>1/2</sup>	n	p	—	—	0.375	—	—	—	—	—	0.667
III	3	—	n	hp	p	0.45	—	—	hp	p	0.14	0.622
IV	2	n	n	p	p	0.425	—	—	—	—	—	0.612
	5	n	p	—	—	0.375	n	hp	p	—	0.13	0.693
	9 <sup>1/2</sup>	n	p	—	—	0.375	—	—	—	—	—	0.693

Hieraus berechnet sich für Weinsäure, wenn man von jedem Versuch nur die letzte Beobachtung benutzt:

das Verhältniss zwischen den isotonischen

Concentrationen . . . . . 0.673.

der isotonische Coëfficient . . . . . 2.02



	Dauer in Stunden	Aepfelsäure.							Kalisalpeter.					Verhältn. + 2	Mittleres Verhältn. × 2	
		0.30	0.35	0.40	0.45	0.50	0.55	I. C.	0.12	0.13	0.14	0.15	0.16			I. C.
V	4 1/2	—	—	n	n	hp	p	0.50	—	n	n	hp	p	0.15	0.600	0.633
	9 1/3	—	n	n	hp	p	—	0.15	—	—	—	—	—	0.667		
VI	4 1/2	n	n	n	p	p	—	0.425	n	p	p	p	—	0.125	0.588	0.606
	9	n	n	hp	—	—	—	0.40	—	—	—	—	—	0.625		

Hieraus berechnet sich für Aepfelsäure:

das Verhältniss zwischen den isotonischen

Concentrationen . . . . . 0.660

der isotonische Coëfficient . . . . . 1.98.

### XV. Oxalsäure.

H<sub>2</sub> C<sub>2</sub> O<sub>4</sub>. Aequivalentzahl 45. Molec. Gewicht 90.

Krystalle C<sub>2</sub> H<sub>2</sub> O<sub>4</sub> + 2 H<sub>2</sub>O. Aequivalentzahl 63. Molec.-Gewicht 126.

Die Oxalsäure war frei von Kali, wie sie als Grundlage titrimetrischer Bestimmungen verwendet wird. Mit den rothen Zellen der obersten Schuppen der Blattstiele von *Begonia manicata* wurden einige Bestimmungen des isotonischen Coëfficienten in der üblichen Weise vorgenommen, der Versuch aber wegen der schädlichen Wirkung der Säure bald unterbrochen. Die erhaltenen Zahlen schwankten, als ich jugendliche, sehr kräftige, nicht völlig ausgewachsene Blätter im Sommer benutzte, zwischen 2.09 und 2.33, und ergaben im Mittel 2.25. Da diese Zahlen wegen der erwähnten giftigen Wirkung etwas zu gross ausfallen mussten, so kann als Resultat dieses Versuches wenigstens so viel als feststehend betrachtet werden, dass der isotonische Coëfficient für Oxalsäure nahezu derselbe ist als der für die drei anderen organischen Säuren. Da den Versuchen aber aus jenem Grunde die erforderliche Genauigkeit abgeht, führe ich sie nicht weiter an.

## XVI. Doppeltsaures citronensaures Kalium.

$\text{KH}_2\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7$ . Aequivalentzahl  $\frac{1}{3} \times 230$ . Molec.-Gewicht 230.

Reine Citronensäure wurde mit  $\frac{1}{3}$  Aequivalent kohlen-saurem Kali vorsichtig gemischt, die Kohlensäure durch Erwärmen vertrieben, die Mischung auf einen Gehalt von 1 Aeq. der Säure verdünnt, und aus dieser Lösung durch weitere Verdünnung die für die Versuche zu verwendenden Flüssigkeiten bereitet. In der ersten Hälfte der Tabelle giebt also die zweite Horizontalzeile den Gehalt der Lösungen an Säure an,  $\frac{1}{3}$  davon ist durch Kali gesättigt.

Indicatoren waren in Versuch I die rothen Flecke der Oberhaut der Blattstiele, in II die oberste Schuppe des Blattstieles von *Begonia manicata*.

Versuchsdauer  $3\frac{1}{2}$  Stunden; nach weiteren  $5\frac{1}{2}$  Stunden war keine Aenderung in dem Grade der Plasmolyse eingetreten.

	Doppeltsaures citronensaures Kalium.				Kalialpeter.					Verhältniss $\times 3$
	0.42	0.45	0.48	I. C.	0.13	0.14	0.15	0.16	I. C.	
I	n	p	p	0.435	n	n	hp	p	0.15	1.035
II	n	p	p	0.435	n	n	p	p	0.145	1.00

Hieraus berechnet sich:

das mittlere Verhältniss zwischen den isotonischen Concentrationen . . . . . 1.017.  
 der isotonische Coëfficient . . . . . 3.05.

## XVII. Einfachsaures citronensaures Kalium.

$\text{K}_2\text{HC}_6\text{H}_5\text{O}_7$ . Aequivalentzahl  $\frac{1}{3} \times 268$ . Molec.-Gewicht 268.

Reine Citronensäure wurde mit  $\frac{2}{3}$  Aequivalent kohlen-saurem Kali vorsichtig gemischt, die Kohlensäure durch Erwärmen vertrieben und die Mischung auf einen Gehalt von 1 Aeq. der Säure verdünnt. Durch weitere Verdünnung wurden hieraus die erforderlichen Lösungen gemacht. In der ersten Hälfte der Tabelle giebt also die zweite Horizontalzeile den Gehalt an Säure in Aeq. an;  $\frac{2}{3}$  davon ist jedesmal an Kali gebunden.

Als Indicatorpflanze dienten die rothen Oberhautzellen der Blattstiele von *Begonia manicata*, und zwar für Versuch I und II die rothen Flecke an der Basis der Schuppe, für III und IV die obere ringförmige Schuppe in der Nähe der Lamina. Zu Versuch V wurde aber *Curcuma rubricaulis* verwandt; die Erfahrung lehrte, dass diese trotz der sauren Reaction des Salzes zuverlässige Resultate gab.

Versuchsdauer  $3\frac{1}{2}$ — $4\frac{1}{2}$  Stunden; in I, III und IV wurde nach weiteren  $4\frac{1}{2}$  Stunden constatirt, dass die Grenze sich nicht verschoben hatte.

	Einfachsaures citonensaures Kalium.						Kalisalpeter.						Verhältniss × 3
	0.27	0.29	0.31	0.33	0.35	I. C.	0.12	0.13	0.14	0.15	0.16	I. C.	
I	n	n	n	p	p	0.32	—	n	n	hp	p	0.15	1.406
II	n	n	hp	p	p	0.31	—	n	n	p	—	0.145	1.403
III	—	n	n	hp	p	0.33	—	n	n	p	p	0.145	1.318
IV	n	p	p	—	—	0.28	n	p	p	—	—	0.125	1.339
V	n	p	—	—	—	0.28	n	p	—	—	—	0.125	1.339

Hieraus berechnet sich:

das mittlere Verhältniss zwischen den isotonen Concentrationen . . . . . 1.361.  
 der isotonische Coëfficient . . . . . 4.08.

### § 3. Die plasmolytische Transport-Methode.

Ausser nach der vergleichenden Methode kann man die Plasmolyse noch in ganz anderer Weise zur Ermittlung der isotonen Coëfficienten verwenden. Man bringt dazu geeignete Präparate in eine willkürliche, z. B. schwach plasmolysirende Lösung des zu studirenden Salzes, und nachdem die Protoplaste hier ihre Contraction beendet haben, transportirt man die einzelnen Objecte in Salpeterlösungen verschiedener Concentration. Letztere wählt man so, dass einige stärker und andere schwächer Wasser anziehen als die benutzte Lösung des anderen Körpers, während Eine Salpeterlösung

mit dieser isotonisch ist. Die Protoplaste der in die stärkeren Lösungen gebrachten Zellen werden sich weiter contrahiren, die in die schwächeren Lösungen gekommenen werden sich ausdehnen und nur in der isotonischen Salpeterlösung findet keine Aenderung ihrer Grösse statt. Umgekehrt wird man aus dem Verhalten der Protoplaste nach dem Transport bestimmen können, welche Salpeterlösung mit der Lösung des anderen Salzes isotonisch war.

Diese Methode habe ich zu einigen, im nächstfolgenden Paragraphen mitzutheilenden Versuchen über den Einfluss der Concentration auf den Werth der isotonischen Coëfficienten benutzt. Ich werde sie deshalb jetzt ausführlich beschreiben.

Der vergleichenden plasmolytischen Methode gegenüber hat diese Transportmethode gewisse Vortheile, aber auch schwerwiegende Nachtheile. Der auffallendste Unterschied liegt darin, dass hier jede einzelne Zelle nur mit sich selbst verglichen wird und dass deshalb der Einfluss individueller Unterschiede auf das Resultat völlig ausgeschlossen ist. Speciell für das Studium des Einflusses der Concentration hat sie aber noch weitere Vorzüge. Denn bei diesem Studium kommt es darauf an, Lösungen von z. B. 0.1—0.3 Aeq. Kalisalpeter mit isotonischen Lösungen anderer Salze zu vergleichen. Die plasmolytische Grenzlösung, wie wir sie bei der vergleichenden Methode bestimmten, schwankt bei unseren Indicatorgeweben nur zwischen 0.10—0.16 Aeq.  $\text{KNO}_3$ , und genügt jener Bedingung also nicht <sup>1)</sup>. Wenn aber jede einzelne Zelle nur mit sich selbst verglichen wird, so ist Gleichheit der verschiedenen Zellen unter sich keine Bedingung mehr, und wir dürfen also jetzt als Indicator ein Gewebe mit sehr ungleichen Zellen wählen und aus diesem Zellen resp. Präparate aussuchen, deren einige bereits durch etwa 0.10 Aeq.  $\text{KNO}_3$ , andere erst durch 0.2 und noch andere erst durch 0.3 Aeq.  $\text{KNO}_3$  plasmolysirt werden. Diese drei Gruppen eignen sich dann zu den Versuchen bei verschiedener Concentration.

Der wesentlichste Nachtheil der Transportmethode liegt in dem

---

1) Bei *Tradescantia discolor* würde allerdings die Basis des Mittelnerven die Vergleichung stärker concentrirter Lösungen gestatten, jedoch scheint die Empfindlichkeit und die Gleichmässigkeit jener Zellen zu wünschen übrig zu lassen.

Umstand, dass die Protoplaste bei stundenlangem Aufenthalt in den Salzlösungen immer weniger empfindlich werden, und zumal von ihrem Vermögen, sich in verdünnterer Lösung wieder auszudehnen, immer mehr einbüßen. Aus diesem Grunde gestehe ich ihr zur Ermittlung der isotonischen Coëfficienten in gewöhnlichen Fällen nur eine untergeordnete Bedeutung zu.

Um die Grösse der Protoplaste vor und nach dem Transporte in die zweite Lösung vergleichen zu können, mache ich von jedem Präparat mit der Camera lucida eine Zeichnung, in der zumal die Protoplaste genau eingetragen sind. Selbstverständlich zeichne ich sie erst, nachdem sie hinreichend lange Zeit in der ersten Lösung verweilt haben, um hier constante Grösse zu erreichen. Nach dem Aufenthalt in der zweiten Lösung wird dann die eventuell geänderte Grösse der Protoplaste wiederum mittelst der Camera lucida mit jener Zeichnung verglichen. Als Material diente dabei stets die violette Oberhaut der Blattunterseite von *Tradescantia discolor*, mit Ausnahme der auf oder neben dem Mittelnerven liegenden Partien.

Damit wäre das Princip der Methode angegeben und wir können jetzt zu der ausführlichen Beschreibung der Versuche und der kritischen Betrachtung der möglichen Fehlerquellen übergehen.

Die Ausführung der Versuche nach der Transportmethode geschah in folgender Weise. Mikroskopische Präparate aus der genannten Blattoberhaut wurden in grösserer Anzahl in kleine, mit einem Stopfen lose verschlossene Glascylinder von etwa 20 CC Inhalt gebracht, welche etwa zur Hälfte mit der zu verwendenden Lösung gefüllt waren. Die Lösung wurde nach  $\frac{1}{4}$  bis  $\frac{1}{2}$  Stunde erneuert. Nach 2—4 Stunden hatte die Contraction der Protoplaste, wie Vorversuche lehrten, in allen Zellen ihr Ende erreicht und es wurden jetzt die Präparate durchmustert und dasjenige ausgewählt, welches die gleichmässigste, zugleich aber die schwächste noch scharf wahrnehmbare Plasmolyse zeigte. Von der geeignetsten Zellengruppe (meist 30—50 Zellen enthaltend) wurde jetzt mit der Camera lucida eine genaue Zeichnung des Zellennetzes und der Form und Grösse der einzelnen Protoplaste entworfen, während das Präparat unter Deckglas in derselben Salzlösung lag wie vorher. Nun wurde es in die Lösung eines anderen Salzes gebracht,

von der in einem ähnlichen Cylinderglase wiederum etwa 10 CC angewandt wurden. Unter diesen Umständen konnte die in dem Präparate befindliche Lösung des ersteren Salzes, welche in dem zweiten selbstverständlich hinausdiffundirte, völlig vernachlässigt werden. Nach weiteren 2—4 Stunden wurde das Präparat herausgenommen, und unter Deckglas in derselben Lösung liegend, Zelle für Zelle mit der Zeichnung verglichen. In jede Zelle wurde eingeschrieben, ob der Protoplast sichtlich grösser oder kleiner geworden war, oder sich nicht merklich geändert hatte. In Fällen des Zweifels wurde nichts eingeschrieben; solche Zellen erhielten daher keinen Antheil an das Resultat. Die Anzahl der zu jeder dieser drei Gruppen gehörigen Zellen findet sich in den folgenden Tabellen verzeichnet.

Die beim Zeichnen angewandte Vergrößerung war  $\frac{110}{1}$ ; die Grösse der Zellen selbst änderte sich während des Aufenthaltes in der zweiten Lösung nie.

Folgende Punkte verdienen noch eine eingehendere Besprechung.

Die Wahl der Concentrationen. Es ist selbstverständlich, dass eines der beiden Salze, in welche ein Präparat gebracht wird, jedesmal der Kalisalpeter ist, weil wir ja die Beziehung des zu untersuchenden Salzes zu diesem prüfen wollen. Ob es in diesen zuerst oder zuletzt kommt, ist ziemlich gleichgültig; da die Erfahrung über seine Unschädlichkeit für das lebendige Protoplasma aber eine viel grössere und sicherere ist, als für manche der anderen Salze, habe ich es in den meisten Versuchen als erste Lösung angewandt.

Durch Vorversuche, oder aus den Seite 428 mitgetheilten Zahlen, liessen sich ungefähr die zur Plasmolyse erforderlichen Concentrationen der beiden Salze bestimmen. Es wurde nun das eine Salz in jeder Versuchsreihe in einer, das andere in zwei bis fünf verschiedenen Concentrationen angewandt und die letzteren so gewählt, dass ihr mittlerer Werth voraussichtlich mit der einzigen Concentration des anderen Salzes isotonisch war. Ob der Kalisalpeter oder das zu untersuchende Salz in wechselnder Concentration angewandt wird, ist dabei gleichgültig; aus praktischen Gründen habe ich aber gewöhnlich nur eine Concentration des zu erforschenden Salzes und mehrere des Kalisalpeters angewandt.

Die Differenz zwischen den auf einander folgenden Concentrationen der zu demselben Versuch angewandten Salpeterlösungen war 0.01 bis 0.02 Aeq., also ebenso gross oder fast ebenso gross wie bei den Versuchen nach der vergleichenden Methode. So äusserst geringe Differenzen lassen aber noch mit voller Sicherheit wahrnehmbare Unterschiede in der Grösse der Protoplaste erkennen, wenigstens wenn man dazu die geeigneten Zellen auswählt. Wir wollen deshalb nun diesen Punkt etwas genauer betrachten.

Die Wahl des Präparates. Es ist von hervorragender Wichtigkeit, nur solche Zellen für die Beobachtung zu wählen, in denen die Abhebung des Protoplasma von der Zellhaut nicht nur sich scharf wahrnehmen lässt, sondern auch eine möglichst schwache ist. Denn nur hier können geringe Unterschiede in der Concentration deutlich sichtbare Grössenänderungen des Protoplasten hervorrufen. Ist der Grad der Plasmolyse ein solcher, dass der Protoplast als Kugel frei in der Mitte der Zelle liegt, so sind die Umstände für die Wahrnehmbarkeit einer geringen Aenderung der Grösse offenbar möglichst ungünstige. Ist die Plasmolyse so gering, dass das Protoplasma nur an einer Stelle von der Wand abgehoben ist, sonst dieser aber noch dicht anliegt, so wird sich die Grössenänderung des ganzen Protoplasten durch die Vor- oder Zurückschiebung dieser einzelnen Stelle verrathen, und also viel schärfer wahrnehmbar sein.

In dieser Hinsicht bietet nun die Oberhaut der Unterseite der Blätter von *Tradescantia discolor* den Vortheil, dass die zur Plasmolyse gerade erforderliche Concentration für verschiedenen Stellen desselben Blattes entnommene Präparate nicht genau dieselbe ist. Ich bringe deshalb für jeden Versuch von möglichst verschiedenen Theilen des Blattes Präparate in die Lösung, und finde darunter dann leicht welche mit dem erwünschten Grade der Plasmolyse. Die Zellen auf und in der Nähe des Mittelnerven, welche für die vergleichende Methode wegen ihrer grossen Gleichmässigkeit die einzig brauchbaren sind, werden aus demselben Grunde hier immer so viel wie möglich ausgeschlossen.

Die Zellen der *Tradescantia discolor* bieten den weiteren Vortheil, dass die Abhebung des Protoplasma von der Zellhaut gewöhnlich seitlich stattfindet und also mit voller Schärfe wahrnehm-

bar ist. Bisweilen findet man aber, zumal in den Lösungen weniger diffusibler Stoffe, dass die Abhebung auf der oberen oder unteren Wand der Oberhautzellen anfängt, und also keine Stelle des Zelllumens unter dem Mikroskope farblos erscheint. Solche Zellen dürfen nur in besonderen Fällen für die Beobachtung gewählt werden. Zellen, in denen keine Plasmolyse in der ersten Lösung eingetreten ist, sind gleichfalls auszuschliessen, mit Ausnahme des Falles, wo sie in der zweiten Lösung, wenn diese grössere Anziehungskraft für Wasser besitzt, in den plasmolytischen Zustand übergehen. Sie bilden dann gerade den höchsten Grad von Sicherheit, welche bei dieser Methode überhaupt zu erreichen ist. Dasselbe gilt für solche Zellen, welche beim Transport aus einer relativ stärkeren Lösung in eine schwächere ihre Plasmolyse vollständig ausgleichen. Zur Auswahl solcher Zellen für die Zeichnungen gehört aber eine ziemlich grosse Uebung.

Die Beurtheilung der Präparate, nach dem Aufenthalt in der zweiten Lösung. Die Vergleichung der Zellen am Ende des Versuches mit den vorher von ihnen gemachten Zeichnungen ist in vielen Fällen eine sehr leichte. Je schwächer die Plasmolyse, je empfindlicher die Protoplaste, und je grösser der Unterschied in der wasseranziehenden Kraft der beiden zu vergleichenden Lösungen war, um so klarer tritt das Resultat hervor. Bei geringen Concentrationsunterschieden und wenig empfindlichen Protoplasten treten aber gewisse Fehlerquellen ins Gewicht, welche wir jetzt besprechen wollen.

Die erstere ist die Abrundung und Lagenänderung der Protoplaste während des Aufenthaltes in der zweiten Lösung. Die Protoplaste der violetten Blattoberhaut der *Tradescantia discolor* kleben bei anfangender Plasmolyse längere Zeit an die Zellhaut, auf die Dauer heben sie sich aber immer mehr von dieser ab. Dadurch nähern sie sich immer mehr der Kugelform und diese Formänderung kann sehr leicht dazu führen, dass es unmöglich ist, zu unterscheiden, ob sie ihre Grösse geändert haben oder nicht. Solche Zellen sind also von der Berechnung des Resultates auszuschliessen.

Eine weitere Fehlerquelle liegt in dem Umstande, dass die Protoplaste im plasmolytischen Zustande allmähig weniger dehnbar werden, schon lange, bevor sie eine sichtbare Spur von eintretendem

Tode zeigen. Sie behalten dabei die Fähigkeit, bei zunehmender Concentration sich zusammenzuziehen, aber reagiren auf eine Abnahme der Concentration nicht mehr durch eine entsprechende Grössenzunahme, und wenn der Concentrationsunterschied ein grösserer ist, platzen sie und sterben und entziehen sich dadurch der Beobachtung. Die Versuche, in denen die Concentration der zweiten Lösung also eine höhere ist als die der ersteren, geben dadurch weit schärfere Resultate als die, in denen das Umgekehrte der Fall ist und würden aus diesem Grunde vorzuziehen sein, wenn nicht andere Umstände gerade den in zweiter Linie genannten Versuchen eine grössere Beweiskraft beileigten. Es sind dies folgende: Wenn die Dauer des Aufenthaltes in der ersten Lösung nicht eine so lange war, dass in allen Zellen das in jener Lösung mögliche Maximum der Concentration der Protoplaste erreicht werden konnte, so wird auch dann, wenn die zweite Lösung mit der ersteren isotonisch ist, eine weitere Zunahme der Plasmolyse eintreten können. Letztere würde also unter solchen Umständen nichts beweisen, während eine Ausdehnung der Protoplaste auch unter diesen Umständen völlig beweisend ist.

Ist ferner die zweite Lösung eine dem Leben der Zellen nicht völlig unschädliche, z. B. eine solche, welche den Zutritt des freien Sauerstoffes bedeutend erschwert, so werden die am meisten empfindlichen Protoplaste anfangen zu sterben, und ist die betreffende Lösung eine schwer diffundirende, so werden sie demzufolge allmählig kleiner werden. Es ist häufig schwer, an einer solchen Zelle den anfangenden Tod zu erkennen, und bei den Versuchen mit Zuckerlösungen habe ich diese Fehlerquelle nicht immer vollständig vermeiden können.

Es ist selbstverständlich, dass nur völlig neutrale Lösungen und solche, welche keine Spur kohlensaurer Salze enthalten, Verwendung finden dürfen; ich habe meine Salze mit besonderer Rücksicht auf diesen Punkt umkrystallisirt und mich dann dadurch von ihrer Reinheit versichert, dass ich prüfte, ob die violetten Zellen von *Tradescantia discolor* bei zweitägigem Aufenthalt in den Salzlösungen eine Spur von Blaufärbung ihres Inhaltes zeigten. Nur wo solches nicht der Fall war, konnte das Salz als rein betrachtet werden.

Die Dauer des Aufenthaltes in der ersteren Lösung muss also stets eine so lange sein, dass die Contraction der sich ablösenden Protoplaste ihr in dieser Lösung mögliches Maximum erreicht, und auch nicht länger, um die Protoplaste so wenig wie möglich von ihrer Empfindlichkeit einbüßen zu lassen. Zwei bis vier Stunden zeigten sich hierzu in der Regel als das Zweckmässigste. In der zweiten Lösung liess ich die Präparate nur so lange, bis eine sichere Entscheidung eintrat, was häufig bereits nach einer Stunde der Fall war.

Die Empfindlichkeit der beschriebenen Methode lässt sich in sehr einfacher Weise prüfen, wenn man als zweite Lösung dasselbe Salz wählt wie für die erste. Es wird sich dann zeigen, welche Aenderungen in der Grösse der Protoplaste einer genau bekannten Aenderung in der Concentration folgen. Ich führe zwei solche Versuche an, welche ich mit Kalisalpeter angestellt habe. In dem ersten Versuch wurden die Präparate aus der violetten Blattoberhaut von *Tradescantia discolor* zunächst in fünf Lösungen verschiedener Concentration gelegt, nach einem Aufenthalte von 4 bis 6 Stunden gezeichnet und sämmtlich in eine Lösung von 0.20 Aeq.  $\text{KNO}_3$  übergebracht. Jedes Präparat kam dabei in ein besonderes Röhrchen mit etwa 10 CC. der Lösung. Nach weiteren 4–6 Stunden wurden die Präparate mit den Zeichnungen verglichen, und das Resultat in folgende Tabelle zusammengestellt:

Aus $\text{KNO}_3$	Gebracht in $\text{KNO}_3$	Verhältniss	Anzahl der Protoplaste, deren Grösse:		
			zuge- nommen.	gleich- geblieben.	abge- nommen.
0.16 Aeq.	0.20 Aeq.	0.8	0	7	21
0.18 -	0.20 -	0.9	0	38	11
0.20 -	0.20 -	1.0	2	40	1
0.22 -	0.20 -	1.1	21	30	3
0.24 -	0.20 -	1.2	28	13	2

Die drei letzten Spalten geben an, in wie vielen Zellen die Protoplaste ihre Grösse wirklich verändert oder deutlich nicht ver-

ändert hatten; zweifelhafte Fälle sind so viel wie möglich ausgeschlossen.

Bei der Betrachtung der Tabelle zeigt sich:

1. Dass nur bei unveränderter Concentration nahezu sämtliche Protoplaste gleichgeblieben sind, während bei abnehmender Concentration eine Ausdehnung, bei zunehmender eine Zusammenziehung beobachtet wurde. Und zwar in um so zahlreicheren Zellen, je grösser die betreffende Aenderung der Concentration war.

2. Dass in allen fünf Versuchen eine merkliche Anzahl von Protoplasten keine Veränderung wahrnehmen liess, und zwar um so zahlreichere, je geringer die Concentrationsdifferenz war. Es sind dies offenbar die weniger empfindlichen Zellen und solche, in denen die Form der Ablösung von der Zellhaut der Beobachtung geringer Grössendifferenzen ungünstig war.

Hieraus ergibt sich also die Regel, dass man bei Versuchen nach dieser Methode vorwiegend darauf zu achten hat, ob eine erhebliche Anzahl von Zellen Zu- oder Abnahme der Grösse ihrer Protoplaste erkennen lässt, während die Zahl derjenigen Zellen, in denen eine solche entscheidende Beobachtung nicht gemacht werden kann, nur von untergeordneter Bedeutung ist.

Je näher man einander die Concentrationen der angewandten Lösungen rückt, um so weniger scharf wird selbstverständlich die Grenze und dieses gilt aus früher namhaft gemachten Gründen, hauptsächlich auf der Seite, wo bei abnehmender Concentration eine Ausdehnung der Protoplaste erwartet wird. Folgender Versuch zeigt dieses:

Aus KNO <sub>3</sub>	Gebracht in KNO <sub>3</sub>	Verhältniss	Anzahl der Protoplaste, deren Grösse:		
			zuge- nommen.	gleich- geblieben.	abge- nommen.
0.16 Aeq.	0.18 Aeq.	1.12	0	21	27
0.16 -	0.17 -	1.06	0	44	11
0.16 -	0.16 -	1.0	0	44	1
0.16 -	0.15 -	0.94	7	34	6
0.16 -	0.14 -	0.87	37	12	0

Die Anordnung des Versuches war dieselbe wie in dem ersteren, ebenso das Resultat, mit Ausnahme des vierten Präparates. Hier hatten die Zellen auf einen Transport aus 0.16 Aeq.  $\text{KNO}_3$  in 0.15 Aeq. desselben Salzes nicht in entscheidender Weise reagirt. Dagegen war auf den Transport in eine 0.01 Aeq. stärkere Lösung eine sehr deutliche Contraction eingetreten. Dieser Unterschied in der Schärfe der beiden Grenzen ist offenbar eine Folge davon, dass die Protoplaste einer nachträglichen Ausdehnung weit grösseren Widerstand entgegensetzen als einer fortschreitenden Contraction. Bei dem Studium des Einflusses der Concentration auf den Werth der isotonischen Coëfficienten wird diese Erfahrung uns bei der Verwerthung der Versuche von grossem Nutzen sein.

Als Beispiel zu dieser Methode führe ich einen Versuch mit Chlorkalium an. Das Salz war durch Umkrystallisiren gereinigt und zu einer Lösung von 0.20 Aeq. (= 0.20 Molec.) in destillirtes Wasser aufgelöst. Die Präparate kamen zuerst in verschiedene Lösungen des Kalisalpeters, dann aber, nachdem die erforderliche Anzahl von Zellen gezeichnet war, je in ein etwa 10 CC dieser Chlorkaliumlösung enthaltendes Röhrchen. Nach weiteren zwei Stunden wurden sie mit den Zeichnungen verglichen und es ergab sich folgendes Resultat:

### Chlorkalium.

Aus $\text{KNO}_3$	Gebracht in KCl	Verhältniss	Anzahl der Protoplaste, deren Grösse:		
			zuge- nommen.	unver- ändert.	abge- nommen.
0.16 Aeq.	0.20 Aeq.	0.8	0	10	20
0.18 -	0.20 -	0.9	0	16	20
0.20 -	0.20 -	1.0	0	28	0
0.22 -	0.20 -	1.1	28	35	0
0.24 -	0.20 -	1.2	19	14	0

Die Lösungen von 0.20 Aeq. Chlorkalium und 0.20 Aeq. Kalisalpeter sind somit isotonisch; und da das Verhältniss zwischen beiden = 1 ist, so ist der isotonische Coëfficient des Chlorkaliums = 3.0.

Weitere Versuche habe ich u. A. mit neutralem oxalsaurem und weinsaurem Kali angestellt; sie führten für beide Salze zu einer Bestätigung des Satzes, dass für die isotonischen Coëfficienten nach der plasmolytischen Methode dieselben Werthe gefunden werden, wie nach der Methode der Gewebespannung, brauchen hier aber nicht weiter angeführt zu werden.

#### § 4. Einige Versuche zur Kritik der Methode.

Bei der Berechnung der isotonischen Coëfficienten haben wir stets stillschweigend angenommen, dass die Affinität gelöster Körper zu Wasser in verdünnten Lösungen innerhalb der Grenzen unserer Versuche der Concentration proportional sei, dass also unsere Werthe, welche bei zwischen 0.10 und 0.16 Aeq. Kalisalpeter wechselnden Concentrationen bestimmt sind, ohne Weiteres mit einander verglichen werden dürfen.

Bei der Anwendung unserer Coëfficienten zur Analyse der Turgorkraft werden wir ferner annehmen, dass sie bei sämmtlichen, in den Zellen vorkommenden Concentrationen ihre Gültigkeit behalten, also innerhalb von etwas weiteren Grenzen, und zumal bei verdünnteren Lösungen dieselben bleiben. Und da ferner die Zellsäfte stets Gemenge verschiedenartiger Verbindungen sind, werden wir anzunehmen haben, dass die einzelnen Stoffe auch in gemischten Lösungen ihre isotonischen Coëfficienten behalten.

Ogleich diese beiden Sätze an und für sich wohl kaum Zweifeln unterliegen werden, habe ich doch eine Reihe von Versuchen durchgeführt, um ihnen eine experimentelle Grundlage zu sichern.

Versuche über den Einfluss der Concentration auf den Werth der isotonischen Coëfficienten. In sehr verdünnten Lösungen, wie sie zu unseren Versuchen dienten, darf man annehmen<sup>1)</sup>, dass der Raum, den die Molecüle des gelösten Körpers einnehmen, gegenüber dem des Lösungsmittels verschwindend klein sei, und dass die einzelnen Substanzmolecüle somit hinreichend weit von einander entfernt sind, um in ihrer Anziehung zum Lösungsmittel nicht von einander beeinflusst zu werden. So lange diese Bedin-

---

1) Vergleiche L. C. Schwab: Bijdrage tot de kennis der estervorming. Diss. Amsterdam 1883, S. 5—13.

gung erfüllt ist, ist die Anziehung des gelösten Körpers einfach gleich der Summe der Anziehungen seiner Molecüle, und also der Zahl dieser Molecüle in der Einheit des Volumens, d. h. der Concentration, proportional. In concentrirteren Lösungen rücken die Substanzmolecüle einander näher, und üben auf einander Wirkungen aus, welche jene Proportionalität aufheben können, und ich habe mich überzeugt, dass hoch concentrirte Lösungen verschiedener Salze, welche nach unseren Coëfficienten als isotonisch berechnet waren, in sehr verschiedenem Grade plasmolysirend wirkten.

Die folgenden Versuche sind nicht bestimmt, die Grenze zu ermitteln, bis zu der unsere Coëfficienten noch eine hinreichende Genauigkeit besitzen, sondern nur zu zeigen, dass innerhalb der Grenzen unserer Versuche und ihrer Anwendung auf die Analyse der Turgorkraft, die Concentration keinen Einfluss auf ihre Resultate ausübt. Die Versuche wurden, theils mit schwefelsaurem Kalium, theils mit Rohrzucker, nach der Transportmethode ausgeführt. (Vergl. § 3.)

### I. Schwefelsaures Kalium.

$K_2SO_4$ . Aequivalentzahl 87. Molec.-Gewicht 174.

Die Lösungen wurden jede durch Auflösen einer abgewogenen Menge reiner Krystalle zu einem bestimmten Volum in Wasser dargestellt.

Die Versuche wurden genau in der im vorigen Paragraphen beschriebenen Weise ausgeführt. Zur Plasmolyse dienten die violetten Zellen der unterseitigen Oberhaut eines Blattes von *Tradescantia discolor*. Auf demselben Blatte findet man Stellen, wo die Grenze der Plasmolyse bei 0.1 Aeq. Kalisapeter und andere, wo sie bei 0.2 Aeq. liegt; an der Basis steigt diese Grenze sogar auf 0.25 Aeq.  $KNO_3$ . In jede einzelne Lösung wurden nun sehr verschiedenen Stellen entnommene Präparate gebracht und nach etwa zwei Stunden daraus diejenigen ausgesucht, deren Zellen den schwächsten Grad der Plasmolyse zeigten.

In den Spalten der Verhältnisse habe ich diese sogleich auf Molecüle berechnet.

## I. 0.2 Aeq. Schwefelsaures Kalium.

Aus KNO <sub>3</sub>	Gebracht in K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Verhältniss × 2	Anzahl der Protoplaste, deren Grösse:		
			zuge- nommen.	nicht verändert.	abge- nommen.
0.11 Aeq.	0.20 Aeq.	1.1	1	6	16
0.12 -	0.20 -	1.2	1	6	25
0.13 -	0.20 -	1.3	1	37	2
0.14 -	0.20 -	1.4	21	27	0
0.15 -	0.20 -	1.5	26	25	1

## II. 0.3 Aeq. Schwefelsaures Kalium.

Aus KNO <sub>3</sub>	Gebracht in K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Verhältniss × 2	Anzahl der Protoplaste, deren Grösse:		
			zuge- nommen.	nicht verändert.	abge- nommen.
0.165 Aeq.	0.30 Aeq.	1.1	0	6	39
0.18 -	0.30 -	1.2	0	21	25
0.195 -	0.30 -	1.3	5	56	4
0.21 -	0.30 -	1.4	3	52	4
0.225 -	0.30 -	1.5	10	35	0

Beachtet man, bei der Betrachtung der zweiten Tabelle, die auf S. 474 gemachte Bemerkung, so wird man von den beiden Versuchen (aus 0.195 und aus 0.21 Aeq. KNO<sub>3</sub>), in denen eine merkliche Veränderung in der Grösse der Protoplaste nicht zu erkennen war, den ersteren als denjenigen ansehen müssen, in dem die beiden Concentrationen am nächsten isotonisch waren.

Beide Versuche geben also übereinstimmend für das Verhältniss der isotonischen Concentrationen den Werth 1.3 und somit für den isotonischen Coëfficienten  $1.3 \times 3 = 3.9$ .

Mit schwefelsaurem Kalium habe ich noch zwei weitere Versuche gemacht, welche zeigen, dass es gleichgültig ist, ob man die Präparate zuerst oder zuletzt in Kalisalpeter bringt, und ob man von diesem oder von dem anderen Salze nur Eine Concentration

verwendet (vergl. S. 468). Beide bestätigen die Bestimmung des isotonischen Coëfficienten auf  $1.3 \times 3 = 3.9$ . Ich fasse beide in eine Tabelle zusammen.

### III. Schwefelsaures Kalium.

Aus	Gebracht in	Verhältniss $\times 2$	Anzahl der Protoplaste, deren Grösse:		
			zuge- nommen.	nicht verändert.	abge- nommen.
0.12 Aeq. $\text{KNO}_3$	0.20 Aeq. $\text{K}_2\text{SO}_4$	1.2	0	21	16
0.12 - -	0.18 - -	1.3	5	33	4
0.12 - -	0.16 - -	1.5	25	11	2
0.12 - -	0.14 - -	1.7	41	0	0
0.18 Aeq. $\text{K}_2\text{SO}_4$	0.13 Aeq. $\text{KNO}_3$	1.4	0	3	31
0.18 - -	0.12 - -	1.3	2	28	1
0.18 - -	0.11 - -	1.2	15	8	0
0.18 - -	0.10 - -	1.1	30	0	0

### II. Rohrzucker.

Nach derselben Methode wurden mittelst *Tradescantia discolor* einige Versuche mit Rohrzucker bei verschiedener Concentration angestellt. Da die Einzelheiten der Versuche genau dieselben waren, wie früher beschrieben, so kann ich ohne Weiteres die Tabelle mittheilen, welche für jeden Versuch die Zahl der Zellen angiebt, deren Protoplaste sich nach dem Wechsel der Lösungen ausgedehnt oder zusammengezogen oder endlich sich gar nicht verändert haben. Ich fasse die drei, mit 0.2, 0.3 und 0.4 Aeq.<sup>1)</sup> Rohrzucker angestellten Versuchsreihen in eine Tabelle zusammen.

1) 0.1 Aeq. = 0.1 Molec. = 3.42 Gramm zu 100 CC aufgelöst.

## Rohrzucker.

Versuchs- Nummer	Aus KNO <sub>3</sub>	Gebracht in Rohr- zucker	Verhält- niss pro Molec.	Anzahl der Protoplaste, deren Grösse:		
				zuge- nommen.	nicht verändert.	abge- nommen.
Ia	0,11 Aeq.	0.20 Aeq.	0.55	0	3	37
b	0.12 -	0.20 -	0.60	0	6	31
c	0.13 -	0.20 -	0.65	8	21	4
d	0.14 -	0.20 -	0.70	15	6	3
e	0.15 -	0.20 -	0.75	28	2	0
IIa	0.18 -	0.30 -	0.60	0	34	18
b	0.195 -	0.30 -	0.65	9	42	8
c	0.21 -	0.30 -	0.70	13	34	3
IIIa	0.24 -	0.40 -	0.60	0	18	42
b	0.26 -	0.40 -	0.65	3	43	6
c	0.28 -	0.40 -	0.70	6	32	5

Es geht aus dieser Tabelle hervor, dass das Verhältniss der isotonischen Concentrationen für den Rohrzucker in jeder der drei Versuchsreihen am nächsten = 0.65 gefunden wird, und dass es somit innerhalb der Beobachtungsgrenzen von den angewandten Concentrationen unabhängig ist.

Der isotonische Coëfficient berechnet sich aus diesen Versuchen zu  $0.65 \times 3 = 1.95$ . Dieser Werth liegt etwas höher als der nach der vergleichenden plasmolytischen Methode bestimmte (Verhältniss der isot. Conc. 0.602; isot. Coëff. 1.81, S. 453). Aber in den drei Versuchen, in denen die Zellen aus 0.12, 0.18 und 0.24 Aeq. KNO<sub>3</sub> in 0.20, 0.30 resp. 0.40 Aeq. Zucker gebracht wurden, wo also das Verhältniss 0.60 obwaltete, fand eine sehr deutliche Contraction der Protoplaste statt, und es unterliegt also keinem Zweifel, dass wenigstens auf dieser Seite diesen Versuchen kein Fehler anhaften kann. Wir werden deshalb für fernere Betrachtungen aus beiden Versuchsreihen das Mittel nehmen dürfen, aber zugleich zugeben müssen, dass Beobachtungsfehler von wenigstens der Hälfte der Differenz beider Zahlen beim Rohrzucker möglich sind. Thatsächlich halte ich die möglichen Beobachtungsfehler hier für noch etwas grösser.

Versuche mit Gemengen verschiedener Verbindungen. Diese Versuche wurden nach der vergleichenden plasmolytischen

Methode mit *Curcuma rubricaulis* als Indicatorpflanze ausgeführt. Für ihre Beschreibung sowie für die Erklärung der Tabellen verweise ich also auf das in § 1 und 2 Gesagte. Die Lösungen wurden durch Mischung von unter sich isotonischen Lösungen verschiedener Stoffe hergestellt und der Versuch hatte also zu ermitteln, ob auch das Gemenge mit den einzelnen Componenten isotonisch war.

In den Tabellen ist der nach Aequivalenten berechnete Gehalt der einzelnen Componenten im Kopfe der linken Hälfte für jede einzelne Mischung angegeben und darunter der Salpeterwerth dieser Lösungen, der also gleichfalls der zu erwartende Salpeterwerth der Mischungen war. Durch den Versuch wird nun der wirkliche Salpeterwerth der Mischungen bestimmt und kann dieser also mit dem im Voraus berechneten Werthe verglichen werden. Die letzte Spalte der Tabellen enthält das Verhältniss beider.

Für die Bereitung der Lösungen u. s. w. vergleiche man die entsprechenden Versuche in § 2.

### I. Mischung zweier Salze.

Mischungen von einfach saurem citronensaurem Kalium und Chlorammonium.

Mischungen.						Kalisalpeter.					
$K_2 HC_6 H_5 O_7$	0.25	0.27	0.29	0.31							
$NH_4 Cl$	0.11	0.12	0.13	0.14							
Berechneter Salpeterwerth der Mischung	0.11	0.12	0.13	0.14	I. C.	0.11	0.12	0.13	0.14	I. C.	Verhältn.
I	—	n	hp	p	0.13	n	n	p	p	0.125	0.96
II	n	hp	p	—	0.12	n	hp	p	—	0.12	1

## II. Mischung dreier Salze.

Mischung von einfach saurem citronensaurem Kalium, schwefelsaurem und äpfelsaurem Magnesium.

Mischungen.					Kalisalpeter.					
$K_2 H C_6 H_5 O_7$	0.27	0.29	0.31							
$Mg SO_4$	0.36	0.39	0.42							
$Mg C_4 H_4 O_5$	0.36	0.39	0.42							
Berechneter Salpeterwerth der Mischung	0.12	0.13	0.14	I. C.	0.11	0.12	0.13	0.14	I. C.	Verhältn.
I	n	hp	p	0.13	n	n	p	p	0.125	0.96
II	n	hp	p	0.13	n	n	p	p	0.125	0.96

Innerhalb der Beobachtungsfehler bestätigen beide Versuchsreihen also das erwartete Resultat, indem sie zeigen, dass unsere Coëfficienten auch bei der Berechnung des Salpeterwerthes gemischter Lösungen angewandt werden dürfen.<sup>1)</sup>

## § 5. Berechnung älterer Versuche.

Bereits im Jahre 1871 habe ich, wenn auch zu anderen Zwecken, die schwächsten zur Plasmolyse erforderlichen Concentrationen verschiedener Salze ermittelt.<sup>2)</sup> Ich benutzte damals als Material die Parenchymzellen der rothen Rübe. Obgleich dem damaligen Ziele entsprechend diese Concentrationen nicht so genau bestimmt wurden, als zur Berechnung der isotonischen Coëfficienten bis auf eine Decimalstelle erforderlich ist, so sei es mir dennoch gestattet, hier eine Berechnung der damals gewonnenen Zahlen einzuschalten und sie mit den in den vorigen Paragraphen gefundenen zu vergleichen. Ich gebe aber nur die Grenzwerte, zwischen denen

1) Bei osmotischen Untersuchungen mit künstlichen Membranen faud Pfeffer ebenfalls gleiche Leistung der Componenten einer Mischung im isolirten wie im gemengten Zustande. Vergl. dessen „Osmotische Untersuchungen“ S. 70.

2) Sur la perméabilité du protoplasme des betteraves rouges. Archives Néerl. VI, 1871, p. 117.

nach jenen älteren Versuchen die Coëfficienten eingeschlossen sein müssen und stelle diese mit den zur Berechnung erforderlichen Elementen in folgende Tabelle zusammen.

Die erste Spalte enthält die Formel der gebrauchten Salze, die zweite ihre Moleculargewichte und die dritte die in meiner citirten Arbeit aufgeführten Zahlen, welche die auf 100 Gewichtstheile Wasser aufgelösten Gewichte der krystallisirten Salze in den isotonischen Lösungen angeben. Hieraus habe ich in der vierten Spalte die auf 100 Theile der Lösung berechnete procentische Zusammensetzung abgeleitet und daraus wiederum in der fünften die in Molecülen ausgedrückten Concentrationen  $\left( = \frac{IV}{II} \times 10 \right)$ . Die sechste enthält endlich die Verhältnisse dieser Zahlen zu den für Kalisalpeter gefundenen Grenzen multiplicirt mit 3, um sie in isotonische Coëfficienten umzuwandeln. Bei dieser letzteren Berechnung ist, um völlige Sicherheit zu haben, dass die fraglichen Coëfficienten nicht ausserhalb der Grenzen fallen können, jedesmal die untere Grenze für Kalisalpeter (0.564), durch die obere für das betreffende Salz (z. B. 0.77 für  $\text{NaNO}_3$ ), und die obere Grenze für Kalisalpeter (0.644) durch die untere für die übrigen Salze dividirt. Es leuchtet ein, dass bei dieser Behandlung die erstere Zahl kleiner, die zweite grösser als der gesuchte Coëfficient sein muss, dass beide also als Grenzwerte dieses Coëfficienten betrachtet werden dürfen.

In die siebente Spalte sind die isotonischen Coëfficienten nach S. 428 eingetragen. Für  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ , welches ich nach meinen jetzigen Methoden nicht untersucht habe, ist der Coëfficient des entsprechenden Kalisalzes, oder vielmehr der der zweibasischen Salze der Alkalimetalle überhaupt genommen, was nach den Erörterungen des IV. Abschnittes ohne Weiteres erlaubt ist.

Dass die rothe Rübe hier den Dienst einer Indicatorpflanze leistete, während sie den in § 1 beschriebenen Anforderungen keineswegs genügt, bedingt es, dass man keine zu grosse Annäherung der Grenzwerte an den wirklichen Werth der isotonischen Coëfficienten erwarten darf.

I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.
Salze.	Molec.-Gewichte	100 Th. Wasser enthalten	100 Th. Lösung enthalten	Concentration nach Molecülen berechnet	Grenzwerte der isotonischen Coëfficienten	Isotonische Coëfficienten nach §§ 2—4
KNO <sub>3</sub>	101	6—7	5.7—6.5	0,564—0,644	—	—
Na NO <sub>3</sub>	85	6—7	5.7—6.5	0,67—0,77	2.1—2.9	3
K Cl	74.5	4—5	3.8—4.8	0,52—0,64	2.9—3.9	3
Na Cl	58.5	3—4	2.9—3.8	0,50—0,66	2.7—3.9	3
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> + 10 H <sub>2</sub> O	354	17—18	14.5—15.3	0,41—0,43	3.9—4.8	4
Mg SO <sub>4</sub> + 7 H <sub>2</sub> O	246	26—28	20.6—21.9	0,84—0,89	1.8—2.4	2

Vergleicht man die Zahlen der sechsten und siebenten Spalte, so findet man, dass beim salpetersauren Natrium einer der Grenzwerte mit dem isotonischen Coëfficienten nahezu zusammenfällt, während bei den übrigen Salzen der wirkliche Werth thatsächlich zwischen den beiden berechneten Grenzwerten liegt. Die Uebereinstimmung ist also eine so vollständige, als mit einer so ungeeigneten Indicatorpflanze überhaupt zu erwarten war.

Diese Thatsache giebt aber zu einer weiteren Bemerkung Veranlassung. Wenn die isotonischen Coëfficienten mit so verschiedenen Indicatorpflanzen, wie Curcuma, Tradescantia, Begonia und der rothen Rübe so ganz übereinstimmend gefunden werden, so liegt die Folgerung nahe, dass auch die übrigen Pflanzen, wenn wir sie zu diesem Zwecke benützten, dieselben Resultate geben würden. Die im III. Abschnitt beschriebenen Versuche nach der Methode der Gewebespannung werden diese Folgerung für eine Reihe weiterer Arten bestätigen.

Ist dem aber so, so lässt sich weiter folgern, dass die bei diesen Versuchen maassgebende Membran, die Vacuolenwandung, welche das Protoplasma auf der Innenseite begrenzt, bei allen diesen Arten keine wesentlichen Unterschiede in ihrer Permeabilität für Salzlösungen zeigen wird, dass sie bei allen Arten in nahezu demselben hohen Grade für solche Lösungen undurchlässig sein wird.<sup>1)</sup> Ich

1) Vergl. Pfeffer: Osmotische Untersuchungen, S. 178.

hebe diese Folgerung deshalb hervor, weil sie bei der Anwendung unserer isotonischen Coëfficienten auf die Analyse der Turgorkraft verschiedener Pflanzen eine wesentliche Rolle spielt, indem erst durch sie das Verfahren völlig berechtigt wird, die erhaltenen Resultate und somit die ganze Methode auf beliebige Pflanzenarten anzuwenden.

---

### Abschnitt III.

## **Bestimmung der isotonischen Coëfficienten nach der Methode der Gewebespannung.**

### § 1. Beschreibung der Methode.

Wenn man wachsende Sprossgipfel der Länge nach in vier möglichst gleiche Streifen spaltet, so krümmen sich diese im Augenblicke der Isolirung bekanntlich mehr oder weniger stark, indem das centrale Parenchym sich verlängert. Legt man einen solchen Streifen in Wasser, so nimmt die Krümmung gewöhnlich sehr rasch zu; legt man einen zweiten Streifen in eine starke Salzlösung, so verliert sie ihre Krümmung, oder letztere kehrt sich um, indem die Epidermis jetzt die convexe Seite einnimmt. Bringt man die Streifen in Salzlösungen von verschiedener Stärke, so wird es offenbar möglich sein, eine Concentration auszusuchen, in der die Kreuzstreifen ihre Krümmung weder verstärken noch vermindern.

Eine solche Lösung entzieht den Zellen kein Wasser, lässt sie aber auch keines aufnehmen. Sie verhält sich also dem Streifen gegenüber indifferent und wir werden sie deshalb als solche bezeichnen. Lösungen verschiedener Salze, welche sich gegenüber demselben Streifen indifferent zeigen, ziehen offenbar mit derselben Kraft Wasser an und sind also unter einander isotonisch. Die Bestimmung der indifferenten Concentrationen führt somit zur Kenntniss der isotonischen Coëfficienten; auf dieses Princip beruht die hier zu behandelnde Methode.

Wäre es nun möglich, mit den vier Kreuzstreifen eines und

desselben Sprosses die indifferente Concentration für Kalisalpeter und für eine andere Verbindung zu ermitteln, so würde sich aus ihrem Verhältniss ohne Weiteres der isotonische Coëfficient ableiten lassen. Dieses ist nun aber, wie leicht ersichtlich, nicht der Fall, denn man braucht die sämtlichen vier Kreuzstreifen um eine, wenn auch vorläufig ungefähr ermittelte, jedoch noch nicht genau bekannte indifferente Concentration zu bestimmen. Hieraus ergibt sich, dass man gezwungen ist, sich mit Mittelzahlen zu begnügen, indem man die mittlere indifferente Concentration für das zu studirende Salz mit einigen Sprossen, und für den Salpeter mit anderen möglichst gleichen Sprossen derselben Art bestimmt. Die so erhaltenen Mittelwerthe dürfen dann als isotonische Concentrationen betrachtet und zur Berechnung des Coëfficienten benutzt werden.

Die individuellen Verschiedenheiten zwischen gleichnamigen, zu gleicher Stunde und an demselben Standorte möglichst sorgfältig ausgewählten Sprossen sind aber immer noch derart, dass nur aus zahlreichen Versuchen Mittelzahlen von hinreichender Genauigkeit abgeleitet werden dürfen.

So zahlreiche Sprosse lieferte mir fast nie eine Pflanze, und ich habe deshalb gewöhnlich drei bis vier Arten zur Feststellung jedes einzelnen isotonischen Coëfficienten benutzt. Ein Blick auf die Tabellen des nächsten Paragraphen wird zeigen, dass die mit verschiedenen Arten für dasselbe Salz berechneten Mittelzahlen stets nur sehr unwesentlich von einander abweichen, dass das Endergebniss somit als von der Natur der benutzten Arten völlig unabhängig betrachtet werden darf. Wäre dies nicht der Fall, so wäre die Methode völlig unzuverlässig, da es sich ja um die Feststellung einer physikalischen Eigenschaft des betreffenden Salzes handelt. Somit liefert uns die Anwendung verschiedener Arten zu demselben Zwecke eine sehr gewünschte Controle.<sup>1)</sup>

Nach diesen einleitenden Bemerkungen wenden wir uns jetzt zur Beschreibung der angewandten Methode und geben dabei zunächst eine ausführliche Schilderung der Art und Weise, wie die Versuche ausgeführt wurden, um darauf zur Begründung der Methode

---

1) Ueber die Bedeutung dieser Thatsache vergleiche man auch Abschn. II, § 5, S. 483.

und zur kritischen Betrachtung der möglichen Fehlerquellen überzugehen.

Bei der Ausführung der Versuche war es nach dem oben Mitgetheilten die Aufgabe, für möglichst gleiche Sprosse derselben Art diejenige mittlere Concentration des Salpeters und des zu untersuchenden Salzes zu bestimmen, in der Kreuzstreifen solcher Sprosse weder an Krümmung zunehmen noch verlieren.

Um dazu stets eine hinreichende Anzahl von Sprossen vorrätbig zu haben, wurden für jeden Versuch zehn junge kräftig wachsende, unter sich möglichst gleiche und gleichaltrige Sprosse (meist Blüthenstiele) mit grösster Sorgfalt ausgesucht. Dieses geschah Morgens 8 Uhr; die Sprosse wurden darauf entblättert und in den meisten Fällen entgipfelt, und, nachdem die untere Wandfläche erneuert worden war, in einem engen Cylinderglase in frisches Brunnenwasser völlig untergetaucht. Hier blieben sie während 1—2 Stunden und hatten also die Gelegenheit, das Maximum ihrer Turgescenz zu erreichen und somit etwa vorhandene Unterschiede in ihrem zufälligen Wasserreichthum auszugleichen. Von diesem Materiale dienten 3—4 Exemplare für die Bestimmung der indifferenten Concentration des zu untersuchenden Salzes, 3—4 andere zur Ermittlung desselben Werthes für Kalisalpeter und die übrigen theils als Reserve, theils zu Vorversuchen zur vorläufigen Orientirung über die Lage der betreffenden Grenze (vergl. S. 440). Diese Vorversuche sind in den Tabellen des nächsten Paragraphen nicht mit angeführt und selbstverständlich von der Berechnung der Mittelzahlen ausgeschlossen worden.

Nach hinreichend langem Aufenthalt in Wasser wurde nun mit jedem einzelnen Spross in folgender Weise verfahren. Der jüngste Theil wurde in einer Länge von 7 cm abgeschnitten und flach auf den Tisch gelegt, mit einem scharfen Messer der Länge nach vorsichtig in zwei möglichst gleiche Hälften getheilt. Die beiden Schnittflächen wurden darauf auf Filtrirpapier abgetrocknet und jede Hälfte nochmals in derselben Weise gespalten. Die vier so erhaltenen Kreuzstreifen krümmen sich bei der Isolirung anfangs plötzlich, die Krümmung nimmt aber noch einige Zeit langsam zu, bis sie schliesslich ihr Maximum erreicht. Sobald es völlig sicher, dass dieses Stadium eingetreten ist, wird in einer demnächst zu be-

schreibenden Weise der Grad der Krümmung abgelesen und jeder Kreuzstreifen vorsichtig in die für ihn bestimmte Lösung gebracht und untergetaucht. Es sind dazu in vier grosse Uhrgläser je etwa 10 CC der betreffenden Flüssigkeiten gebracht. Für denselben Spross enthalten die Lösungen selbstverständlich dasselbe Salz, aber in verschiedenen Concentrationen. Diese letzteren sind so gewählt, dass zwei ein wenig über und die zwei anderen ein wenig unter dem vorläufig ermittelten mittleren Werthe der indifferenten Concentration liegen. In den Lösungen zeigen nun die Kreuzstreifen je nach der Natur des Salzes schon nach 3—4, oder erst nach einigen weiteren Minuten das Resultat an. In den schwächeren Lösungen sieht man die Krümmungen zunehmen, in den stärkeren nehmen sie ab. Die indifferente Concentration liegt also zwischen der stärksten Lösung, in der die Krümmung zunimmt, und der schwächsten, in der sie sich verringert, und ist somit durch den Versuch um so genauer gefunden, je geringer der Unterschied zwischen diesen beiden Lösungen ist. Für die Berechnung der Mittelzahlen wird in diesen Fällen das Mittel aus diesen beiden Concentrationen als indifferente Concentration für die betreffende Pflanze betrachtet; eine Annahme, welche in Hinblick auf den geringen Unterschied dieser beiden Concentrationen für den hier verfolgten Zweck völlig berechtigt ist. Bisweilen findet in einer der Lösungen weder ein Aufwinden noch ein Zurückgehen statt, und in diesem Falle hat man die indifferente Concentration mit der grössten unter den gegebenen Bedingungen überhaupt möglichen Genauigkeit gefunden.

Nachdem nun drei bis vier gelungene Versuche mit dem fraglichen Salze und ebenso viele mit Kalisalpeter gemacht worden sind, findet die Berechnung in folgender Weise statt. Zunächst leite ich einerseits für das Salz, andererseits für den Kalisalpeter eine mittlere indifferente Concentration aus den einzelnen direct gefundenen Werthen ab. Waren die Sprosse einander genügend gleich, so dürfen nach dem im Eingange Gesagten die beiden mittleren Concentrationen als isotonische betrachtet werden. Ihr Quotient ist also das gesuchte Verhältniss der isotonischen Concentrationen; und aus der Mittelzahl der für drei bis vier Arten in dieser Weise berechneten Verhältnisse lässt sich durch Multiplication mit 3 der isotonische Coëfficient ableiten (S. 432).

Die Bestimmung des Krümmungsgrades der Kreuzstreifen geschah in einer sehr einfachen Weise, zu der ich mich entschloss, nachdem manche Versuche, ihn mit dem Cyclometer<sup>1)</sup> zu messen, dieses Verfahren bei so starken Krümmungen als unbrauchbar hatten erkennen lassen. Ich habe die Krümmung als Kreisbogen betrachtet und nun nach dem Augenmaasse bestimmt, welchen Theil eines ganzen Kreises der Streifen machte. Bis auf  $\frac{1}{8}$  des Umfanges lässt sich dies stets mit völliger Sicherheit entscheiden, und die Bewegungen meiner Streifen in den Lösungen waren meist solche, dass in wenigen Minuten weit grössere Aenderungen eintraten. Die Methode reichte in allen Fällen völlig hin, um ohne jeden Zweifel zu constatiren, ob der Streifen seine Krümmung vergrösserte oder verminderte. Konnte ich keine Zu- oder Abnahme mit Sicherheit constatiren, so betrachtete ich die Krümmung als unverändert. Obgleich ich in meinen Notizen die Grösse der Krümmung vor und am Ende des Versuches jedesmal eingeschrieben habe, werde ich diese Zahlen in den Tabellen des folgenden Paragraphen nicht mittheilen, sondern einfach angeben, ob Zu- oder Abnahme, oder endlich Gleichbleiben der Krümmung beobachtet wurde. Denn die Grösse der Veränderung ist für das Resultat gleichgültig.

Die individuellen Verschiedenheiten gleichnamiger Sprosse können als die Hauptquelle der möglichen Fehler in den schliesslichen Werthen der isotonischen Coëfficienten betrachtet werden, gegen der alle anderen Fehlerquellen, bei richtiger Ausführung der Versuche, nahezu ganz verschwinden. Ueberblickt man die Tabellen des folgenden Paragraphen, so fällt es sogleich auf, dass nur in relativ seltenen Fällen für sämtliche Sprosse derselben Art, welche in denselben Lösungen untersucht wurden, die indifferente Concentration genau dieselbe ist. So lag sie z. B. für *Centranthus ruber* in Chlorkalium bei Einem Sprosse bei 0.18 Aeq., bei einem anderen bei 0.20 Aeq., und bei dem dritten zwischen diesen beiden Werthen. In solchen Fällen zeigten die sämtlichen vier Streifen Eines Sprosses dasselbe Verhalten, indem auch die der Grenze ferner liegenden durch grössere Zu- oder Ab-

---

1) Arbeiten des Bot. Instituts in Würzburg, Bd. I, S. 247.

nahme ihrer Krümmung, die abweichende Lage der Grenze bestätigten. Liegt z. B. die indifferente Concentration für einen Spross höher als für einen zweiten, so beobachtet man in gleichen Lösungen unterhalb der Grenze bei ersterem eine stärkere Krümmung, in gleichen Concentrationen oberhalb der Grenze bei ersterem einen geringeren Verlust an Krümmung als bei letzterem. Diese That-sachen, obgleich nicht in die Tabellen aufgenommen, wurden bei den Versuchen stets berücksichtigt, da sie die Sicherheit gaben, dass nicht etwa zufällige beim Spalten entstandene Unterschiede in den Streifen die Ursache der abweichenden Grenze waren.

Fast immer sind die Differenzen in der Lage der Grenze gering, und je reichlicher das Material, aus dem man seine Exemplare aussuchen kann, um so vollständiger wird auch die Uebereinstimmung, um so zuverlässiger das Resultat. Bei meinen Versuchen waren es vorwiegend *Centranthus ruber* und *Rudbeckia triloba*, von denen mir ein reichliches Material zur Verfügung stand, und die mit diesen beiden Arten angestellten Versuche lieferten in vielen Fällen auffallend gleiche Resultate. Bei anderen Arten war die Wahl des Materials häufig eine mehr beschränkte und die mit ihnen gemachten Versuche zeigten oft grössere Abweichungen. Mehrere Arten mussten aus diesem Grunde sogar gänzlich von den Versuchen ausgeschlossen werden. Aber auch bei den beiden erwähnten Pflanzen war es nie möglich, diese Fehlerquelle völlig zu umgehen.

Die erwähnten Gründe forderten die Ermittlung von Mittelzahlen, deren Zuverlässigkeit selbstverständlich von der Vergleichbarkeit des Materials und von der Anzahl der zur Berechnung jeder Grösse angestellten Versuche abhängt. Die Anzahl der für einen Versuch disponiblen Exemplare wird aber wesentlich durch die Reichlichkeit des überhaupt vorhandenen Materiales bestimmt, welche nur in seltenen Fällen eine solche ist, dass man auf Ein Mal eine solche Anzahl von Sprossen von einer Art aussuchen kann, dass diese zur Gewinnung einer endgültigen Mittelzahl ausreichen würden. Dazu kommt, dass zu vergleichende Sprosse aus später darzulegenden Gründen an demselben Tage verarbeitet werden müssen. Diese Erfahrungen waren es im Wesentlichen, welche mich bestimmten, die Zahl der Versuchsexemplare jeder einzelnen Art zu beschränken, dagegen aber, wie bereits erwähnt, stets 3—4 verschiedene Arten

zur Bestimmung des Coëfficienten eines und desselben Salzes zu benutzen. Es kommen nun gewöhnlich etwa 12—16 Versuche und etwa ebenso viele Control-Versuche in Kalisalpeter auf jedes untersuchte Salz, und der Erfolg hat gelehrt, dass hiedurch der Einfluss der individuellen Verschiedenheiten im Wesentlichen eliminiert wurde.

Die Zahl der Lösungen und die Wahl ihrer Concentrationen, welche für jeden einzelnen Versuch benutzt werden konnten, war bei dieser Methode selbstverständlich eine beschränkte. Nur dünne Sprosse haben eine hinreichende Empfindlichkeit für unsere Versuche, und diese lassen sich, ohne wesentliche Beeinträchtigung der Vergleichbarkeit der einzelnen Streifen, in nicht mehr als vier Streifen zerlegen. Für jeden einzelnen Spross können also nur vier Lösungen verschiedener Stärke zur Ermittlung der indifferenten Concentration benutzt werden. Diese müssen aber im Voraus gewählt werden, bevor man die individuelle Lage der Grenze für den betreffenden Spross kennt. Hieraus ergibt sich, dass die Wahl so getroffen werden muss, dass sie alle die zu erwartenden Verschiedenheiten dieser Grenze umfassen. Je grösser nun die individuellen Abweichungen sind, um so geringer wird die erlaubte Annäherung der einzelnen Concentrationsgrade an einander sein. Es leuchtet aber ein, dass gerade von dieser Annäherung die erreichbare Genauigkeit der Zahlen bedingt wird, und es sind also die individuellen Verschiedenheiten in Verbindung mit der beschränkten Zahl der Streifen eines Sprosses, welche dieser Genauigkeit ihre Grenze anweisen.

Nach mehrfachen Vorversuchen hat sich herausgestellt, dass eine Concentrationsdifferenz von 0.02 Aeq. beim Kalisalpeter für alle Fälle zweckmässig ist, und die bei den übrigen Salzen erlaubten Differenzen liessen sich damit aus den Ergebnissen meiner Vorversuche jedesmal leicht berechnen.

Wählt man die Unterschiede geringer, so ist es eine leicht vorherzusagende Folge der individuellen Verschiedenheiten, dass für manche Sprosse die indifferente Concentration ausserhalb der vier für den Versuch gewählten Lösungen fallen wird, und dass solche Sprosse also für die Bestimmung der Mittelzahlen verloren sind. Dazu kommt, dass die Bewegungen der Streifen um so geringer aus-

fallen, je näher die Lösungen der Grenz-Concentration gewählt sind, und es würde hierdurch die Bestimmung der Grenze häufig ebenso viel an Genauigkeit verlieren, als sie durch die grössere Annäherung der Concentrationen gewinnen würde.

Alle diese Gründe bestimmten mich, eine zu geringe Differenz der einzelnen Concentrationen zu vermeiden, und die oben genannte Zahl (0.02 Aeq. Kalisalpeter) bei sämtlichen Versuchen in Anwendung zu bringen. Aber auch bei dieser Bestimmung bleibt eine möglichst sorgfältige Auswahl des Versuchsmateriales eine der wichtigsten Bedingungen der Genauigkeit des Resultates.

Nachdem somit die Hauptzüge der Methode besprochen und ihre Nothwendigkeit unter den gegebenen Umständen dargethan worden, können wir jetzt zur näheren Erläuterung der weiteren Einzelheiten übergehen. Es wird sich dabei zeigen, dass auch diese durch das Streben, Fehlerquellen möglichst zu vermeiden, vorgeschrieben worden sind.

In erster Linie kommt die Dauer der Versuche in Betracht, und habe ich die Gründe auseinander zu setzen, welche einen längeren Aufenthalt der Streifen in den Lösungen nicht wünschenswerth machten. Meine Versuche dauerten nur so lange, bis mit voller Sicherheit zu entscheiden war, ob eine Zunahme oder eine Abnahme der Krümmungen stattfand, mit anderen Worten, ob die Concentration der betreffenden Lösung, oberhalb oder unterhalb der indifferenten Concentration für den untersuchten Spross lag. Dieses erforderte bei rasch diffundirenden Salzen meist nur 3—4, bei den meisten weniger diffusiblen Stoffen 4—6 Minuten, bei schwer diffundirenden Salzen wie das Citronensaure Magnesium noch längere Zeit. In einer so kurzen Frist wird die wahrnehmbare Bewegung ausschliesslich durch den osmotischen Vorgang der Aufnahme oder Abgabe von Wasser durch die lebendigen Zellen bedingt, also gerade durch den Process, der als Grundlage unserer Methode gewählt wurde. Lässt man die Streifen während einer längeren Zeit in den Lösungen, so erschaffen sie in den stärkeren vollkommen, in denjenigen aber, welche anfangs eine Zunahme der Krümmung bedingten, nimmt diese nachher stundenlang zu, da das Mark zu wachsen fortfährt und sich dabei bedeutend stärker verlängert als die Epidermis. Diese Erfahrungen sprechen nun zwar nicht gegen eine längere Versuchsdauer,

wohl aber ist dieses der Fall mit jenen Lösungen, welche anfangs eine geringe Abnahme der Krümmung verursachen und also der indifferenten Concentration auf der oberen Seite am nächsten liegen. Denn in diesen kehrt die Bewegung der Kreuzstreifen nach kürzerer oder längerer Zeit um, indem sie anfangen, sich aufzuwinden, weil auch in ihnen Wachstum, wenn auch langsam, stattfindet. Dieser Umstand hat zur Folge, dass die Versuche stets beendigt werden müssen, bevor dieser Einfluss des Wachsthum sich geltend machen kann. Bei längerer Versuchsdauer wird somit die Reinheit des Vorganges getrübt, namentlich in jenen Lösungen, welche die gesuchte Grenze am nächsten umschliessen, und auf welche es also gerade am meisten ankommt.

Wie das Wachstum unverletzter Sprosse, nach Sachs' schönen Untersuchungen, stossweise vor sich geht, so nimmt auch die Krümmung der Kreuzstreifen unter den gegebenen Versuchsbedingungen stossweise zu. Und zwar sind die Stösse in den meisten Fällen so stark und so unregelmässig, dass sie den normalen Gang der Krümmungszunahme unkenntlich machen, und somit eine Vergleichung der Krümmungsintensität derselben Streifen zu verschiedenen Zeiten, oder auch verschiedener Streifen nach derselben Zeit, völlig illusorisch machen. Vielfache Versuche, denselben Streifen nach einander in zwei verschiedenen Salzlösungen zu untersuchen und dadurch nach Art der plasmolytischen Transportmethode (S. 465) die individuellen Verschiedenheiten völlig zu umgehen, scheiterten auf diese stossweisen Aenderungen des Wachsthum.

Eine zweite Ursache, welche mich veranlasste, die Versuchsdauer möglichst zu beschränken, ist die Gefahr des Sterbens, der die Parenchymzellen in der Nähe der Wundfläche ausgesetzt sind. Es leuchtet ein, dass das Sterben einzelner Zellen eine Verkürzung des Parenchyms an der betreffenden Stelle und somit eine Abnahme der Krümmung des ganzen Streifens zur Folge haben muss. Dieses machte sich in Streifen, welche anfangs ihre Krümmung verstärkten, oft bereits nach 5—6 Stunden durch eine Verminderung der Krümmungsintensität unter zunehmender Erschlaffung fühlbar, bei einigen Arten sogar in noch kürzerer Frist.

Durch die kurze Versuchsdauer wird andererseits eine unvermeidliche Fehlerquelle eingeführt, welche bei rasch diffundirenden

Salzen zwar unschädlich ist, bei langsam diffundirenden aber nicht ohne Einfluss auf das endgültige Resultat bleiben kann, wie bereits im ersten Abschnitt S. 438 auseinander gesetzt wurde. Denn letztere dringen während des kurzen Aufenthalts der Sprosse in den Lösungen nicht so vollständig in das Gewebe ein wie der Salpeter; ihre Wirkung muss also relativ zu schwach gefunden werden. Aus diesem Grunde ist zu erwarten, dass bei Salzen wie citronensaures Kalium oder Magnesium, bei Rohrzucker u. s. w. die isotonischen Coëfficienten um ein Geringes zu niedrig gefunden werden werden.

In zweiter Linie ist der Einfluss des Wassergehaltes zu betrachten. Frisch abgeschnittene Sprosse derselben Art wechseln je nach den Umständen äusserst stark in ihrem Wassergehalt. Ich habe meine Sprosse deshalb stets vor den Versuchen in den Zustand maximaler Turgescenz versetzt, denn nur in diesem sind sie hinreichend vergleichbar. Versäumt man dieses, so ist man einer Reihe von Fehlern ausgesetzt, welche wir jetzt kurz erörtern wollen. Es ist leicht einzusehen, dass die indifferente Concentration zu hoch gefunden werden muss, wenn man Sprosse im welken Zustande untersucht. Denn wenn die Zellsäfte durch Verdunstung Wasser verloren haben, so ist ihre Concentration und somit ihre Affinität zu Wasser zeitweise eine grössere. Versuche mit *Oenanthe silaifolia* und *Levisticum officinale* bestätigten diese Folgerung und zeigten, dass ein 1—2stündiger Aufenthalt entblätterter und entgipfelter Sprosse an der Luft bereits eine Verschiebung der indifferenten Concentration um etwa 0,04 Aeq. Kalisalpeter mit sich führen kann. Der Wasserreichthum pflanzlicher Organe nimmt, zumal an sonnigen Tagen, während des Tages stetig ab; und Sprosse von *Centranthus ruber*, um drei Uhr des Nachmittags eingesammelt, zeigten dem entsprechend einen erheblich höheren Werth für die indifferente Concentration als solche, welche an demselben Tage Morgens 8 Uhr abgeschnitten und untersucht waren. Zu verschiedenen Tageszeiten abgeschnittene Sprosse sind also nicht vergleichbar. Ebenso liegt der erwähnte Werth bei trockenem Wetter höher, als nachdem es einige Tage geregnet hat; es ist dies der Grund weshalb an jedem Tage die Controlle mit Kalisalpeter für die benutzte Art wiederholt werden musste. An einer schattigen, feuchten Stelle gewachsene Pflanzen haben eine niedrigere indifferente Concentration als andere Exemplare derselben

Art, welche sich auf offenem Felde, in trockenem Boden entwickelten. Beschattete Sprosse dürfen mit gut beleuchteten sogar derselben Pflanze nicht verglichen werden. Auf diese Umstände ist bei der Wahl des Materiales Rücksicht zuzunehmen, und die Auswahl der brauchbaren Arten wird hierdurch wesentlich beschränkt.

Ein ein- bis zweistündiger Aufenthalt der um 8 Uhr Morgens eingesammelten und entblätterten Sprosse in Wasser genügte völlig, um noch etwa vorhandene Differenzen im Wassergehalt auszugleichen. Da aber die mit einer Art anzustellenden 6—8 Versuche etwa eine Stunde in Anspruch nehmen und ich an jedem Morgen mit zwei Arten die Versuche durchführte, wechselte der Aufenthalt der einzelnen Sprosse im Wasser von etwa 2 bis 4 Stunden. Um mich zu überzeugen, dass hierdurch keine Ungleichheit bedingt wurde, habe ich mit *Centranthus ruber* und *Rudbeckia triloba* mit an demselben Morgen und gleichzeitig eingesammeltem Materiale einige Versuche nach einer, andere aber erst nach etwa 2—4 Stunden gemacht. Im Mittel aus je sechs Versuchen war die Differenz in der Lage der indifferenten Concentration für erstere Art  $\underline{0}$  und für die zweite 0.007 Aeq. Kalisalpeter, also eine zu vernachlässigende Grösse.

Befolgt man die gegebene Vorschrift, so ist also ein Fehler aus etwaigen Differenzen im Wassergehalte der Sprosse nicht zu befürchten.

Die Ausführung der Versuche bringt einige Fehlerquellen mit sich, deren Einfluss aber bei genauem Arbeiten beseitigt werden kann. Sie sollen jetzt noch kurz berührt werden.

Fallen die vier Kreuzstreifen eines Sprosses nicht völlig gleich aus, so wird dadurch zwar nicht die Lage ihrer indifferenten Concentration, wohl aber ihre Empfindlichkeit beeinflusst. In solchen Fällen habe ich stets die beiden sich am stärksten krümmenden, also empfindlichsten Streifen der vermuthlichen Grenze zunächst gebracht, wodurch das Resultat nur an Schärfe gewinnen konnte. Wichtiger ist es, dass die Streifen gerade so lange an der Luft bleiben, dass sie dort ihre volle Krümmung annehmen, ohne durch Verdunstung etwas zu verlieren. Denn wird ein Streifen zu rasch in eine Lösung von nahezu indifferenter Concentration gebracht, so wird er hier anfangs seine Krümmung verstärken, auch wenn die Lösung ihm Wasser entzieht, und also in dem nächsten Augenblicke ein Ent-

winden veranlassen wird. Hat der Streifen an der Luft durch Verdunstung Wasser verloren, bevor er in die Lösung gelangte, und liegt die Concentration dieser letzteren nur wenig oberhalb der indifferenten, so beobachtet man gleichfalls erst eine Zunahme und bald darauf eine Abnahme der Windungen. In beiden Fällen rührt die anfängliche Zunahme der Krümmung von dem zu langen resp. zu kurzen Aufenthalt in der Luft her, und ist also für die Bestimmung der indifferenten Concentration nicht entscheidend. Glücklicherweise ist diese Fehlerquelle nur bei langsam diffundirenden Lösungen gefährlich; die stärkere Wirkung der rasch diffundirenden Salze liess eine solche anfängliche Zunahme der Krümmung in Lösungen oberhalb der indifferenten Concentration nur sehr selten zur Geltung kommen. Unterhalb dieser Concentration ist sie selbstverständlich nicht zu befürchten, und in einiger Entfernung oberhalb kann die Erscheinung gleichfalls niemals eintreten, weil hier den Sprossen zu rasch Wasser entzogen wird.

Ganz besondere Sorgfalt wurde bei meinen Versuchen auf die Herstellung reiner Lösungen verwendet. Da hierbei aber die bekannten Regeln der Chemie gefolgt wurden, so halte ich eine ausführliche Beschreibung für überflüssig. Das wichtigste wird bei den einzelnen Versuchen angegeben werden, soweit es wenigstens nicht bereits in § 2 des vorigen Abschnittes mitgetheilt wurde. Ich verweise deshalb auf die dort beschriebenen Versuche.

## § 2. Beschreibung der Versuche.

Nach der im vorigen Paragraphen beschriebenen Methode habe ich im Juli und August 1882 für die wichtigsten der gewöhnlichen Bestandtheile des Zellsaftes und für einige andere Stoffe die isotonischen Coëfficienten bestimmt. Die Resultate sind in den folgenden Tabellen enthalten, zu deren Erläuterung Folgendes bemerkt werden mag.

Jede Tabelle enthält die Versuche mit Einem Stoffe und die Controleveruche mit Kalisalpeter, welche mit vergleichbaren und in gleicher Weise behandelten Sprossen angestellt wurden. In jeder dieser beiden Hälften der Tabelle giebt jede Horizontalzeile die mit den vier Kreuzstreifen desselben Sprosses gewonnenen Resultate an; jede

Verticalspalte die in derselben Lösung angestellten Versuche; die Concentration der Lösungen ist über den einzelnen Spalten eingetragen worden. Das Zeichen + bedeutet eine Zunahme, — eine Abnahme der Windungen, während bei = keine Aenderung in dem Krümmungszustande eingetreten ist. Für jeden Spross sind gewöhnlich sämtliche vier Beobachtungen mitgetheilt, obgleich eine oder zwei genügend gewesen wären; in manchen Fällen sind aber, um die Zahl der Spalten nicht unnöthiger Weise zu vergrößern, nur drei der vier Beobachtungen aus meinen Notizen angeführt worden.

Es verdient besonders hervorgehoben zu werden, dass nur die Gesammtheit der mit einer Art angestellten Versuche mit den betreffenden Controleversuchen verglichen werden soll, und dass nicht etwa die beiden in derselben Horizontalzeile stehenden Versuche zu einander in irgendwie innigerer Beziehung stehen als zu den übrigen Sprossen derselben Art in derselben Tabelle. Die Anordnung der verschiedenen mit derselben Art angestellten Experimente ist eine rein zufällige.

Jeder einzelne mit Einem Spross angestellte Versuch hatte zum Zweck, die indifferente Concentration für diesen zu bestimmen, d. h. zu ermitteln, bei welcher Concentration seine Kreuzstreifen sich weder auf- noch abwinden. Aus den in den Tabellen mitgetheilten Beobachtungen an den einzelnen Streifen wurde dieses Resultat nach S. 487 abgeleitet und in die Ind. Conc. (Indifferente Concentration) überschriebene letzte Spalte jeder Hälfte eingetragen. Die mittleren indifferenten Concentrationen, wie sie für dieselbe Art mit der untersuchten Verbindung und mit Kalisalpeter gefunden wurden, sind nach dem vorigen Paragraphen als isotonische Concentrationen zu betrachten, und zur Berechnung der isotonischen Coëfficienten zu verwerthen.

Diese Berechnung findet sich unterhalb der Tabellen. Zunächst habe ich für jede Art die mittlere indifferente Concentration für das betreffende Salz und für den Salpeter berechnet. Für die Salze einbasischer Säuren mit alcalischer Base sind die Aequivalentzahlen und Moleculargewichte dieselben und weisen die in Aeq. ausgedrückten Concentrationen ohne weiteres die Zahl der Moleküle pro Liter an. Das Verhältniss beider Zahlen ist hier also direct verwendbar. Für die Salze der zwei- oder dreibasischen Säuren und

für jene der Erdalkalien bedürfen diese Zahlen aber zuerst der Umrechnung in Moleküle, was je nach der Valenz der betreffenden Verbindung durch Multiplication mit  $\frac{1}{2}$  resp.  $\frac{1}{3}$  erreicht und jedesmal angegeben wird.

Bei der Berechnung der Mittelzahlen habe ich die Brüche der Umrechnung in Decimalen vorgezogen und aus diesem Grunde den Gehalt der isotonischen Lösungen an Molekülen pro 100 Liter angegeben. Die Verhältnisse habe ich bis zur dritten Decimale berechnet, die isotonischen Coëfficienten nur bis zur zweiten.

## I. Rohrzucker.

Rohrzucker.  $C_{12}H_{22}O_{11}$ . Mol.-Gew. 342.

Die Lösungen wurden aus reinstem Kandiszucker, welcher pro Gramm weniger als 1 Milligramm Asche enthielt, bereitet, und nach Procenten dargestellt. Salpeterlösungen in Aequivalenten. Als Versuchsmaterial dienten junge, die seitlichen Inflorescenzen tragende Sprosse von *Centranthus ruber*, Blütenstiele von *Eschscholtzia californica*, *Rudbeckia triloba* und von männlichen Blüten der *Lagenaria vulgaris*.

	Rohrzucker.							Kalisalpeter.					
	8	8.5	9	9.5	10	10.5	Ind. Conc.	0.12	0.14	0.16	0.18	0.20	Ind. Conc.
<i>Centranthus ruber</i> . . .				+	-	-	9.75 %	+	+	+	-		0.19
Nr. II				+	=	-	10	+	+	+	-		0.19
Nr. III				+	-	-	9.75	+	+	=	-		0.18
<i>Rudbeckia triloba</i> . . .			+	+	=	-	10	+	+	-	-		0.17
Nr. II			+	-	-	-	9.25	+	+	-	-		0.18
Nr. III			+	+	=	-	10	+	+	-	-		0.17
Nr. IV			+	+	-	-	9.75						
<i>Eschscholtzia californica</i>			+	+	-		9.75	+	+	-	-		0.17
Nr. II			+	=	-	-	9.5	+	+	-	-		0.17
Nr. III			+	=	-	-	9.5	+	+	-	-		0.17
Nr. IV			+	-	-	-	9.25						
<i>Lagenaria vulgaris</i> . . .	+	=	-	-			8.5	+	=	-			0.14
Nr. II	+	-	-	-			8.25	+	+	-			0.15
Nr. III	+	-	-	-			8.25	+	=	-			0.14

Die mittleren indifferenten Concentrationen für die einzelnen Arten enthalten also pro 100 Liter die folgenden Anzahlen Molecüle:

	Rohrzucker.	KNO <sub>3</sub>	Verhältniss.
Centranthus ruber	$9\frac{5}{6} \times \frac{1}{342}$	18 <sup>2</sup> / <sub>3</sub>	0.649
Rudbeckia triloba	$9\frac{3}{4} \times \frac{1}{342}$	17 <sup>1</sup> / <sub>3</sub>	0.608
Eschscholtzia californica	$9\frac{1}{2} \times \frac{1}{342}$	17.0	0.612
Lagenaria vulgaris	$8\frac{1}{3} \times \frac{1}{342}$	14 <sup>1</sup> / <sub>3</sub>	0.588

Somit ist für Rohrzucker:

das mittlere Verhältniss zwischen den isotonischen Concentrationen . . . . .	0.614,
der isotonische Coëfficient . . . . .	1.84.

## II. Invertzucker.

Invertzucker (Dextrose und Levulose) C<sub>6</sub> H<sub>12</sub> O<sub>6</sub>. Molec.-Gew. 180.

Die vollständig invertirte Rohrzuckerlösung wurde auf etwa 10 pCt. Invertzucker verdünnt; sie enthielt nun 10.20 pCt. Trockensubstanz und keine Asche (vergl. S. 454).

Die für die Versuche bestimmten Lösungen sind nach Procenten dargestellt, und durch Verdünnung aus jener ersten Lösung bereitet.

Als Versuchsmaterial dienten, ausser den im vorigen Versuche genannten Arten, noch die Blütenstiele von *Cephalaria leucantha*.

	Invertzucker.					Ind. Conc.	Kalisalpeter.					Ind. Conc.	
	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5		0.14	0.16	0.18	0.20	0.22		0.24
Centranthus ruber . .	=	-	--	--		5.0 % <sub>0</sub>	=	-	-	-			0.16
Nr. II	+	=	-			5.0	+	=	-	-			0.16
Nr. III	+	=	-			5.0	+	+	-	-			0.17
Nr. IV	+	=	-			5.0	+	=	-	-			0.16
Rudbeckia triloba . .	+	=	-			5.0	+	+	+	-			0.19
Nr. II	+	+	-			5.25	+	+	-	-			0.17
Nr. III	+	+	-			5.25	+	+	-	-			0.17
Nr. IV	+	=	-			5.0							

	Invertzucker.					Kalisalpeter.							
	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	Ind. Conc.	0.14	0.16	0.18	0.20	0.22	0.24	Ind. Conc.
Cephalaria leucantha	+	+	=	-		6.0				=	-	-	0.20
Nr. II		+	+	-		6.25		+	+	=	-		0.22
Nr. III		+	=	-		6.0							
Nr. IV		+	-	-		5.75							

Die mittleren indifferenten Concentrationen für die einzelnen Arten enthalten also pro 100 Liter die folgenden Anzahlen Molecüle:

	Invertzucker.	KNO <sub>3</sub>	Verhältniss.
Centranthus ruber	$5.0 \times \frac{1}{180}$	16 $\frac{1}{4}$	0.585
Rudbeckia triloba	$5\frac{1}{3} \times \frac{1}{180}$	17 $\frac{2}{3}$	0.620
Cephalaria leucantha	$6.0 \times \frac{1}{180}$	21	0.630

Somit ist für Invertzucker:

das mittlere Verhältniss der isotonischen Concentrationen . . . . .	0.612,
der isotonische Coëfficient . . . . .	1.84.

Mit denselben Arten und genau in derselben Weise wurde für reinen Traubenzucker des Handels der isotonische Coëfficient zu 1.91 gefunden. Da ich aber die Substanz nicht selbst gereinigt habe, theile ich die betreffenden Versuche nicht mit.

### III. Chlorkalium.

K Cl. Mol.-Gew. 74.5.

Reines Chlorkalium wurde durch Umkrystallisiren weiter gereinigt.

Als Versuchsmaterial dienten ausser den früher namhaft gemachten Arten noch die Stiele jugendlicher Blüthenschirme von *Sium latifolium* und *Aethusa Cynapium*.

	Chlorkalium.					Kalisalpeter.				
	0.16	0.18	0.20	0.22	Ind. Conc.	0.14	0.16	0.18	0.20	Ind. Conc.
Centranthus ruber . . . . .	+	+	=	-	0.20	+	+	+	-	0.19
Nr. II	+	=	-	-	0.18	+	+	+	-	0.19
Nr. III	+	+	-	-	0.19	+	+	+	-	0.19
Eschscholtzia californica .	+	-	-		0.17	+	-	-	-	0.15
Nr. II	+	-	-		0.17	+	+	-	-	0.17
Nr. III	+	=	-		0.18	+	+	-	-	0.17
Sium latifolium . . . . .	+	+	-		0.19	+	+	-	-	0.17
Nr. II	+	=	-		0.18	+	+	-	-	0.17
Nr. III	+	=	-		0.18	+	-	-	-	0.15
Nr. IV	+	-	-		0.17	+	=	-	-	0.16
	0.38	0.32	0.34	0.36		0.28	0.30	0.32	0.34	
Aethusa Cynapium . . . . .	+	+	-	-	0.33		+	=	-	0.32
Nr. II	+	+	-	-	0.33	+	=	-	-	0.30
Nr. III	+	+	-	-	0.33	+	+	=	-	0.32

Die mittleren indifferenten Concentrationen für die einzelnen Arten enthalten also pro 100 Liter die folgenden Anzahlen Moleküle:

	Chlorkalium.	KNO <sub>3</sub>	Verhältniss.
Centranthus ruber	19	19	1.00
Eschscholtzia californica	17 $\frac{1}{3}$	16 $\frac{1}{3}$	0.942
Sium latifolium	18	16 $\frac{1}{4}$	0.903
Aethusa Cynapium	33	31 $\frac{1}{3}$	0.949

Somit ist für Chlorkalium:

das mittlere Verhältniss der isotonischen	
Concentrationen . . . . .	0.948,
der isotonische Coëfficient . . . . .	2.84.

#### IV. Chlornatrium.

Na Cl. Mol.-Gew. 58.5.

Das Salz wurde durch Umkrystallisiren gereinigt, und die Reinheit mittelst einer auf Zehntelnormal-Salzsäure gestellten Lösung von salpetersaurem Silber geprüft. Als Versuchsmaterial dienten junge,

die seitlichen Inflorescenzen tragende Sprosse von *Centranthus ruber*, Blüthenstiele von *Eschscholtzia californica*, und Seitensprosse von *Impatiens Roylii*, letztere von einem schattigen Standort.

	Chlornatrium.					Kalisalpeter.					
	0.14	0.16	0.18	0.20	Ind. Conc.	0.12	0.14	0.16	0.18	0.20	Ind. Conc.
<i>Centranthus ruber</i> . . .	+	+	-	-	0.17		+	+	-	-	0.17
Nr. II	+	+	+	-	0.19		+	+	-	-	0.17
Nr. III	+	+	-	-	0.17		+	+	-	-	0.17
Nr. IV	+	+	-	-	0.17		+	+	=	-	0.18
<i>Eschscholtzia californica</i>	+	+	-		0.17		+	+	-		0.17
Nr. II	+	-	-	-	0.15		+	+	-	-	0.17
Nr. III	+	=	-	-	0.16		+	+	-	-	0.17
Nr. IV	+	=	-	-	0.16						
<i>Impatiens Roylii</i> . . . .	+	=	-		0.16	+	+	-	-		0.15
Nr. II	+	-	-		0.15	+	+	=	-		0.16
Nr. III	+	-	-		0.15	+	=	-	-		0.14
Nr. IV	+	-	-		0.15	+	+	=	-		0.16

Die mittleren indifferenten Concentrationen für die einzelnen Arten enthalten also pro 100 Liter die folgenden Anzahlen Molecüle:

	Chlornatrium.	KNO <sub>3</sub>	Verhältniss.
<i>Centranthus ruber</i>	17 $\frac{1}{2}$	17 $\frac{1}{4}$	0.986
<i>Eschscholtzia californica</i>	16	17	1.062
<i>Impatiens Roylii</i>	15 $\frac{1}{4}$	15 $\frac{1}{4}$	1.00

Somit ist für Chlornatrium:

das mittlere Verhältniss der isotonischen	
Concentrationen . . . . .	1.016,
der isotonische Coëfficient . . . . .	3.05.

#### V. Oxalsaures Kalium.

K<sub>2</sub>C<sub>2</sub>O<sub>4</sub>. Aequivalentzahl 83. Mol.-Gew. 166.

Krystalle: K<sub>2</sub>C<sub>2</sub>O<sub>4</sub> + H<sub>2</sub>O. Aequivalentzahl 92. Mol.-Gew. 184.

Das krystallisirte neutrale oxalsaure Kalium des Handels zeigte sich bei Einäscherung im Platiniegel und Titrirung der Asche als

rein, und wurde somit zu den Versuchen benutzt. Als Versuchsmaterial dienten ausser den jugendlichen, die seitlichen Inflorescenzen tragenden Sprossen von *Centranthus ruber*, noch jugendliche Blüthenstiele von *Rudbeckia triloba* und *Scorzonera hispanica*. Bei der letzteren Art wurden die Controleveruche im Kalisapeter ausnahmsweise 3—4 Stunden später als die Hauptversuche angestellt, die zur Controle verwandten Sprosse haben also bedeutend längere Zeit im Wasser untergetaucht gestanden, als die für den Hauptversuch bestimmten.

	Oxalsaures Kalium.							Kalisapeter.					
	0.26	0.28	0.30	0.32	0.34	0.36	Ind. Conc.	0.16	0.18	0.20	0.22	0.24	Ind. Conc.
<i>Centranthus ruber</i> .	+	+	=				0.30	+	+	=	—		0.20
Nr. II	+	+	+	—			0.31	+	+	=	—		0.20
Nr. III	+	=	—	—			0.28	+	+	=	—		0.20
<i>Rudbeckia triloba</i> .	+	=	—				0.28	+	+	—	—		0.19
Nr. II	+	=	—				0.28	+	+	—	—		0.19
Nr. III	=	—	—				0.26	+	=	—	—		0.18
<i>Scorzonera hispanica</i>			+	+	=	—	0.34		+	+	—	—	0.21
Nr. II			+	+	—	—	0.33		+	=	—	—	0.20
Nr. III			+	+	—	—	0.33		+	=	—	—	0.20

Die mittleren indifferenten Concentrationen für die einzelnen Arten enthalten also pro 100 Liter die folgenden Anzahlen Molecüle:

	Oxalsaures Kalium.	KNO <sub>3</sub>	Verhältniss.
<i>Centranthus ruber</i>	$29\frac{2}{3} \times \frac{1}{2}$	20	1.348
<i>Rudbeckia triloba</i>	$27\frac{1}{3} \times \frac{1}{2}$	$18\frac{2}{3}$	1.366
<i>Scorzonera hispanica</i>	$33\frac{1}{3} \times \frac{1}{2}$	$20\frac{1}{3}$	1.220

Somit ist für oxalsaures Kalium:

das mittlere Verhältniss der isotonischen	
Concentrationen . . . . .	1.311,
der isotonische Coëfficient . . . . .	3.93.

## VI. Schwefelsaures Kalium.

$K_2SO_4$ . Aequivalentzahl 87. Mol.-Gew. 174.

Die Versuche wurden mit dem durch Umkrystallisiren gereinigten Salze angestellt. Ausser bereits früher genannten Arten kamen auch jugendliche Schirmstiele von *Apium graveolens* zur Verwendung.

	Schwefelsaures Kalium.								Kalialpeter.					
	0.22	0.24	0.26	0.28	0.30	0.32	0.34	Ind. Conc.	0.14	0.16	0.18	0.20	0.22	Ind. Conc.
<i>Centranthus ruber</i> . . .			+	-	-			0.27	+	+	-	-		0.17
Nr. II		+	+	-	-			0.27		+	-	-		0.17
Nr. III		+	=	-	-			0.26	+	+	-	-		0.17
Nr. IV		+	-	-	-			0.25						
<i>Eschscholtzia californica</i>	+	+	-					0.25	+	=	-			0.16
Nr. II	+	=	-	-				0.24	+	+	-			0.17
Nr. III	+	=	-	-				0.24	+	+	-			0.17
<i>Sium latifolium</i> . . . .	+	+	=					0.26	+	+	-	-		0.17
Nr. II	+	=	-	-				0.24	+	+	-	-		0.17
Nr. III	+	+	+	-				0.27	+	+	+	-		0.19
Nr. IV	+	+	+	-				0.27	+	+	-	-		0.17
Nr. V	+	+	+	-				0.27						
<i>Apium graveolens</i> . . .						+	-	0.33				+	-	0.21
Nr. II						+	-	0.33			+	-	-	0.19
Nr. III					=	-	-	0.30			+	-	-	0.19
Nr. IV					+	+	-	0.33			+	=	-	0.20

Die mittleren indifferenten Concentrationen für die einzelnen Arten enthalten also pro 100 Liter die folgenden Anzahlen Molecüle:

	Schwefelsaures Kalium.	$KNO_3$	Verhältniss.
<i>Centranthus ruber</i>	$26\frac{1}{4} \times \frac{1}{2}$	17	1.295
<i>Eschscholtzia californica</i>	$24\frac{1}{3} \times \frac{1}{2}$	$16\frac{2}{3}$	1.370
<i>Sium latifolium</i>	$26\frac{1}{5} \times \frac{1}{2}$	$17\frac{1}{2}$	1.336
<i>Apium graveolens</i>	$32\frac{1}{4} \times \frac{1}{2}$	$19\frac{3}{4}$	1.224

Somit ist für schwefelsaures Kalium:

das mittlere Verhältniss der isotonischen

Concentrationen . . . . . 1.308,

der isotonische Coëfficient . . . . . 3.92.

## VII. Phosphorsaures Kalium.

$K_2HPO_4$ . Aequivalentzahl 58. Mol.-Gew. 174.

Die Lösung dieses Salzes wurde dargestellt, indem reine Phosphorsäure mit zwei Drittel Aequivalent reinem kohlensaurem Kalium versetzt, und die Kohlensäure durch vorsichtiges Erwärmen entfernt wurde. Durch Verdünnung auf ein vorher bestimmtes Volum wurden dann die Lösungen für die Versuche gemacht. Sie reagirten auf Lakmuspapier amphotisch. Versuche lehrten, dass Kreuzstreifen in Lösungen dieses Salzes von nahezu indifferenten Concentration ihre Krümmung während mehrerer Stunden vergrössern, und nach etwa 12 Stunden noch völlig turgescent und lebendig sind; die Lösungen dürfen somit für die Hauptversuche als unschädlich betrachtet werden. Zu dem früheren Versuchsmaterial kamen noch junge Blütenstiele männlicher Blüten von *Lagenaria vulgaris*.

	Phosphorsaures Kalium.							Kalialpeter.				
	0.36	0.38	0.40	0.42	0.44	0.46	Ind. Conc.	0.14	0.16	0.18	0.20	Ind. Conc.
<i>Centranthus ruber</i> . . .			+	-	-	-	0.41	+	+	+	=	0.20
Nr. II			+	=	-	-	0.42	+	+	+	-	0.19
Nr. III			+	+	-	-	0.43	+	+	+	-	0.19
Nr. IV			+	+	+	=	0.46					
<i>Impatiens Roylii</i> . . .		+	=	-			0.40	+	+	-	-	0.17
Nr. II		=	-	-			0.38	+	=	-	-	0.16
Nr. III		=	-	-			0.36	+	=	-	-	0.16
	0.30	0.32	0.34	0.36	0.38	0.40		0.12	0.14	0.16	0.18	
<i>Lagenaria vulgaris</i> . .	+	-	-				0.31	+	=	-	-	0.14
Nr. II	+	+	-				0.33	+	=	-	-	0.14
Nr. III								+	+	-	-	0.15
<i>Sium latifolium</i> . . . .			+	+	+	-	0.39		+	=	-	0.16
Nr. II			+	=	-	-	0.36		+	+	-	0.17
Nr. III			+	=	-	-	0.36		+	-	-	0.15

Die mittleren indifferenten Concentrationen für die einzelnen Arten enthalten somit pro 100 Liter die folgenden Anzahlen Molecüle:

	Phosphorsaures		Verhältniss.
	Kalium.	KNO <sub>3</sub>	
Centranthus ruber	43 × 1/3	19 1/3	1.349
Impatiens Roylii	38 × 1/3	16 1/3	1.289
Lagenaria vulgaris	32 × 1/3	14 1/3	1.344
Sium latifolium	37 × 1/3	16	1.297

Somit ist für phosphorsaures Kalium:

das mittlere Verhältniss der isotonischen

Concentrationen . . . . . 1.320,

der isotonische Coëfficient . . . . . 3.96.

### VIII. Weinsaures Kalium.

K<sub>2</sub> C<sub>4</sub> H<sub>4</sub> O<sub>6</sub>. Aequivalentzahl 113. Mol.-Gew. 226.

Die Lösung wurde durch vorsichtiges Mischen äquivalenter Mengen von reiner krystallisirter Weinsäure und reinem kohlensaurem Kalium, und Entfernung der Kohlensäure durch Erwärmung dargestellt. Die krystallisirte Säure hinterliess beim Verbrennen pro Gramm 1 Milligr. Asche; ein Aequivalent, in Milligrammen ausgedrückt (0.075 Gr.) erforderte zur Neutralisation genau 10.0 CC einer zehntelnormalen Kalilösung.

	Weinsaures Kalium.						Kalisalpeter.						
	0.18	0.21	0.24	0.27	0.30	Ind. Conc.	0.12	0.14	0.16	0.18	0.20	0.22	Ind. Conc.
Centranthus ruber .			+	+	-	0.285			+	+	=	-	0.20
Nr. II			+	+	-	0.285			+	+	-	-	0.19
Nr. III			+	=	-	0.27			+	+	-	-	0.19
Nr. IV			+	+	-	0.285							
Rudbeckia tribola .			+	+	-	0.285			+	=	-	-	0.18
Nr. II			+	+	-	0.285			+	+	=	-	0.20
Nr. III			=	-	-	0.24			+	+	-	-	0.19
Nr. IV			+	-	-	0.255							
Impatiens Roylii . .	+	+	=	-	-	0.24	+	+	-	-			0.15
Nr. II	+	=	-	-	-	0.21	+	+	-	-			0.15
Nr. III	+	+	=	-	-	0.24	+	=	-	-			0.14
Nr. IV	+	+	+	-	-	0.255	+	+	-	-			0.15
	0.30	0.33	0.36	0.39	0.42		0.20	0.22	0.24	0.26	0.28		
Cephalaria leucantha	+	+	-			0.345	+	+	=	-			0.24
Nr. II	+	+	+	-		0.375		+	-	-	-		0.23
Nr. III	+	+	+	=		0.39		+	=	-	-		0.24
Nr. IV		+	+	=	-	0.39		+	=	-	-		0.24

Die mittleren indifferenten Concentrationen für die einzelnen Arten enthalten also pro 100 Liter die folgenden Anzahlen Molecüle:

	Weinsaures Kalium.	KNO <sub>3</sub>	Verhältniss.
Centranthus ruber	28 <sup>1</sup> / <sub>8</sub> × 1/2	19 <sup>1</sup> / <sub>3</sub>	1.375
Rudbeckia triloba	26 <sup>5</sup> / <sub>8</sub> × 1/2	19	1.427
Impatiens Roylii	23 <sup>5</sup> / <sub>8</sub> × 1/2	14 <sup>3</sup> / <sub>4</sub>	1.248
Cephalaria leucantha	37 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> × 1/2	23 <sup>3</sup> / <sub>4</sub>	1.267

Somit ist für weinsaures Kalium:

das mittlere Verhältniss der isotonischen Concentrationen . . . . .	1.329,
der isotonische Coëfficient . . . . .	3.99.

### IX. Aepfelsaures Kalium.

K<sub>2</sub> C<sub>4</sub> H<sub>4</sub> O<sub>5</sub>. Aequivalentzahl 105. Mol.-Gew. 210.

Das Salz wurde in derselben Weise bereitet, wie in dem vorhergehenden Versuche. Ueber die Reinheit der Aepfelsäure vergleiche man Abschnitt II, § 2, Seite 462. Als Versuchsmaterial dienten bereits früher erwähnte Arten.

	Aepfelsaures Kalium.							Kalialpeter.								
	0.18	0.21	0.24	0.27	0.30	0.33	0.36	Ind. Conc.	0.12	0.14	0.16	0.18	0.20	0.22	0.24	Ind. Conc.
Centranthus ruber .			+	+	-	-		0.285				+	+	-	-	0.19
Nr. II			+	+	-	-		0.285				+	+	=	-	0.20
Nr. III			+	+	=	-		0.30				+	+	=	-	0.20
Nr. IV			+	+	-	-		0.285								
Rudbeckia triloba .			+	+	=	-		0.30				+	+	-	-	0.19
Nr. II			+	=	-	-		0.27				+	+	-	-	0.19
Nr. III			+	+	-	-		0.285				+	+	-	-	0.19
Nr. IV			+	-	-	-		0.255								
Cephalaria leucantha					+	-	-	0.315				+	+	=		0.22
Nr. II				+	+	-	-	0.315				+	+	+	-	0.23
Nr. III				+	+	=	-	0.33					+	+	-	0.23
Nr. IV				+	+	+	-	0.345					+	+	=	0.24
Impatiens Roylii . .	+	+	-					0.225	+	+	-	-				0.15
Nr. II	+	=	-	-				0.21	+	-	-	-				0.13
Nr. III	+	+	=	-				0.24	+	=	+	+				0.17
									+	+	-	-				0.15

Die mittleren indifferenten Concentrationen für die einzelnen Arten enthalten also pro 100 Liter die folgenden Anzahlen Molecüle:

	Aepfelsaures Kalium.	KNO <sub>3</sub>	Verhältniss.
Centranthus ruber	$28\frac{7}{8} \times \frac{1}{2}$	$19\frac{2}{3}$	1.362
Rudbeckia triloba	$27\frac{3}{4} \times \frac{1}{2}$	19	1.369
Cephalaria leucantha	$32\frac{5}{8} \times \frac{1}{2}$	23	1.410
Impatiens Roylii	$22\frac{1}{2} \times \frac{1}{2}$	15	1.333

Somit ist für äpfelsaures Kalium:

das mittlere Verhältniss der isotonischen

Concentrationen . . . . . 1.3685,

der isotonische Coëfficient . . . . . 4.11.

### X. Citronensaures Kalium.

K<sub>3</sub> C<sub>6</sub> H<sub>6</sub> O<sub>7</sub>. Aequivalentzahl 102. Mol.-Gew. 306.

Für die Bereitung des Salzes und der Lösungen vergleiche man im zweiten Abschnitt § 2, Versuch VI., S. 456.

Als Versuchsmaterial dienten jugendliche Sprosse bereits früher erwähnter Arten.

	Citronensaures Kalium.							Kalisalpeter.						
	0.24	0.27	0.30	0.33	0.36	0.39	Ind. Conc.	0.12	0.14	0.16	0.18	0.20	0.22	Ind. Conc.
Centranthus ruber .				+	+	-	0.375		+	+	+	-		0.19
Nr. II				+	+	-	0.375			+	+	-	-	0.19
Nr. III				+	+	-	0.375			+	+	+	-	0.21
Nr. IV				+	-	-	0.345			+	+	-	-	0.19
Rudbeckia triloba .				+	=	-	0.36		+	+	+	-		0.19
Nr. II				=	-	-	0.33		+	+	+	=		0.20
Nr. III				+	=	-	0.36			+	+	-	-	0.19
Nr. IV				+	=	-	0.36			+	+	-	-	0.19
Impatiens Roylii . .	+	+	-	-			0.285	+	=	-	-			0.14
Nr. II	+	+	=	-			0.30	+	-	-	-			0.13
Nr. III	=	-	-	-			0.24	+	+	-				0.15
Nr. IV	+	=	-	-			0.27	+	-	-				0.13

Die mittleren indifferenten Concentrationen für die einzelnen Arten enthalten also pro 100 Liter die folgenden Anzahlen Molecüle:

	Citronensaures Kalium.	KNO <sub>3</sub>	Verhältniss.
Centranthus ruber	$36\frac{3}{4} \times \frac{1}{3}$	$19\frac{1}{2}$	1.591
Rudbeckia triloba	$35\frac{1}{4} \times \frac{1}{3}$	$19\frac{1}{4}$	1.638
Impatiens Roylii	$27\frac{3}{8} \times \frac{1}{3}$	$13\frac{3}{4}$	1.507

Somit ist für citronensaures Kalium:

das mittlere Verhältniss der isotonischen Concentrationen . . . . .	1.579,
der isotonische Coëfficient . . . . .	4.74.

### XI. Aepfelsaures Magnesium.

Mg C<sub>4</sub> H<sub>4</sub> O<sub>5</sub>. Aequivalentzahl 78. Mol.-Gew. 156.

Die gesättigte Lösung des äpfelsauren Magnesiums entzieht den wachsenden Zellen kein Wasser; diese nehmen solches im Gegentheil aus ihr auf, und Kreuzstreifen erhöhen in ihr also ihre Krümmung. Aus diesem Grunde habe ich für die Versuche übersättigte Lösungen hergestellt; warm bereitet halten sie sich nach Abkühlung auf die Temperatur des Zimmers einige Stunden, häufig sogar einige Tage lang.

Die geringe Diffusibilität des Salzes erlaubte eine Bestimmung der indifferenten Concentration nur für die beiden empfindlichsten Arten, welche mir jetzt zur Verfügung standen.

	Aepfelsaures Magnesium.					Kalisalpeter.				
	0.64	0.68	0.72	0.76	Ind. Conc.	0.16	0.18	0.20	0.22	Ind. Conc.
Centranthus ruber . . .	+	+	=	-	0.72	+	=	-	-	0.18
Nr. II	+	+	-	-	0.70	+	=	-	-	0.18
Nr. III	+	=	-	-	0.68	+	=	-	-	0.18
Nr. IV	+	+	-	-	0.70					
Rudbeckia triloba . . .	+	-	-	-	0.66	+	+	=	-	0.20
Nr. II	+	=	-	-	0.68	+	+	-	-	0.19
Nr. III	+	-	-	-	0.66	+	+	-	-	0.19
Nr. IV	+	+	-	-	0.70					

Die mittleren indifferenten Concentrationen für die einzelnen Arten enthalten also pro 100 Liter die folgenden Anzahlen Molecüle:

	Aepfelsaures Magnesium.	KNO <sub>3</sub>	Verhältniss.
Centranthus ruber	70 $\times \frac{1}{2}$	18	0.514
Rudbeckia triloba	67 $\frac{1}{2}$ $\times \frac{1}{2}$	19 $\frac{1}{3}$	0.573

Somit ist für äpfelsaures Magnesium:

das mittlere Verhältniss der isotonischen

Concentrationen . . . . . 0.543,

der isotonische Coëfficient . . . . . 1.63.

Aepfelsaures Calcium ist so wenig in Wasser löslich, dass es in concentrirter Lösung noch eine starke Aufrollung der Sprossstreifen gestattet, ich konnte aus diesem Grunde den isotonischen Coëfficienten für dieses Salz nicht ermitteln. Ich habe aber eine Lösung von äquivalenten Theilen äpfelsauren Calciums und äpfelsauren Kaliums bereitet und mit dieser einige Versuche ausgeführt. Obgleich sie keine sehr genauen Resultate lieferten, zeigten sie doch, dass der isotonische Coëfficient des Kalksalzes nicht beträchtlich von dem des Magnesiumsalzes verschieden sein kann.

## XII. Schwefelsaures Magnesium.

MgSO<sub>4</sub>. Aequivalentzahl 60. Mol.-Gew. 120.

Krystalle: MgSO<sub>4</sub> + 7 H<sub>2</sub>O. Mol.-Gew. 246.

Die Versuche wurden mit dem reinen Salze des Handels an-  
gestellt.

Ausser mehrfach erwähnten Arten dienten zu den Versuchen noch die Stiele jugendlicher Blüthenschirme von *Levisticum officinale* und *Oenanthe silaifolia*.

	Schwefelsaures Magnesium.					Kalisalpeter.				
	0.50	0.55	0.60	0.65	Ind. Conc.	0.14	0.16	0.18	0.20	Ind. Conc.
Centranthus ruber . . .	+	=	-	-	0.55	+	+	-	-	0.17
Nr. II	+	+	-	-	0.575	+	=	-	-	0.16
Nr. III	+	+	-	-	0.575	+	+	-	-	0.17
Levisticum officinale . .		=	-	-	0.55		+	-	-	0.17
Nr. II	+	=	-	-	0.55	+	+	-	-	0.17
Nr. III	+	=	-	-	0.55	+	=	-	-	0.16
Oenanthe silaifolia . . .		+	=	-	0.60		+	-	-	0.17
Nr. II		+	-		0.575	+	+	-	-	0.17
Nr. III	+	+	=	-	0.60	+	+	-	-	0.17
Nr. IV	+	=	-	-	0.55					
	0.35	0.40	0.45	0.50		0.10	0.12	0.14	0.16	
Impatiens Roylii . . . .	+	+	-	-	0.425		=	-	-	0.12
Nr. II	+	=	-	-	0.40	+	+	-	-	0.13
Nr. III	+	+	-	-	0.425	+	=	-	-	0.12

Die mittleren indifferenten Concentrationen für die einzelnen Arten enthalten also pro 100 Liter die folgenden Anzahlen Molecüle:

	Schwefelsaures Magnesium.	KNO <sub>3</sub>	Verhältniss.
Centranthus ruber	$56\frac{2}{3} \times \frac{1}{2}$	$16\frac{2}{3}$	0.588
Levisticum officinale	$55 \times \frac{1}{2}$	$16\frac{2}{3}$	0.606
Oenanthe silaifolia	$58\frac{1}{8} \times \frac{1}{2}$	17	0.585
Impatiens Roylii	$41\frac{2}{3} \times \frac{1}{2}$	$12\frac{1}{3}$	0.592

Somit ist für schwefelsaures Magnesium:

das mittlere Verhältniss der isotonischen

Concentrationen . . . . . 0.593,

der isotonische Coëfficient . . . . . 1.78.

### XIII. Citronensaures Magnesium.

Mg<sub>3</sub>(C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>O<sub>7</sub>)<sub>2</sub>. Aequivalentzahl 75. Mol.-Gew. 450.

Ebenso wie beim äpfelsauren Magnesium mussten auch hier übersättigte Lösungen benutzt werden. Das Salz wurde in derselben Weise wie jenes dargestellt; die Lösungen aus der ursprünglichen

Lösung durch Verdünnung auf ein bestimmtes Volum bereitet. Die sehr geringe Diffusibilität liess nur eine Bestimmung mit *Rudbeckia triloba* zu.

	Citronensaures Magnesium.					Kalisalpeter.				
	0.92	0.96	1.00	1.04	Ind. Conc.	0.16	0.18	0.20	0.22	Ind. Conc.
<i>Rudbeckia triloba</i> . . .	+	+	-	-	0.98	+	+	=	-	0.20
Nr. II	+	+	-	-	0.98	+	+	-	-	0.19
Nr. III	+	=	-	-	0.96	+	+	-	-	0.19
Nr. IV	+	+	+	-	1.02					

Die mittleren indifferenten Concentrationen für die beiden Salze enthalten also pro 100 Liter die folgenden Anzahlen Molecüle:

	Citronensaures Magnesium.	$\text{KNO}_3$	Verhältniss.
<i>Rudbeckia triloba</i>	$97\frac{1}{2} \times \frac{1}{6}$	$19\frac{1}{3}$	1.177

Somit ist für citronensaures Magnesium:  
das Verhältniss der isotonischen Concentrationen . . . . . 1.177,  
der isotonische Coëfficient . . . . . 3.53.

#### Abschnitt IV.

### R e s u l t a t e.

#### § 1. Grundzüge der Lehre von den isotonischen Coëfficienten.

Nachdem wir in den vorhergehenden Abschnitten die physiologischen Methoden kennen lernten, mittelst deren man die Affinität gelöster Verbindungen zu Wasser in verdünnten Lösungen messen kann, und wir diese Messung für die wichtigsten im pflanzlichen

Zellsaft verbreiteten Körper systematisch durchgeführt haben, wollen wir jetzt die gewonnenen Zahlen zusammenstellen und untersuchen, welche Resultate sich aus ihnen ableiten lassen. Zu diesem Zwecke ordnen wir sie zunächst in eine Tabelle zusammen und bringen sie dabei in die drei Gruppen der metallfreien organischen Verbindungen, der Salze der Alkalimetalle und der Salze der Erdalkalien unter. In jeder Gruppe folgen die einzelnen Glieder nach der aufsteigenden Reihe der isotonischen Coëfficienten aufeinander. Die Anordnung ist also eine rein empirische; sie lässt aber auf dem ersten Blick das Gesetz der isotonischen Coëfficienten erkennen.

Wie in der Einleitung mitgeteilt wurde, sind die isotonischen Coëfficienten nicht nach Gewichtsprocenten der einzelnen Verbindungen, sondern auf Grammmolecüle berechnet. Die Zahlen der Tabelle weisen also die relative Affinität zu Wasser für je eine gleiche Anzahl von Molecülen ( $H = 1$  Gramm) in demselben Lösungsvolum an.

Anmerkung zu der Tabelle. Die Zahlen der dritten Spalte sind sämtlich nach der vergleichenden plasmolytischen Methode gewonnen, mit alleiniger Ausnahme derjenigen für Rohrzucker, Chlorkalium und schwefelsaures Kalium. Die beiden letzteren Salze sind nach der plasmolytischen Transportmethode untersucht; für den Rohrzucker ist das Mittel aus den nach beiden Methoden ausgeführten Bestimmungen eingetragen. Vergl. S. 479, 474 und 477. Oxalsäure, Traubenzucker und äpfelsaurer Kalk sind nicht in die Tabelle aufgenommen, man vergleiche für diese S. 463, 499 resp. 509, und für den Werth der mit diesen erhaltenen Resultate S. 518.

### Uebersichtstabelle der isotonischen Coëfficienten.

S t o f f e.	F o r m e l n.	Isot. Coëff.	
		nach der plasmolyt. Methode.	nach der Methode d. Gewebsp.
I. Gruppe.			
Invertzucker . . . . .	$C_{12}H_{22}O_{11}$	1.88	1.84
Rohrzucker . . . . .	$C_6H_{12}O_6$	1.88	1.84
Aepfelsäure . . . . .	$C_4H_6O_5$	1.98	
Weinsäure . . . . .	$C_4H_6O_6$	2.02	
Citronensäure . . . . .	$C_6H_8O_7$	2.02	

S t o f f e.	F o r m e l n.	I s o t. C o e f f.	
		nach der plasmolyt. Methode.	nach der Methode d. Gewebesp.
II. Gruppe A.			
Salpetersaures Natrium . . . . .	$\text{Na NO}_3$	3.0	
Chlorkalium . . . . .	$\text{K Cl}$	3.0	2.84
Chlornatrium . . . . .	$\text{Na Cl}$		3.05
Chlorammonium . . . . .	$\text{NH}_4 \text{Cl}$	3.0	
Essigsäures Kalium . . . . .	$\text{K C}_2 \text{H}_3 \text{O}_4$	3.0	
Doppelsäures citronens. Kalium	$\text{K H}_2 \text{C}_6 \text{H}_5 \text{O}_7$	3.05	
II. Gruppe B.			
Oxalsäures Kalium . . . . .	$\text{K}_2 \text{C}_2 \text{O}_4$		3.93
Schwefelsäures Kalium . . . . .	$\text{K}_2 \text{SO}_4$	3.9	3.92
Phosphorsaures Kalium . . . . .	$\text{K}_2 \text{HPO}_4$		3.96
Weinsäures Kalium . . . . .	$\text{K}_2 \text{C}_4 \text{H}_4 \text{O}_6$		3.99
Aepfelsäures Kalium . . . . .	$\text{K}_2 \text{C}_4 \text{H}_4 \text{O}_6$		4.11
Einfachsaures citronens. Kalium .	$\text{K}_2 \text{HC}_6 \text{H}_5 \text{O}_7$	4.08	
II. Gruppe C.			
Citronensäures Kalium . . . . .	$\text{K}_3 \text{C}_6 \text{H}_5 \text{O}_7$	5.01	4.74
III. Gruppe A.			
Aepfelsäures Magnesium . . . . .	$\text{Mg C}_4 \text{H}_5 \text{O}_6$	1.88	1.63
Schwefelsäures Magnesium . . . . .	$\text{Mg SO}_4$	1.96	1.78
III. Gruppe B.			
Citronensäures Magnesium . . . . .	$\text{Mg}_3 (\text{C}_6 \text{H}_5 \text{O}_7)_2$	3.88	3.53
Chlormagnesium . . . . .	$\text{Mg Cl}_2$	4.33	
Chlorcalcium . . . . .	$\text{Ca Cl}_2$	4.33	

Bevor wir dazu schreiten, die sich aus dieser Tabelle ergebenden Resultate einzeln vorzuführen, haben wir zunächst die nach den beiden befolgten Methoden erhaltenen Zahlen mit einander zu vergleichen. Dabei ergibt sich, dass wo nach beiden mit derselben Verbindung gearbeitet wurde, die Resultate eine befriedigende Uebereinstimmung zeigen. Solches ist auch für oxalsäures und weinsäures Kalium der Fall, wie Seite 475 hervorgehoben wurde. Ferner zeigen auch die zu derselben Gruppe gehörigen Verbindungen nahezu dieselben Zahlen, auch wenn diese nach verschiedenen Methoden bestimmt wurden, und es darf also als experimentell gesichert betrachtet werden, dass die isotonischen Coëfficienten von der Art der angewandten Methode der Hauptsache nach unabhängig sind,

dass sie also für sämtliche Turgorprocesse die gleiche Gültigkeit besitzen. Es war dieses Resultat vorauszusehen, da ja unsere Coëfficienten, ihrer Natur nach, keine physiologischen sind, sondern eine rein physikalische Bedeutung haben, d. h. von den Eigenschaften des Lebens durchaus unabhängig sind.

Die erwähnte Uebereinstimmung unterliegt aber in den drei letzten Gruppen einer Beschränkung, indem hier die Zahlen weiter auseinander weichen, als den möglichen Beobachtungsfehlern entspricht. In dem ersten Abschnitte S. 439 und in § 1 des dritten Abschnittes S. 493 habe ich bereits darauf hingewiesen, dass nach der Methode der Gewebespannung, bei diesen langsam diffundirenden Verbindungen, wegen der kurzen Dauer der Versuche, die isotonischen Coëfficienten etwas zu niedrig gefunden werden müssen, und thatsächlich ist die Abweichung hier immer eine solche, wie nach jenen Erörterungen zu erwarten war.

Bei unseren ferneren Betrachtungen werden wir also für diese Gruppen nur die nach der plasmolytischen Methode erhaltenen Zahlen in Rechnung bringen müssen, und dasselbe werden wir auch auf die beiden Zuckerarten anwenden können. Glücklicherweise wird hierdurch aber nicht die Natur unserer Folgerungen, sondern nur der Grad ihrer Genauigkeit beeinflusst.

Aus unserer Tabelle ergeben sich nun drei empirische Gesetze, welche innerhalb der Grenzen unserer Untersuchung die isotonische Coëfficienten der einzelnen Körper bestimmen.

1. Gesetz. Die isotonischen Coëfficienten haben für die Glieder einer und derselben Gruppe nahezu denselben Werth.

Die Gruppen sind äusserst natürliche, und werden theils von der Natur und der Anzahl der in den Verbindungen enthaltenen Metallatome, theils von der Anzahl der Säureatome bestimmt. Sie lassen sich, wie folgt, unterscheiden (vergl. S. 428):

	Min.	Max.
1. Gruppe. Organische metallfreie Verbindungen	1.88	2.02
2. Gruppe. Salze der Alkalimetalle mit je einem Atom Alkali im Molecül . . . .	3.0	3.05
3. Gruppe. Salze der Alkalimetalle mit je zwei Atomen Alkali im Molecül . . . .	3.9	4.11

	Min.	Max.
4. Gruppe. Salze der Alkalimetalle mit je drei Atomen Alkali im Molecül . . . .		5.0
5. Gruppe. Salze der Erdalkalien mit je einer Atomgruppe der Säure im Molecül .	1.88	1.96
6. Gruppe. Salze der Erdalkalien mit je zwei Atomgruppen der Säure im Molecül .	3.88	4.33

Jeder Gruppe habe ich den niedrigsten und den höchsten Coëfficienten beigefügt; wo dieser für dieselbe Verbindung nach beiden Methoden bestimmt wurde, wählte ich stets das Resultat der plasmolytischen Methode.

Zu diesen Gruppen möchte ich noch folgendes bemerken:

Es ist sehr wahrscheinlich, dass auch die übrigen, von mir nicht untersuchten Substanzen, welche der Definition nach in eine dieser Gruppen gehören, den ihr entsprechenden isotonischen Coëfficienten haben, dass das Gesetz also für diese Gruppen allgemeine Gültigkeit hat. Ich finde in dem Gang meiner Untersuchung eine sehr starke Stütze für diese Meinung. Die Zahlen der zweiten Methode sind nach rein empirischen Versuchen, jedesmal ohne theoretische Berechnung gewonnen; die der plasmolytischen Methode aber fast alle nach dem Gesetze im Voraus berechnet. In jedem einzelnen Falle wurde die Berechnung durch die Erfahrung bestätigt, es wird dieses also auch wohl in anderen Fällen zu erwarten sein.

Die Natur der Gruppen betreffend ist zunächst zu bemerken, dass die Salze organischer und anorganischer, sowie diejenigen starker und schwacher Säuren sich in dieser Beziehung gleich verhalten. Dasselbe gilt von den neutralen und sauren Salzen der mehrbasischen Säuren. Hervorzuheben sind in dieser Beziehung als ein lehrreiches Beispiel die Verbindungen von Citronensäure und Kalium:

			Isot. Coëff.
Freie Citronensäure . . . . .	H <sub>3</sub>	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> O <sub>7</sub>	2.02
Doppeltsaures citronens. Kalium	KH <sub>2</sub>	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> O <sub>7</sub>	3.05
Einfachsaures citronens. Kalium	K <sub>2</sub> H	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> O <sub>7</sub>	4.08
Neutrales citronens. Kalium . .	K <sub>3</sub>	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> O <sub>7</sub>	5.01

Unter den organischen Verbindungen verhalten sich die Säuren wie die neutralen Kohlenhydrate, und dasselbe gilt nach einigen weiteren Versuchen auch für stickstoffhaltige organische Verbindungen (wie z. B. Asparagin).

2. Gesetz. Die isotonischen Coëfficienten der verschiedenen chemischen Gruppen verhalten sich nahezu zu einander wie 2:3:4:5.

Berechnen wir für jede Gruppe den mittleren isotonischen Coëfficienten, so finden wir:

Gruppe.	Beispiel.	Mittl. isot. Coëff.	Ders. abgerundet.
I.	Zucker	1.96	2
II.	$KNO_3$	3.02	3
III.	$K_2SO_4$	4.00	4
IV.	$K_3C_6H_5O_7$	5.01	5
V.	$MgSO_4$	1.92	2
VI.	$MgCl_2$	4.18	4

In der letzten Spalte habe ich die isotonischen Coëfficienten in abgerundeten Zahlen gegeben, und es zeigt sich, dass nur in den beiden letzteren Gruppen (Salze der Erdkalien), die Abweichung der empirischen Mittelzahl von der abgerundeten mehr als 0,05 beträgt.

Eine Vergleichung dieser abgerundeten Mittelzahlen mit den Coëfficienten der einzelnen Verbindungen, oder mit den Seite 514 genannten Maximis und Minimis führt ferner zu der Ueberzeugung, dass letztere von den ersteren nur selten um mehr als 0.12 abweichen. Grössere Abweichungen zeigen nämlich nur das Chlorcalcium und das Chlormagnesium.

Es fragt sich nun, ob diese Abweichungen thatsächlichen Differenzen zwischen den einzelnen Gliedern der Gruppe entsprechen oder nicht? Mit anderen Worten, ob das Bestehen solcher Differenzen durch sie bewiesen wird. Dabei lassen wir zunächst die beiden genannten Chloride ausser Betracht. Um nun hierüber zu entscheiden, brauchen wir einfach festzustellen, ob diese Unterschiede ausserhalb der Beobachtungsfehler fallen, oder anderenfalls durch diese bedingt sein können. Letzteres ist nun ohne Zweifel der Fall, weil die Differenzen zwischen den einzelnen Versuchen, welche zur Ermittlung des isotonischen Coëfficienten derselben Verbindung nach derselben Methode angestellt wurden, im Allgemeinen von derselben Ordnung sind, wie die Unterschiede zwischen den Mittelzahlen der verschiedenen, zu derselben Gruppe gehörigen Stoffe. Nicht selten waren jene sogar etwas grösser als letztere.

Die Mittelzahlen selbst müssen also häufig mit Fehlern behaftet

sein, denen Differenzen von 0.01 bis 0.12 wohl zugeschrieben werden dürfen, und unsere Versuche beweisen somit wohl, dass die isotonischen Coëfficienten für die Glieder einer Gruppe nahezu dieselben sind; sie entscheiden aber nicht, ob zwischen ihnen geringe Differenzen vorhanden sind.

Diesen Betrachtungen gegenüber ist es selbstverständlich, dass in den isotonischen Coëfficienten die zweite Decimalstelle jedenfalls kein Vertrauen verdient, und dass also Abrundung auf höchstens Eine Decimalstelle vorgeschrieben ist. Ich gehe noch einen Schritt weiter, und runde die Coëfficienten auf ganze Zahlen ab, und sage also:

Die isotonischen Coëfficienten der von mir untersuchten Verbindungen sind nahezu gleich 2, 3, 4 und 5. Ihre experimentell gefundenen Werthe weichen von diesen Zahlen nicht um mehr als 0.12 ab. Ausnahme machen nur die Chloride der Erdalkalien, deren Abweichung + 0.33 beträgt.

Für die folgenden Betrachtungen, sowie für die Anwendung unserer Zahlen auf die Analyse der Turgorkraft, reicht dieser Grad von Genauigkeit völlig aus, und werden wir also stets die isotonischen Coëfficienten einfach als ganze Zahlen behandeln. Die Abweichung der beiden genannten Chloride darf allerdings nicht vernachlässigt werden, jedoch spielen diese Verbindungen bei der Analyse der Turgorkraft keine Rolle.

Es wäre von grossem Interesse den Bestimmungen der isotonischen Coëfficienten eine grössere Genauigkeit zu geben, sei es durch Ableitung der Mittelzahlen aus grösseren Versuchsreihen, durch Verbesserung der Methode oder durch Anwendung völlig neuer Methoden.

Bei manchen Verbindungen würde auch wohl eine noch grössere Reinheit der Lösungen erreicht werden können, als mir bisher möglich war. Es ist meine feste Ueberzeugung, dass durch derart fortgesetzte Studien die Abweichungen der einzelnen Stoffe von den Mittelzahlen der Gruppen stets geringer gefunden werden werden, und dass unsere abgerundeten Werthe mit dem experimentellen Befunde noch genauer übereinstimmen werden, als solches augenblicklich der Fall ist.

Die Abweichung der Chloride aber wird sich voraussichtlich auch bei weiteren Versuchen bestätigen; ich vermuthe, dass sie von

der Concentration der angewandten Flüssigkeiten abhängt, und bei bedeutend stärkerer Verdünnung ebenfalls verschwinden würde. Zwei Gründe lassen sich für diese Vermuthung anführen. Erstens darf man im Allgemeinen erwarten, dass die hier studirten Beziehungen um so klarer hervortreten werden, je verdünnter die untersuchten Lösungen sind.<sup>1)</sup> Zweitens habe ich den Grad der Plasmolyse für stärkere Lösungen dieser beiden Salze mit den entsprechenden Lösungen des Kalisalpers verglichen. Nach unseren Coëfficienten (4 für  $\text{Ca Cl}_2$  und  $\text{Mg Cl}_2$ ; 3 für  $\text{KNO}_3$ ) berechnet, müssten Lösungen von 1.5 Aeq. dieser beiden Chloride isotonisch sein mit 1 Aeq. Kalisalpeter; tatsächlich übten sie auf Spirogyrazellen, welche sich zu diesem Versuch besonders eigneten, eine auffallend viel stärkere wasserentziehende Wirkung aus. Auch ist nicht zu vergessen, dass sehr starke Lösungen dieser beiden Salze an der Luft Wasserdunst aufnehmen.

Giebt man die Richtigkeit der Meinung, dass die beobachteten Abweichungen vorwiegend von Versuchsfehlern herrühren, zu, so leuchtet ein, dass die Bestimmung der isotonischen Coëfficienten für bis jetzt noch nicht untersuchte Verbindungen auch in Zweifelsfällen eine äusserst einfache wird, indem es nunmehr nur noch darauf ankommt zu entscheiden, zu welcher Gruppe eine Verbindung gehört. Hat man aus der chemischen Formel den wahrscheinlichsten isotonischen Coëfficienten berechnet, so hat man nur Lösungen herzustellen, welche voraussichtlich mit 0.10—0.16 Aeq. Kalisalpeter isotonisch sind, und diese in üblicher Weise experimentell mit den Salpeterlösungen zu vergleichen. Schon der erste Versuch entscheidet völlig über die Richtigkeit der Berechnung, und wenn die Verbindung im Handel auch nur annähernd rein zu haben ist, so kann bei einer derartigen Entscheidung eine weitere Reinigung häufig ganz umgangen werden. Wenige Stunden genügen dann zur Ermittlung eines neuen Coëfficienten. In dieser Weise können meine nebenbei gemachten Bestimmungen mit Oxalsäure (S. 463), Traubenzucker (S. 499) und äpfelsaurem Kalk (S. 509) als experimentelle Belege für deren isotonische Coëfficienten: 2, 2 und 4 angenommen werden, wenngleich sie aus verschiedenen Gründen nicht so genaue Resul-

---

1) Vielleicht stehen manche der bei den übrigen Verbindungen beobachteten Abweichungen gleichfalls unter dem Einflusse der Concentration.

tate lieferten, wie die Hauptversuche mit den in der Tabelle S. 512 angeführten Stoffen.

3. Gesetz. Jede Säure und jedes Metall hat in allen Verbindungen denselben partiellen isotonischen Coëfficienten; der Coëfficient eines Salzes ist gleich der Summe dieser partiellen Coëfficienten für die constituirenden Bestandtheile.

Diese partiellen isotonischen Coëfficienten sind:

für jede Atomgruppe einer Säure	2,
für jedes Atom eines Alkalimetalles	1,
für jedes Atom eines Erdalkalimetalles	0.

Diese Zahlen ergeben sich aus einer Vergleichung der isotonischen Coëfficienten der einzelnen Gruppen; aus ihnen lässt sich umgekehrt der Coëfficient eines jeden beliebigen Salzes berechnen, z. B.:

$$\text{K Cl} = 1 + 2 = 3.$$

$$\text{K}_2 \text{SO}_4 = 2 \times 1 + 2 = 4.$$

$$\text{K}_3 \text{C}_6 \text{H}_5 \text{O}_7 = 3 \times 1 + 2 = 5.$$

$$\text{Mg SO}_4 = 0 + 2 = 2.$$

$$\text{Mg Cl}_2 = 0 + 2 \times 2 = 4.$$

Das Gesetz gilt auch für saure Salze:

$$\text{K}_2 \text{H} . \text{C}_6 \text{H}_5 \text{O}_7 = 2 \times 1 + 2 = 4.$$

So berechnet sich z. B. für saures oxalsaures Kalium:

$$\text{K H C}_2 \text{O}_4 = 1 + 2 = 3.$$

So würde man für neutrale Kaliumsalze vier- und fünfbasischer Säuren die isotonischen Coëfficienten 6 und 7 finden, u. s. w.

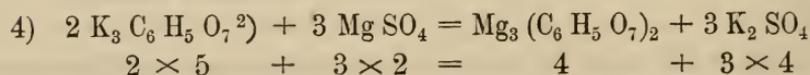
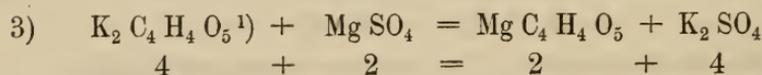
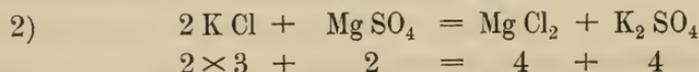
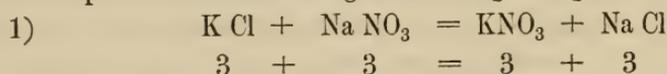
Die untersuchten organischen Säuren haben im freien Zustande denselben isotonischen Coëfficienten (2), wie in ihren Verbindungen. Dasselbe gilt offenbar nicht von den Basen der Erdalkalien, da die Affinität z. B. des Calciumhydrates zu Wasser unmöglich = 0 sein kann. Hieraus folgt, dass bei der Verbindung organischer Säuren mit gelösten Basen der Erdalkalien ein Verlust an Affinität zu Wasser stattfinden muss. Es ist mir wahrscheinlich, dass die stärkeren anorganischen Säuren und Basen gleichfalls im freien Zustande einen höheren isotonischen Coëfficienten haben werden, als in ihren Salzen, und dass also bei ihrem Zusammentreten zu Salzen ein entsprechender, vielleicht grosser Verlust an Affinität für das Lösungsmittel stattfindet.

Durch Mangel an einer Indicatorpflanze, welche stärkere Säuren und freie Alkalien in Lösungen von 0.1—0.2 Aeq. während einiger Stunden erträgt, war es mir bis jetzt nicht möglich, diese theoretisch so wichtige Frage nach meiner Methode zu beantworten.

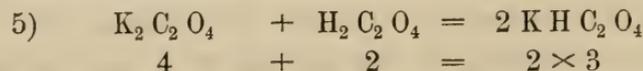
Aus dem dritten Gesetze folgt ferner:

Bei den kreuzweisen Umsetzungen von Salzen in Lösungen ändert sich die totale Anziehung zu Wasser nicht. Diese Regel gilt für neutrale Salze im Allgemeinen, ferner für die sauren organischsauren Salze und die freien organischen Säuren. Sie ist in der Praxis deshalb von Interesse, weil es durch sie völlig gleichgültig wird, wie die Säuren mit den Basen in einem Gemische verbunden sind. Es reicht hin, die Quantität der einzelnen Säuren und Basen kennen zu lernen, um daraus die Affinität des Ganzen zum Wasser berechnen zu können.

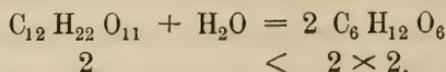
Ich lasse jetzt einige aus unserer Tabelle (S. 512) abgeleitete, ideale Beispiele zur Erläuterung dieser Regel folgen:



Dasselbe findet man, nach unseren Gesetzen, für die Entstehung von saurem oxalsaurem Kalium, aus dem neutralen Salze und der freien Oxalsäure:



Diesen Fällen gegenüber kann bei tiefer eingreifenden chemischen Umwandlungen eine Zu- oder Abnahme der Affinität zu Wasser beobachtet werden. So z. B. wenn Rohrzucker in Invertzucker gespalten wird:



1) Aepfelsaures Kalium.

2) Citronensaures Kalium.

§ 2. Ueber die Beziehungen zwischen der Gefrierpunkts-Erniedrigung und dem isotonischen Coëfficienten von Verbindungen in wässrigen Lösungen.

Bis jetzt haben wir die Affinität gelöster Substanzen zum Lösungswasser nach physiologischen Methoden bestimmt. Da diese Affinitäten aber physikalische Eigenschaften der betreffenden Verbindungen sind, so wollen wir jetzt ihre Beziehungen zu einigen physikalischen Processen näher ins Auge fassen.

Die Bedürfnisse der physiologischen Erforschung der Turgorkraft zwangen mich früher, mich nach gründlich bekannten physikalischen Erscheinungen umzusehen, welche wenigstens eine annähernde Vergleichung der Affinität verschiedener gelöster Substanzen für Wasser erlauben würden. Der herrschenden Meinung folgend, glaubte ich früher eine solche in den Diffusionsgesetzen gefunden zu haben, und aus der verschiedenen Diffusionsgeschwindigkeit der einzelnen Stoffe auf ihre Anziehung zum Wasser schliessen zu dürfen.<sup>1)</sup> Meine jetzigen Untersuchungen lehren aber, dass diese Meinung unbegründet ist, indem die Geschwindigkeit der Diffusion in vielen Fällen bei Weitem nicht parallel geht mit den isotonischen Coëfficienten. Sie hängt ja auch nur zum Theil von der Affinität des diffundirenden Stoffes zum Wasser ab, zu einem wesentlichen Theile wird sie von dem Reibungswiderstande bei der Bewegung der diffundirenden Molecüle bestimmt.<sup>2)</sup> Die Gesetze der Diffusion geben also kein zuverlässiges Mittel zur Beurtheilung der uns hier beschäftigenden Probleme.

Schon besser verhält es sich mit den Erscheinungen der Osmose.

---

1) Bot. Ztg. 1879, S. 847. Die dort ausgesprochene Hypothese, dass die organischen Säuren eine hervorragende Rolle bei den Turgorprocessen spielen dürften, beruhte auf die bedeutende Diffusionsgeschwindigkeit der Säuren, und auf die daraus abgeleitete vermeintliche grosse Affinität dieser Substanzen zum Wasser. Da letztere Voraussetzung sich durch die Tabelle auf S. 512 als unrichtig herausgestellt hat, kann auch die Hypothese, soweit sie darauf basirt war, nicht mehr aufrecht gehalten werden, obgleich sie sich sonst gut bewährt hat, denn ich verdanke ihr die Veranlassung zur ganzen vorliegenden Untersuchung. Vergleiche übrigens über den Antheil der Pflanzensäuren am Turgor den zweiten Theil, Abschnitt III, und Bot. Ztg. 1883, S. 849.

2) Man vergleiche hierzu die von Hannay für die Microrheose bestimmten Zahlen (Philos. Transactions 1879, S. 275) mit Graham's aequidiffusiven Gruppen (Philos. Trans. 1850, 1851).

Nach Graham's Vorgang muss die Osmose als ein doppelter Process betrachtet werden, nämlich als bestehend aus einer reinen Diffusion und aus der Anziehung der Lösung als Ganzes zum jenseits der Membran liegenden Wasser.<sup>1)</sup> Jene würde den Gesetzen der Diffusion folgen, diese so zu berechnen sein, als ob die Membran für die gelöste Substanz undurchlässig wäre, d. h. als ob nur eine einseitige Bewegung des Wassers stattfände, wie solche bei der Aufnahme von Wasser seitens der lebendigen Zellen thatsächlich vorkommt. Der Schwierigkeit, diese beiden Theile gehörig zu trennen, dürfte es zuzuschreiben sein, dass unsere Ansichten über osmotische Vorgänge noch so sehr der Klärung bedürfen. Je geringer nun die Durchlässigkeit der Membran für den gelösten Körper ist, um so mehr muss die Diffusion zurücktreten, und der turgorähnliche Process das Uebergewicht erlangen. Den höchsten Grad in dieser Richtung erreicht die Erscheinung in den lebendigen Pflanzenzellen, und es ist dies gerade der Grund wesshalb diese sich so vorzüglich zur Ermittlung der isotonischen Coëfficienten eignen. Ihnen am nächsten kommen die Niederschlagsmembranen, deren merkwürdige Eigenschaften in der letzten Zeit von Traube hervorgehoben, und von Pfeffer zu seinen osmotischen Untersuchungen verwandt wurden.<sup>2)</sup> Mit solchen Membranen angestellte Versuche dürften mit den unserigen im Wesentlichen übereinstimmende Resultate erwarten lassen, und dass eine solche Erwartung nicht unbegründet ist, wird sich im nächsten Paragraphen zeigen.

Auf die Anziehung gelöster Stoffe zu ihrem Lösungsmittel beruhen ferner beispielsweise die Erscheinungen der Verminderung der Dampfspannung des Wassers durch darin gelöste Stoffe, die Erniedrigung des Dichtigkeitsmaximums von Lösungen, und die Erniedrigung der Temperatur des Gefrierens. Nach den Untersuchungen von Güldberg<sup>3)</sup> über die Beziehungen zwischen der ersteren und letzteren Erscheinung, besteht bei den verschiedenen Salzen zwischen diesen

1) Philos. Transactions 1861. On liquid diffusion applied to analysis, § 8.

2) Traube: Archiv f. Anatomie und Physiologie, 1867, S. 87; Bot. Ztg. 1875, S. 56. Vergleiche ferner de Vries: Sur la perméabilité des membranes précipités. Archiv. Néerland. T. XIII, 1878, p. 344, und Pfeffer: Osmotische Untersuchungen, Leipzig 1877.

3) Güldberg: Sur la loi des points de congélation des solutions salines. Comptes rendus, 1870, Tome I, p. 1343.

beiden dieselbe Beziehung, und ist diese somit von der Natur des Salzes unabhängig. Aehnliches gilt nach de Coppet von den Beziehungen zwischen den beiden letztgenannten Erscheinungen.<sup>1)</sup> Wir haben hier also drei verschiedene Aeusserungen der Affinität gelöster Stoffe zu Wasser, denen die plasmolytischen Erscheinungen als ein vierter Fall zur Seite zu stellen sind.

Wie in den partiellen isotonischen Coëfficienten besitzen die Metalle und Säuregruppen der Salze gleichfalls in Bezug auf andere Eigenschaften, wie z. B. die Diffusionsgeschwindigkeit<sup>2)</sup>, die Micro-rheose<sup>3)</sup> und die Densität der Lösungen gewisse constante Factoren, welche sie in allen ihren Verbindungen behalten. Es ist hier aber nicht der Ort, diese Analogien weiter auszuführen.

Von den namhaft gemachten Processen sind nun die Gefrierpunktserniedrigungen der Lösungen weitaus am besten erforscht, und zwar so vollständig, dass eine eingehende Vergleichung mit unseren Gesetzen der isotonischen Coëfficienten möglich ist. Sehen wir zu, inwiefern beide mit einander übereinstimmen.

Es ist bekannt, dass Lösungen im Allgemeinen bei einer niedrigeren Temperatur erstarren, als reines Wasser. Bei der Erstarrung geht nur das Wasser in die feste Form über, und trennt sich von der zurückbleibenden und deshalb concentrirteren Lösung, wie man in schöner Weise sehen kann, wenn man gefärbte Lösungen gefrieren lässt. Die Temperatur des Gefrierens einer Lösung liegt nun um so tiefer unter dem Nullpunkt, je concentrirter die Lösung ist, und zwar ist die Erniedrigung des Gefrierpunktes innerhalb gewisser Grenzen jener Concentration proportional.

Beziehungen zwischen verschiedenen gelösten Substanzen findet man nur, wenn man die Concentrationen nicht nach Gewichtsprocenten, sondern nach den Moleculargewichten der einzelnen Verbindungen berechnet. Es war de Coppet, der dieses zuerst that, und

1) de Coppet: Recherches sur la température de congélation des dissolutions salines. Annales de Chimie et de Physique, 4. Serie, T. XXIII, p. 366; T. XXV, p. 502; T. XXVI, p. 93 (1871—72).

2) Graham: Philos. Transact. 1850, 1851.

3) Hannay: Philos. Transact. 1879.

4) C. Bender: Berichte d. deutsch. chem. Gesellschaft 1883, XVI, S. 2556.

der dadurch aus früheren und eigenen Untersuchungen bestimmte Regeln ableitete. Er führte den Begriff der atomistischen oder molecularen Gefrierpunktserniedrigungen ein. Diese weisen an, um wie viel Grade Celsius der Gefrierpunkt des Wassers erniedrigt wird, wenn auf 100 Gramm so viele Gramme Substanz aufgelöst werden, wie die Zahl ausdrückt, welche wir das Moleculargewicht nennen. Oder, wie man es auszudrücken pflegt, wenn in 100 Gramm Wasser ein Grammmolecül des betreffenden Stoffes aufgelöst wird. Wenn fernerhin von Gefrierpunktserniedrigungen die Rede ist, soll stets diese Form gemeint werden.

Als wichtigstes Resultat stellt de Coppet<sup>1)</sup> den Satz auf, dass für Verbindungen, welche zu derselben chemischen Gruppe gehören, die moleculare Gefrierpunktserniedrigung nahezu denselben Werth hat. Dasselbe Gesetz fanden wir für die isotonischen Coëfficienten, und die Vergleichung der von de Coppet gegebenen Tabelle mit der meinigen lehrt, dass die Gruppen in beiden Fällen in sehr übereinstimmender Weise begrenzt sind. Den einzigen auffallenden Unterschied bilden die Halogensalze der Alkalimetalle, welche bei de Coppet von den Nitraten derselben Metalle getrennt sind, wie wir sogleich näher ausführen werden.

So einfache Beziehungen zwischen den einzelnen Gruppen, wie sie unsere isotonischen Coëfficienten bilden, lassen sich aus de Coppet's Versuchen nicht ableiten. Der Umstand, dass er mit weit höheren Concentrationen, vielfach sogar mit übersättigten Lösungen arbeitete, dürfte der Auffindung solcher Beziehungen ungünstig gewesen sein. Dessen ungeachtet bestehen für diejenigen Stoffe, welche sowohl von Ihm als von mir untersucht sind, auffallend dieselben Verhältnisse zwischen den Gefrierpunktserniedrigungen wie zwischen den isotonischen Coëfficienten. Eine Ausnahme bilden nur die Chloride. Aus folgender kleinen Zusammenstellung, welche ich der Uebersichtstabelle de Coppet's entnehme<sup>2)</sup>, wird man diese Uebereinstimmung ersehen.

---

1) de Coppet: l. c., T. XXVI, p. 112.

2) de Coppet: l. c. 4. Serie, T. XXVI, S. 110 und 111; die Tabelle ist reproducirt in Naumann's Handbuch der allgemeinen Chemie S. 458.

Salze.	Moleculare Gefrierp.-Erniedr.	Isot. Coëff.	Verhältniss.
Salpetersaures Kalium	27.0	3	9
Salpetersaures Natrium	26.4	3	8.8
Schwefelsaures Kalium	35.0—39.0	4	8.75—9.75
Schwefelsaures Magnesium	18.0	2	9

Und für die Chloride:

Salze.	Moleculare Gefrierp.-Erniedr.	Isot. Coëff.	Verhältniss.
Chlorkalium	33.6	3	11.2
Chlornatrium	31.4—33.8	3	10.47—11.27
Chlorammonium	34.8	3	11.6
Chlorcalcium	43.2	4.33	10.0

Andere auch von mir untersuchte Stoffe enthält de Coppet's Tabelle nicht.

Es bestehen also für die Chloride unter sich, und für die übrigen Salze unter sich, zwischen den einzelnen Verbindungen in beiden Fällen nahezu dieselben Beziehungen. Weshalb die Chloride eine so merkwürdige Ausnahme machen, muss einstweilen dahingestellt bleiben. Doch ist daran zu erinnern, dass auch bei meinen Versuchen die Chloride der Erdalcalien eine Abweichung zeigten, welche zwar kleiner ist als in de Coppet's Experimenten, jedoch in demselben Sinne, und dass Gründe vorliegen, hier einen Einfluss der Concentration zu vermuthen (vergl. S. 517).

In den letzten Jahren hat Raoult ausgedehnte und sehr sorgfältige Untersuchungen über die Gefrierpunktserniedrigung von Lösungen angestellt. Seinen vorläufigen Mittheilungen in den Comptes rendus von 1880—1883<sup>1)</sup> lassen sich wichtige Thatsachen zur Vergleichung mit den isotonischen Coëfficienten entnehmen.

De Coppet hatte nur anorganische Verbindungen untersucht. Ein Hauptverdienst Raoult's bietet daher sein Studium der organischen Substanzen. Für diese fand er ganz allgemein die Regel, dass die Gefrierpunktserniedrigungen von Lösungen, welche im Liter dieselbe Anzahl Grammmolecüle besitzen, für sämtliche organische Körper, unabhängig von der Grösse ihrer Molecüle oder ihren sonstigen

1) Raoult: Comptes rendus, T. 90, p. 865, T. 94, p. 1517, T. 95, p. 187, 1030, T. 96, p. 560, 1653; und Ann. Chim. Phys., 5. Série, T. 28, p. 133—144. Janv. 1883.

Eigenschaften annähernd denselben Werth haben. Für alle liegt die moleculare Gefrierpunktserniedrigung zwischen etwa 17 und 20, und ist im Mittel aus allen Versuchen = 18.5.<sup>1)</sup>

Auch die isotonischen Coëfficienten sind für alle von mir untersuchten organischen Verbindungen dieselben; und die Uebereinstimmung ist hier also eine vollständige.

In einem späteren Aufsätze<sup>2)</sup> theilte Raoult mit, dass das schwefelsaure Magnesium dieselbe moleculare Gefrierpunktserniedrigung habe, wie die organischen Verbindungen; es hat wie jene, den isotonischen Coëfficienten 2. Für die meisten übrigen Salze wechselt dagegen jener Werth zwischen 33 und 43, gegen 18.5 für die organischen Stoffe. Die einzelnen Zahlen hat Raoult bis jetzt nicht veröffentlicht, und ich muss mich also darauf beschränken, hervorzuheben, dass die isotonischen Coëfficienten im Allgemeinen dasselbe Verhältniss zeigen. Für organische Stoffe und schwefelsaure Magnesia = 2, sind sie für die meisten übrigen Salze 3 oder 4. Wie in de Coppet's Versuchen, so zeigten auch bei Raoult die Chloride auffallend höhere Zahlen.

Derselbe Forscher hat auch die Gefrierpunktserniedrigung der Alkalien und der starken anorganischen Säuren bestimmt. Da diese Substanzen bis jetzt von den Versuchen nach meiner Methode ausgeschlossen sind, so wollen wir seine Resultate kurz mittheilen.<sup>3)</sup> Die schwachen anorganischen Säuren haben dieselbe Gefrierpunktserniedrigung wie die organischen Säuren und die organischen Substanzen überhaupt; Salzsäure, Phosphorsäure, Salpetersäure und Schwefelsäure weisen aber nahezu den doppelten Werth auf. Dasselbe gilt für die fixen Alkalien. Nehmen wir nun an, dass auch bei diesen Stoffen die isotonischen Coëfficienten sich verhalten wie die Gefrierpunktserniedrigungen, so würde daraus hervorgehen, dass diese Coëfficienten grösser sind als jene, welche sie in ihren Salzen besitzen. Da dasselbe offenbar von den Erdalkalien gilt (S. 519), so scheint mir diese Folgerung unabweisbar. Sie lehrt aber, dass bei der Entstehung von Salzen durch die Neutralisation von starken Säuren oder starken Alkalien die Affinität des entstandenen Salzes

1) l. c. Comptes rendus 1882, T. 94, p. 1517.

2) l. c. Comptes rendus 1882, T. 95, p. 1030.

3) Raoult: Comptes rendus, T. 96, p. 1653 (1883).

für Wasser bedeutend kleiner ist als die Summe jener Affinitäten seiner einzelnen Componenten. Auch wenn Salze schwacher Säuren durch aequivalente Mengen starker Säuren zersetzt werden, muss also eine Aenderung der Summe der isotonischen Coëfficienten eintreten, wie solches für die Gefrierpunktserniedrigungen auch thatsächlich stattfindet.<sup>1)</sup>

Fassen wir das Ergebniss dieser Betrachtungen kurz zusammen, so können wir sagen, dass in weitaus den meisten und den wichtigsten Beziehungen eine volle Uebereinstimmung zwischen den Gesetzen der isotonischen Coëfficienten und denen der Gefrierpunktserniedrigungen obwaltet. Letztere bieten augenblicklich noch eine gewisse Zahl von Ausnahmen<sup>2)</sup>, während von den ersteren bis jetzt keine wesentlichen Ausnahmen beobachtet wurden. Im Gegentheil scheinen die von Raoult beobachteten abnormalen Fälle sich unseren Regeln sehr wohl zu fügen. Ob diese letzteren in ihrem ganzen Umfange auch für die Gefrierpunktserniedrigungen gelten werden, müssen spätere Untersuchungen lehren.

### § 3. Berechnung der osmotischen Druckkraft mittelst der isotonischen Coëfficienten.

Für eine klare Einsicht in die mannigfachen Erscheinungen im Leben der Pflanzen, in denen der Turgor eine Rolle spielt, ist es oft vom höchsten Interesse, nicht nur den relativen Werth der Anziehungen der einzelnen gelösten Stoffe zum Wasser, sondern wenigstens annähernd auch deren absolute Grösse zu kennen. Sachs und Andere haben wiederholt Thatsachen hervorgehoben, aus denen hervorging, dass die in den Pflanzen thätigen osmotischen Druckkräfte ganz bedeutende sind und nicht selten einen Werth von mehreren Atmosphären erreichen. Am eingehendsten wurde dieser Gegenstand von Pfeffer in seinen so sehr bedeutungsvollen Osmotischen Untersuchungen behandelt. Er zeigte, dass krystalloide Verbindungen, in Concentrationen von nur wenigen Procenten, wie sie auch im Zellsaft häufig vorkommen, einen osmotischen Druck von einigen Atmosphären herbeiführen können, und dass diese Kräfte

1) Raoult: Comptes rendus, T. 96, p. 560.

2) „Un certain nombre d'anomalies“, Raoult, Comptes rendus, T. 95, p. 1030.

zur Erklärung der in den lebenden Pflanzenzellen beobachteten Turgorkraft im Allgemeinen ausreichen.

Eine Methode zur Berechnung der Turgorkraft aus der chemischen Zusammensetzung der Zellsäfte, oder aus der auf plasmolytischem Wege ermittelten wasseranziehenden Kraft des lebendigen Zellinhaltes, lässt sich aber auf die bis jetzt veröffentlichten Untersuchungen nicht gründen, wie Pfeffer in seinem Handbuche der Pflanzenphysiologie (Bd. I, S. 54, 1881) ausführlich betont. Wie wichtig aber eine solche Methode wäre, auch wenn sie nur annähernd genaue Resultate geben könnte, lässt sich aus den gründlichen Auseinandersetzungen des genannten Forschers (l. c.) entnehmen und braucht hier deshalb nicht weiter hervorgehoben zu werden.

Diesem Bedürfnisse kann aber jetzt, nachdem die relative Grösse der osmotischen Leistungsfähigkeit für eine Reihe von Verbindungen in ihren isotonischen Coëfficienten bekannt geworden ist, wenigstens zum grossen Theile abgeholfen werden. Denn es handelt sich jetzt nur noch darum, für Einen beliebigen Körper, dessen isotonischer Coëfficient ermittelt wurde, die osmotische Druckkraft kennen zu lernen, um daraus den nämlichen Werth für alle anderen von mir untersuchten Stoffe durch eine einfache Berechnung ableiten zu können.

Indem ich mir diese Aufgabe für eine spätere experimentelle Untersuchung vorbehalte, scheint es mir doch dem Interesse der Sache entsprechend, hier aus den allerdings spärlichen Daten, welche sich in dieser Richtung schon jetzt verwerthen lassen, den fraglichen Werth wenigstens annähernd zu berechnen. Dem bisherigen Gange unserer Untersuchung gemäss, werden wir auch hier den Kalisalpeter als Ausgangspunkt wählen, und die vorhandenen Angaben also zur Ermittlung der osmotischen Druckkraft einer zehntelnormalen Lösung dieses Salzes benutzen. Ist diese bekannt, so lässt sich daraus, wie gesagt, dieselbe Grösse für eine lange Reihe der physiologisch wichtigen Stoffe mittelst unserer Coëfficienten berechnen.<sup>1)</sup>

Zu einer solchen vorläufigen Berechnung stehen uns zwei principiell verschiedene Wege offen. Einerseits die Vergleichung der in turgescirenden Zellen obwaltenden Spannkraft mit der Wasser-

1) Ich bemerke ausdrücklich, dass es sich hier nicht um die Grösse der Anziehung zwischen den einzelnen Moleculen, sondern um die der ganzen Lösung zum Wasser handelt.

anziehenden Kraft, dem Salpeterwerthe (vergl. S. 430 der Einleitung), des Zellsaftes. Ich nenne diese Methode die physiologische; sie arbeitet mit lebenden, in hohem Grade für gelöste Stoffe impermeable Membranen. Andererseits aber die bekannten Versuche Pfeffer's mit künstlichen, sogenannten Niederschlagsmembranen. Die für die erstere Methode bis jetzt vorhandenen Angaben sind äusserst spärliche und unvollständige; die Versuche Pfeffer's sind sehr genaue und so zahlreiche, dass sie ohne Weiteres zur Lösung unserer Aufgabe hinreichen würden, wenn nicht die Niederschlagsmembranen eine, obgleich geringe, doch immerhin bei diesen Versuchen bedeutungsvolle Permeabilität für die osmotischen Stoffe besässen, wie bald des Näheren ausgeführt werden wird.

Aus diesem Grunde müssen wir beide Wege einschlagen und ihre Resultate mit einander vergleichen.

Nach plasmolytischer Methode lässt sich eine Antwort auf unsere Frage in verschiedener Weise finden. Auf S. 118 meiner Untersuchungen über die mechanischen Ursachen der Zellstreckung habe ich die Kraft, mit der die Zellhäute wachsender Blütenstiele von *Plantago amplexicaulis* durch den Turgor ausgedehnt sind, auf 6 Atmosphären bestimmt. Solche Blütenstiele verkürzen sich aber, wenn man sie in eine Lösung von 2.5 pCt. Kalisalpeter bringt, sehr merklich, nach Seite 34 der erwähnten Schrift um 3.0 pCt. Die wasseranziehende Kraft des Zellinhaltes war also geringer als die einer Salpeterlösung von 2.5 pCt. Somit ist die osmotische Kraft dieser letzteren Lösung grösser als 6 Atm., und also die einer Lösung von 1 pCt., oder von 0,1 Aeq. (= 1.01 pCt.) grösser als 2.4 Atm. Vergleicht man die S. 33 und 34 mitgetheilten kleinen Tabellen miteinander, so wird man zugeben, dass die genannten Organe sich auch wohl in 2.0 pCt. Salpeter verkürzt hätten, und dass die Leistungsfähigkeit einer Lösung von 0.1 Aeq.  $\text{KNO}_3$  somit wohl grösser als 3 Atm. sein wird.

Eine andere Betrachtung führt zu demselben Resultat. In jungen Blütenstielen von *Thrinchia hispida* fand ich die elastische Spannung der Zellhäute zu  $4\frac{1}{2}$ , in denen von *Froelichia floridana* zu 3, in den oben erwähnten Stielen von *Plantago* zu 6 Atmosphären. In mehreren anderen Versuchen erhielt ich ähnliche Zahlen (l. c. S. 118). Also im Mittel für wachsende

Sprossgipfel 4.7 Atm., eine Zahl, welche aus mehreren Gründen etwas zu niedrig ausfallen musste. Im zweiten Theil der vorliegenden Abhandlung werden wir den mittleren Salpeterwerth der Zellsäfte wachsender Zellen zu 0.2 finden. Nehmen wir nun diese Mittelzahl auch für die 1877 untersuchten Sprosse an, so wäre die Anziehungskraft einer Salpeterlösung von 0.2 Aeq. gleich der osmotischen Druckkraft der Zellsäfte jener Sprossgipfel, also mindestens = 4.7 Atm. Somit für 0.1 Aeq.  $\text{KNO}_3$  mindestens 2.35 Atm. Obgleich auch diese Zahl wenig Anspruch auf Genauigkeit macht, so stimmt sie doch mit der zuerst berechneten hinreichend genau überein, um als eine Bestätigung betrachtet werden zu dürfen.

Ambrohn bestimmte die Turgorkraft wachsender Sprosse von *Foeniculum officinale* zu 9—12 Atmosphären.<sup>1)</sup> Unter Berücksichtigung dieser Zahlen würde die obige Erörterung einen etwas höheren Werth liefern.<sup>2)</sup>

Als erste Annäherung finden wir somit, dass die osmotische Leistungsfähigkeit einer Lösung von 0.1 Aeq. Kalisalpeter nahezu 3 Atmosphären, wahrscheinlich etwas mehr, aber wohl nicht das Doppelte, beträgt.

Auf physikalischem Wege hat Pfeffer die osmotische Druckkraft mehrerer Substanzen direct zu ermitteln gesucht. In seinen bereits citirten inhaltsreichen Osmotischen Untersuchungen bestimmte er die maximale Druckhöhe, welche 1procentige Lösungen in osmotischen Apparaten zu erzeugen im Stande sind. Für die Beschreibung seiner bekannten Versuche verweise ich auf das Original<sup>3)</sup>; die von ihm benutzten Membranen waren sogenannte Niederschlagsmembranen, welche wegen ihres hohen Filtrationswiderstandes

1) Diese Jahrb. Bd. XII, S. 531.

2) Während des Druckes erhielt ich einen Aufsatz von M. Westermaier aus den Berichten der deutschen Bot. Gesellsch. 1883, I, Heft 8, in welchem das Wassergewebe der Blätter von *Peperomia* untersucht wurde. Die Turgorkraft dieser Zellen betrug 3—4 Atm.; sie wurden durch 2 pCt.  $\text{KNO}_3$  plasmolysirt. Auf meine Anfrage hatte Herr Dr. Westermaier die Gefälligkeit, mir brieflich mitzutheilen, dass die niedrigste zur Aufhebung des Turgors erforderliche Concentration zwischen 1.43 und 1.54 pCt.  $\text{KNO}_3$  liegt. Danach würde die osmotische Leistungsfähigkeit einer Lösung von 0.1 Aeq.  $\text{KNO}_3$  wenigstens 2—2.66 Atm. betragen. Diese mit erwachsenen Zellen und nach einer anderen Methode gemachte Bestimmung liefert also eine sehr gewünschte Bestätigung obiger Auseinandersetzungen.

3; Pfeffer: Osmotische Untersuchungen, Leipzig 1877, S. 112.

unter allen bekannten Membranen zu diesen Versuchen am besten geeignet sind. Sie stehen bis jetzt nur dem lebendigen Protoplasma in dieser fundamentalen Eigenschaft nach.<sup>1)</sup>

Auf höchst sinnreiche Weise verwandelte Pfeffer diese dünnen und zarten Häute in feste Membranen, welche einen Druck von mehreren Atmosphären ertragen konnten, indem er sie in kleine Thonzellen einlagerte und diese als Zellen seiner Osmometer verwandte. Dabei konnte er aber die Nothwendigkeit des Zusatzes der Membranogenen (meist Ferrocyankalium und ein Kupfersalz) zu der inneren und äusseren Flüssigkeit nicht umgehen. Den durch die osmotische Kraft dieser beiden Körper entstehenden Fehler suchte er zu eliminiren, indem er sie in vorläufig ermittelten, mit annähernd gleicher Kraft Wasser anziehenden, nach unserer Bezeichnung also isotonischen Concentrationen anwandte.

Einen wesentlichen Einfluss auf die Beurtheilung der von Pfeffer erhaltenen Resultate hat der auch von ihm selbst wiederholt hervorgehobene Umstand, dass die Membranen keineswegs vollständig impermeabel sind für die angewandten Stoffe. Denn daraus geht hervor, dass diese in jenen Membranen nie ihre maximale Druckhöhe zu Stande bringen konnten und dass sie von diesen um so weiter entfernt bleiben mussten, je leichter sie durch die Membranen hindurchgepresst wurden.<sup>2)</sup> Diesem Umstande ist es zuzuschreiben, dass die übrigens mit grosser Genauigkeit durchgeführten Versuche Pfeffer's bei der Berechnung auf dieselbe Einheit (0.1 Aeq.  $\text{KNO}_3$ ) ziemlich abweichende Resultate ergeben.

Verlieren wir diese Bemerkungen nicht aus dem Auge, so werden wir im Stande sein, die Uebereinstimmung, welche die aus Pfeffer's Versuchen berechneten Zahlen mit den oben aus meinen eigenen Beobachtungen abgeleiteten aufweisen, richtig zu würdigen.

Ich komme jetzt zu den einzelnen Versuchen Pfeffer's, und fange mit denen an, welche mit Iprocentigen Lösungen des Kalisalpeters gemacht worden sind. Diese wären selbstverständlich die directesten und wichtigsten zur Beantwortung unserer Hauptfrage,

---

1) Vergleiche meinen Aufsatz: „Sur la perméabilité des membranes précipitées“. Archives Néerl., T. XIII, 1878, S. 344.

2) „Allein die osmotische Leistung des Zuckers in Ferrocyankupfermembran ist ja auch kein Maass für dessen osmotische Leistung in einer Plasmamembran, welche thatsächlich höhere Werthe ergeben muss.“ Pfeffer, l. c. S. 179.

wenn nicht gerade der Salpeter in merklicher Menge durch die Niederschlagsmembranen (Ferrocyankupfer) der angewandten Zellen diffundirte.<sup>1)</sup> Da dem aber so ist, muss das Resultat zu klein gefunden werden.

Die Druckhöhe einer 1procentigen Lösung von Salpeter fand nun unser Autor in zwei Versuchen zu 173.3—178.4 cm Quecksilber.<sup>2)</sup> Nimmt man hieraus das Mittel zu 175.8, so findet man für jene Lösung, welche wir ohne merklichen Fehler = 0.1 Aeq. (1.01 pCt.) stellen können, eine Druckkraft von etwa 2.3 Atmosphären. Die auffallende Uebereinstimmung dieser Zahl mit den beiden oben ermittelten (2.4 und 2.35) ist aber eine zufällige, da sie, wie jene, wesentlich hinter dem wirklichen Werthe der gesuchten Kraft zurückstehen muss, wie soeben bemerkt wurde.

Höhere Werthe giebt die Berechnung einiger weiteren, mit Kalisulfat und Rohrzucker durchgeführten Versuche, da in diesen eine weit geringere Diffusion durch die Niederschlagsmembranen stattfand.

Die 1procentige Lösung des Kalisulfats entwickelte eine Druckkraft von 192.6 cm Quecksilber. Berechnen wir hieraus diese Kraft für eine Lösung von 0.1 Molecül im Liter, so finden wir  $192,6 \times 1.74 = 335.1$  cm<sup>3)</sup>. Nun ist 0.1 Molecül  $K_2SO_4$  isotonisch mit  $0.1 \times \frac{4}{3}$  Molecül Salpeter und es berechnet sich also die Druckhöhe für 0.1 Aeq. Salpeter zu 251.3 cm oder etwa 3.3 Atmosphären.

Für Rohrzucker fand Pfeffer (l. c. S. 79) in 16 Versuchen die osmotische Druckhöhe der 1procentigen Lösung zu 47.1—53.8 cm Quecksilber. Dieses macht für eine Lösung, welche 0.1 Molecül im Liter enthält (= 3.42 pCt.), 160.1—184.0 cm. Da nun nach unseren Coëfficienten 0.1 Molecül Rohrzucker isotonisch ist mit  $0.1 \times \frac{2}{3}$  Molecül Salpeter, so berechnet sich die Druckhöhe für 0.1 Aeq. Salpeter zu 240.1—276.0 cm, oder etwa 3.2—3.6 Atm. Im Mittel findet sich somit 3.4 Atm. oder nahezu dieselbe Zahl wie beim Kalisulfat.

1) Pfeffer: Osm. Unters. S. 74. Handbuch der Physiologie I, S. 53.

2) l. c. S. 112.

3) Bei dieser und der folgenden Berechnung setze ich Proportionalität zwischen Concentration und osmotischer Leistung voraus. Wenn auch eine solche Annahme nach Pfeffer nicht völlig gültig ist, führt sie doch hier in das Endresultat keinen beachtenswerthen Fehler ein.

Zu ähnlichen Resultaten führen noch einige weitere Versuche Pfeffer's, zu deren genauer Berechnung mir aber die erforderlichen Daten fehlen.

Vergleichen wir alle die auf so sehr verschiedenen Wegen gefundenen Zahlen mit einander, so sehen wir, dass die physiologische und die physikalische Methode eine so grosse Uebereinstimmung in ihren Resultaten aufweisen, wie man kaum hätte erwarten dürfen. Daraus aber dürfen wir entnehmen, dass unser Ergebniss wenigstens nicht sehr weit von der Wahrheit entfernt ist, und als erste Annäherung so lange benutzt werden darf, bis genauere Untersuchungen einen besser begründeten Werth an seine Stelle setzen werden.

Die gefundenen Werthe schwanken zwischen 2.3 und 3.6 Atm. und wir werden also, um eine runde Zahl zu wählen, die osmotische Druckkraft einer Lösung von 0.1 Aeq. Kalisalpeter vorläufig auf etwa drei Atmosphären stellen dürfen. Den mitgetheilten Erörterungen gemäss dürfen wir ferner annehmen, dass diese Zahl eher zu klein als zu hoch gegriffen ist.

Der isotonische Coëfficient des Kalisalpeters ist 3, und es folgt somit, dass die Einheit unserer Coëfficienten (wenn man  $H = 1$  Gramm pro 10 Liter setzt), nahezu einer Atmosphäre entspricht. Mit Hülfe dieser Zahl berechnet sich z. B. die osmotische Kraft einer zehntelnormalen Lösung von Oxalsäure auf etwa Eine Atmosphäre (0.1 Aeq. =  $\frac{1}{2}$  Molecül; isoton. Coëff. 2).

Zum Schlusse wiederhole ich, dass ich die vorstehenden Erörterungen nur als vorläufige betrachte, und es mir zur Aufgabe gestellt habe, den gesuchten Werth durch besondere Experimente direct zu ermitteln. Für unseren jetzigen Zweck, die Analyse der Turgorkraft, bedürfen wir, wie man im zweiten Theile sehen wird, der genauen Kenntniss dieses Werthes nicht.

#### § 4. Anwendung der isotonischen Coëfficienten bei physiologischen Versuchen.

Im zweiten Theile dieses Aufsatzes werden wir die Anwendung unserer Coëfficienten auf die Analyse der Turgorkraft, d. h. also auf die Eigenschaften der in den lebendigen Zellen enthaltenen Zellsäfte ausführlich behandeln. Ich möchte aber an dieser Stelle darauf hinweisen, dass auch bei anderen physiologischen Fragen und Versuchen unsere Coëfficienten von Nutzen sein können. Ich beschränke

mich dabei auf die physiologische Seite; inwiefern das Studium der physikalischen Erscheinungen, welche durch die Anziehung der gelösten Stoffe zu ihrem Lösungswasser bedingt werden, und namentlich die Erforschung der osmotischen Vorgänge davon Nutzen ziehen kann, will ich an dieser Stelle nicht erörtern.

Drei Fälle möchte ich hier beispielsweise hervorheben. Es sind dies die Bestimmung der Concentration von Nährlösungen, von Lösungen zu plasmolytischen Versuchen, und von Flüssigkeiten, in denen die Bewegungen niederer Organismen, oder diejenigen des Protoplasma beobachtet werden sollen.

In Wasserculturen darf die Concentration der Nährlösung erfahrungsgemäss einen gewissen Grad (meist zu 0.3 pCt. angegeben) nicht überschreiten, da sonst die Entwicklung der Pflanzen zu sehr retardirt wird. Offenbar muss diese Grenze aber je nach der Zusammensetzung der Lösung wechseln, weil z. B. Ein Molecül Kalisalpeter (101 Gramm) mit anderthalbfach grösserer Kraft Wasser anzieht wie ein Molecül schwefelsaure Magnesia (120 Gramm des wasserfreien oder 246 Gramm des krystallisirten Salzes). 101 Gramm  $\text{KNO}_3$  sind also in dieser Beziehung 180 resp. 369 Gramm des letztgenannten Salzes gleich zu stellen. In Versuchen, in denen Ein Salz durch ein anderes ersetzt wird, sollte solches also stets nach isotonischen Verhältnissen geschehen, da sonst die Anziehung der ganzen Lösung zum Wasser, und damit ihre retardirende Wirkung auf das Wachsthum verändert wird.

Kommt es darauf an, den Einfluss verschiedener Salze, sei es in reinen, sei es in gemischten Lösungen, auf die Vegetation mit einander zu vergleichen, so ist stets darauf Rücksicht zu nehmen, dass diese Salze, neben ihrer zu untersuchenden specifischen Wirkung, auch stets wasserentziehend wirken, oder doch die Aufnahme des Wassers seitens der Pflanze herabsetzen. Nur wenn sie in isotonischen Concentrationen angewandt werden, ist dieser letztere Einfluss für ungleichnamige Salze gleich gross, und nur dann lässt sich mit Sicherheit darüber entscheiden, ob ihnen noch eine specifische Wirkung zukommt. So verhält es sich z. B., wie man sogleich einsehen wird, mit dem Einflusse der von den Wurzeln aufgenommenen Lösungen auf die Wasserbewegung und auf die Verdunstung in den Blättern. Insbesondere hebe ich jene Versuche hervor, in denen die Geschwindigkeit des Wachsthums von Wurzeln in Lösungen ver-

schiedener Salze und verschiedener Concentration studirt wird. Wirken die Salze dabei nur kraft ihrer Anziehung zum Wasser, so muss das Wachsthum in isotonischen Concentrationen der verschiedensten Stoffe dieselbe Geschwindigkeit zeigen. Sollte letzteres aber nicht der Fall sein, so wäre noch eine andere Wirkung der Salze zu vermuthen. Hier liegt ein interessantes Feld für weitere Untersuchungen offen. Auch die Frage nach der Beziehung zwischen Concentration der Lösung und Geschwindigkeit des Wurzelwachsthums harret noch eines eingehenden Studiums.

Bei plasmolytischen Studien ist häufig eine Anwendung verschiedener Lösungen von Wichtigkeit. Namentlich ist es häufig wichtig, die Wirkung von Stoffen von verschiedenem Diffusionsvermögen, wie z. B. Salpeter und Rohrzucker, auf denselben Process zu studiren. Der Grad ihrer Concentration lässt sich im Voraus aus den isotonischen Coëfficienten berechnen, wenn er für die Erscheinung, die man hervorrufen will, bei Einer Substanz bekannt ist. Zu bemerken ist aber, dass solches nur für verdünnte Lösungen zulässig ist, z. B. für Lösungen von wenigen Procenten, oder solchen, welche mit höchstens 0.3 Aequivalent oder 3 pCt. Salpeter isotonisch sind. Bei Anwendung stärkerer Lösungen beobachtet man, wie zu erwarten, nicht selten bedeutende Abweichungen. Solches ist namentlich beim Chlorcalcium der Fall.

Die Bewegungen mancher niederer Organismen, z. B. gewisser Bacterien, und die Protoplasmaströmungen mancher Zellen finden bekanntlich in sehr verdünnten Salzlösungen ungestört statt, während destillirtes Wasser schädlich auf sie einwirkt. Vorschriftsmässig pflegt man eine  $\frac{3}{4}$ procentige Lösung von Kochsalz zu benutzen. Es ist zu erwarten, dass andere Salze, Zucker, Glycerin u. s. w. in isotonischen Concentrationen denselben Effect haben werden.

Diese Beispiele mögen genügen, um die Aufmerksamkeit auf die Concentration von Nährlösungen und dem Leben unschädlichen Reagentien zu lenken, und namentlich auf die Vermeidung von Ungleichheiten, welche durch die ungleiche wasseranziehende Kraft der verschiedenen gelösten Stoffe entstehen könnten. Sie lehren aber gleichfalls wie man in unseren Coëfficienten ein einfaches Mittel hat, um die numerischen Resultate älterer einschlägiger Versuche richtig zu beurtheilen.

Sie lehren ferner, dass eine klare Einsicht in manche in Lösun-

gen vorsichgehende Prozesse erst dann erlangt wird, wenn man die Concentrationen ungleichnamiger Stoffe, nicht, wie bisher üblich, nach Gewichtsprocenten ausdrückt, sondern im Gegentheil derart, dass man die Anzahl der Grammmolecüle im Liter angiebt. Es lässt sich dann wenigstens die allgemeinste und wichtigste Eigenschaft der Lösungen, der Grad, in welchem sie den lebenden Zellen Wasser entziehen, oder ihnen die Aufnahme von solchem gestatten, in directer und übersichtlicher Weise beurtheilen. Ich möchte für alle physiologischen Versuche diese Weise Concentrationen anzugeben, auf's Dringlichste empfehlen.

Um aber bei der Berechnung aller älteren Versuche, in denen die Concentration in Gewichtsprocenten angegeben ist, die Vergleichung der Wirkung verschiedener Stoffe zu erleichtern, füge ich zum Schlusse eine Tabelle bei, welche für die von mir untersuchten Stoffe die Zahlen enthält, welche bei einer solchen Vergleichung erforderlich sind. Sie umfasst für diese Verbindungen den Salpeterwerth einer einprocentigen Lösung, und die in Gewichtsprocenten angegebene Concentration einer mit 0.1 Aeq.  $\text{KNO}_3$  isotonischen Lösung. Diese letzteren, in der letzten Spalte verzeichneten Werthe, stellen also isotonische Concentrationen aller jener Verbindungen vor. In die Tabelle sind ferner die Daten aufgenommen, welche zur Berechnung jener Grössen dienen; es sind dies die chemischen Formeln, die Aequivalentzahlen und Molecular-Gewichte, und endlich die isotonischen Coëfficienten. In einigen Fällen, wo die krystallinischen Stoffe Krystallwasser enthalten, habe ich diese unter den wasserfreien Verbindungen aufgeführt, weil diese Verbindungen gewöhnlich im krystallinischen Zustande abgewogen und aufgelöst werden.

Ueber die Berechnung selbst sei Folgendes bemerkt. Die Salpeterwerthe der einprocentigen Lösungen sind  $= \frac{1}{3} \times 10 \times \frac{\text{Isot. Coëff.}}{\text{Molec. Gew.}}$  und weisen den Salpeterwerth direct in Aequivalenten an. Da das Molecular-Gewicht des Kalisalpers 101 ist, eine Lösung von 0,1 Aeq. also 1,01 pCt. enthält, braucht man die Zahlen nur mit 10 zu multipliciren, um den Salpeterwerth in Procentgehalten von Kalisalper mit hinreichender Genauigkeit zu finden. Die Concentrationen der mit 0.1 Aeq. = 1.01 pCt. Kalisalper isotonischen Lösungen, berechnen sich nach der Formel  $\frac{\text{Molec. Gew.}}{\text{Isot. Coëff.}} \times 0.03$ ; sie sind das Zehnfache der reciproken Werthe der Zahlen der vorletzten Spalte.

Tabelle zur Berechnung der Salpeterwerthe und der isotonischen Concentrationen nach Gewichtsprocenten.

Stoffe.	Formeln.	Aeq.-Zahl	Molec.-Gewicht	Isot. Coeff.	Salpeterwerth d. 1proc. Lösung	Concentration der mit 0.1 Aeq. $\text{KNO}_3$ isot. Lös.
Rohrzucker . . . . .	$\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$	—	342	2	0.0195	5.13 %
Invertzucker . . . . .	$\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$	—	180	2	0.037	2.70
Citronensäure . . . . .	$\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7$	64	192	2	0.035	2.88
dito Krystalle . . . . .	$\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7 + \text{H}_2\text{O}$	70	210	2	0.032	3.15
Aepfelsäure . . . . .	$\text{C}_4\text{H}_6\text{O}_5$	67	134	2	0.050	2.01
Weinsäure . . . . .	$\text{C}_4\text{H}_6\text{O}_6$	75	150	2	0.044	2.25
Oxalsäure . . . . .	$\text{C}_2\text{H}_2\text{O}_4$	45	90	2	0.074	1.35
dito Krystalle . . . . .	$\text{C}_2\text{H}_2\text{O}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$	63	126	2	0.053	1.89
Salpetersaures Kalium . . . . .	$\text{KNO}_3$	101	101	3	0.099	1.01
Salpetersaures Natrium . . . . .	$\text{NaNO}_3$	85	85	3	0.118	0.85
Chlorkalium . . . . .	$\text{KCl}$	74.5	74.5	3	0.134	0.745
Chlornatrium . . . . .	$\text{NaCl}$	58.5	58.5	3	0.171	0.585
Chlorammonium . . . . .	$\text{NH}_4\text{Cl}$	53.5	53.5	3	0.187	0.535
Essigsäures Kalium . . . . .	$\text{K}_2\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2$	98	98	3	0.102	0.98
Saures citronens. Kalium	$\text{KH}_2\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7$	43.3	130	3	0.077	1.30
Oxalsäures Kalium . . . . .	$\text{K}_2\text{C}_2\text{O}_4$	83	166	4	0.080	1.245
dito Krystalle . . . . .	$\text{K}_2\text{C}_2\text{O}_4 + \text{H}_2\text{O}$	92	184	4	0.072	1.38
Schwefelsäures Kalium . . . . .	$\text{K}_2\text{SO}_4$	87	174	4	0.077	1.305
Phosphorsaures Kalium . . . . .	$\text{K}_2\text{HPO}_4$	58	174	4	0.077	1.305
Weinsäures Kalium . . . . .	$\text{K}_2\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_6$	113	226	4	0.059	1.695
Aepfelsäures Kalium . . . . .	$\text{K}_2\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_5$	105	210	4	0.063	1.575
Saures citronens. Kalium	$\text{K}_2\text{HC}_6\text{H}_5\text{O}_7$	89.3	268	4	0.050	2.01
Citronensäures Kalium . . . . .	$\text{K}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7$	102	306	5	0.054	1.836
dito Krystalle . . . . .	$\text{K}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7 + \text{H}_2\text{O}$	108	324	5	0.051	1.944
Aepfelsäures Magnesium . . . . .	$\text{MgC}_4\text{H}_4\text{O}_5$	78	156	2	0.043	2.34
Schwefelsäures Magnesium . . . . .	$\text{MgSO}_4$	60	120	2	0.056	1.80
dito Krystalle . . . . .	$\text{MgSO}_4 + 7\text{H}_2\text{O}$	123	246	2	0.027	3.69
Citronensäures Magnesium . . . . .	$\text{Mg}_3(\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7)_2$	75	450	4	0.030	3.375
Chlormagnesium . . . . .	$\text{MgCl}_2$	47.5	95	4	0.140	0.7125
Chlorcalcium . . . . .	$\text{CaCl}_2$	55.5	111	4	0.120	0.8325

## II. Theil.

## Ueber die Analyse der Turgorkraft.

## Einleitung.

Indem wir jetzt zum physiologischen Theile unserer Untersuchung übergehen, sei es gestattet, in kurzen Zügen anzugeben, welcher Art die Fragen sind, welche mich das Bedürfniss empfinden liessen, den Antheil der verschiedenen, im Zellsaft gelösten Stoffe an der Turgorkraft messen, oder mit anderen Worten diese Kraft analysiren zu können.<sup>1)</sup> Die hervorragende Bedeutung des Turgors für das Leben und speciell für das Wachstum der Pflanzen ist, seit den bahnbrechenden Untersuchungen von Sachs, Jedem bekannt. und ich kann mich also sehr kurz fassen. Nach den jetzt allgemein angenommenen Principien seiner Theorie des Wachstums, wird die Anziehung des Zellsaftes zu Wasser als die mechanische Ursache der Streckung turgescenter Gewebe betrachtet. Die im Zellsafte gelösten Stoffe liefern die Kraft, welche das Wasser in die Zellen hineinzieht, dadurch deren Volumen vergrößert und das rasche Wachstum der Zellhäute bewirkt. Der Zellsaft aber ist ein Gemenge zahlreicher verschiedenartiger Körper in wässriger Lösung, und es leuchtet ein, dass diese alle nach Maassgabe ihrer specifischen Affinität zu Wasser, und nach der Menge, in der sie in der betreffenden Zelle vorhanden sind, einen Antheil an der Turgorkraft nehmen werden. Aber unter ihnen giebt es einerseits solche mit grosser, und andere mit geringer Affinität zu Wasser, andererseits kommen einige in hervorragender und andere wieder in sehr untergeordneter Menge in den einzelnen Zellen vor.

Wie es nach zerstreuten Bemerkungen in der bereits sehr ausgedehnten Literatur über diesen Gegenstand den Anschein hat, räumt die herrschende Meinung der Glucose unter den Inhaltsstoffen der Pflanzenzellen den ersten Rang in Beziehung zur Turgorkraft ein, aber es ist klar, dass, wo bestimmte Stoffe, wie z. B. Pflanzensäuren

---

1) Ueber diese Fragen vergleiche man auch: Bot. Ztg. 1879, S. 847 und Bot. Ztg. 1883, S. 849.

und deren Kalisalze, Rohrzucker, Salpeter oder Chlornatrium im Zellsaft in ganz erheblichen Mengen angehäuft sind, solche Verbindungen jedenfalls einen sehr wesentlichen Theil der fraglichen Kraft liefern werden.

Theoretische Erwägungen weisen mit Bestimmtheit darauf hin, dass die osmotische Kraft des Zellsaftes durch die Lebensthätigkeit des Protoplasma aus anderen, den Zellen zugeführten Kraftformen gebildet wird, und jede tiefere Einsicht in die Gesetze, welche die Turgorkraft beherrschen, muss also von der Frage ausgehen, in welcher Weise dieses geschieht. Giebt es, ausser den Stoffen welche zu anderen Zwecken in den Zellen abgelagert sind, wie z. B. den Nährstoffen, auch solche, welche nur zum Zwecke des Turgors aufgenommen oder gebildet werden? Besitzen die Zellen das Vermögen, wenn bestimmte Inhaltsbestandtheile in besonderen Fällen in ungewöhnlich grosser oder geringer Menge vorkommen, die Summe der Turgorkraft davon, durch geringere oder grössere Production anderer Bestandtheile unbeeinflusst zu erhalten? Welche Aenderungen erleidet diese Kraft bei bestimmten chemischen Umwandlungen, oder bei Aufnahme resp. Abgabe bestimmter Mengen der verschiedenartigsten Verbindungen? In welcher Weise wird die Zunahme der Turgorkraft beim Wachsthum, bei den Wachsthumskrümmungen und so vielen anderen Bewegungen bewirkt; beruht diese stets auf die Production derselben Substanz, oder auf die Anhäufung verschiedenartiger Körper? — Diese und zahlreiche andere Fragen von principieller Bedeutung dringen sich uns auf, wenn wir es versuchen uns eine Vorstellung von der Art und Weise zu machen, in der durch verschiedene stoffliche Umwandlungen, die so ansehnliche osmotische Kraft des Zellsaftes wachsender Pflanzentheile hervorgebracht wird.

Alle solche Fragen können aber nur dann einer experimentellen Behandlung unterworfen werden, wenn es möglich sein wird, in jedem einzelnen Falle den Antheil der einzelnen Inhaltsbestandtheile an der Turgorkraft mit hinreichender Genauigkeit zu bestimmen. Mit anderen Worten, wenn es möglich sein wird, eine Analyse der Turgorkraft zu machen. Für jede solche Analyse ist aber die genaue Kenntniss der drei folgenden Factoren unerlässlich:

1. Die totale Turgorkraft des Zellsaftes.
2. Die quantitative chemische Zusammensetzung des Zellsaftes.
3. Die Anziehung der einzelnen im Zellsaft gelösten Bestandtheile zu Wasser.

Ist die chemische Analyse eine vollständige, so genügen offenbar die beiden letzteren Factoren; da solches bei Pflanzensäften aber gewöhnlich nicht der Fall zu sein pflegt, so muss die totale Turgorkraft unabhängig von den beiden anderen Factoren bestimmt werden können.

Sind die drei erwähnten Factoren bekannt, so ist die Berechnung der Analyse der Turgorkraft eine äusserst einfache Operation. Denn man braucht nur den Gehalt des Zellsaftes an jeder einzelnen Verbindung mit dem Coëfficienten, der deren Anziehung zu Wasser anweist, zu multipliciren, um die absolute Grösse der Anziehung der einzelnen Bestandtheile zu Wasser zu finden. Lässt sich die Rechnung für sämtliche Inhaltsstoffe ausführen, so muss die Summe der einzelnen Anziehungen der totalen Turgorkraft gleich sein; sonst ist sie um so viel kleiner, als den nicht bestimmten Inhaltsstoffen entspricht. Die Umrechnung der einzelnen gefundenen Werthe in Procente der ganzen Turgorkraft, liefert dann in beiden Fällen die gewünschte Analyse.<sup>1)</sup>

Nachdem wir nun im ersten Theile die Coëfficienten kennen gelernt haben, welche uns die relative Grösse der Anziehung der einzelnen, im Zellsaft gelösten Bestandtheile zu Wasser anweisen, werden wir jetzt zunächst im ersten Abschnitt dieses zweiten Theiles eine Methode ausarbeiten, um die Turgorkraft eines gegebenen Zellsaftes zu messen, und dann im zweiten Kapitel nachweisen, wie aus dem dabei erhaltenen Resultat, und der chemischen Analyse des Saftes, sich die Analyse der Turgorkraft berechnen lässt.

Zu einer bequemeren und sicheren Anwendung unserer Methode auf die verschiedenartigsten physiologischen Probleme bedarf es aber ferner einer vorläufigen Orientirung auf diesem neuen Gebiete. Ich habe deshalb die wichtigsten Factoren der Turgorkraft für die gewöhnlichsten Fälle in ihrer relativen Grösse wenigstens in den Haupt-

---

1) Beispiele solcher Analysen der Turgorkraft findet man am Schlusse des zweiten Abschnittes.

zügen ermittelt, und die Resultate meiner diesbezüglichen Versuche im dritten Abschnitt niedergelegt. Hoffentlich werden diese allgemein gehaltenen Ergebnisse zahlreicher Turgorkraft-Analysen für die Behandlung von speciellen Fragen die erforderlichen Ausgangspunkte bieten. Im vierten Kapitel gebe ich dann ein Beispiel von der Art und Weise, wie die Gesetze der isotonischen Coëfficienten zur Lösung besonderer pflanzenphysiologischer Probleme angewandt werden können.

---

### Abschnitt I.

#### **Ueber die Messung der Turgorkraft ausgepresster Zellsäfte.**

Unter der Turgorkraft versteht man die Kraft, mit der der Inhalt einer lebendigen Zelle ihre Haut auszudehnen bestrebt ist, resp. wirklich ausdehnt. Die elastische Spannkraft der gedehnten Haut hält dieser Turgorkraft das Gleichgewicht. Die Ursache dieser Kraft aber stellen die verschiedenen im Zellsafte gelösten Verbindungen dar, welche das Wasser aus der Umgebung in die Zelle ziehen, und dadurch das Volumen des Zellsaftes zu vergrößern streben. Diese Turgorkraft, diese Affinität der gelösten Bestandtheile des Zellsaftes zu Wasser, ist die mechanische Ursache der Zellstreckung, wie durch die bahnbrechenden Arbeiten von Sachs endgültig bewiesen ist.

Eine genaue Messung der Turgorkraft wachsender Pflanzentheile war bisher nicht möglich. Die Beobachtungen von Sachs an geotropisch sich krümmenden Grasknoten, welche die ganze darniederliegende Pflanze (z. B. Mais) aufheben, hatten gelehrt, dass es sich hier jedenfalls um ganz bedeutende Kräfte handelt, und die Messungen Pfeffer's zeigten, dass die Gelenkpolster mancher Pflanzen bei ihren Bewegungen Kräfte ausüben, welche einen Widerstand von mehreren Atmosphären zu überwinden im Stande sind. Auch in wachsenden Sprossgipfeln wurde die Turgorkraft im Mittel auf etwa 4—5 Atmosphären bestimmt (vergl. S. 529).

Die äussere Kraft, welche ein wachsendes oder sich bewegendes Organ zu leisten im Stande ist, ist aber nicht ohne Weiteres der Turgorkraft des Saftes seiner Zellen gleich zu setzen, da ja auch innere Arbeit bei diesen Vorgängen zu leisten ist. Denn es muss die elastische Spannung der Zellhäute, der Protoplaste und namentlich der passiv gedehnten Gewebe überwunden werden. Zur Messung der Turgorkraft der Zellsäfte ist dieser Weg also nicht sehr geeignet.

In den Analysen der Turgorkraft muss die Affinität der einzelnen Bestandtheile des Zellsaftes auf die Turgorkraft des ganzen Saftes bezogen werden, wenn man ihren procentischen Antheil an der gesammten Kraft berechnen will. Die Turgorkraft selbst muss also mit viel grösserer Genauigkeit, als bisher der Fall war, gemessen werden können, und zwar mit demselben Maassstabe, wie die Affinität der einzelnen Bestandtheile des Zellsaftes zu Wasser.

Diesen Anforderungen genügen aber die Methoden, welche wir zur Ermittlung der isotonischen Coëfficienten benutzt haben, vollkommen, und wir haben in diesem Paragraphen nur auseinanderzusetzen, wie sie auf diese Aufgabe anzuwenden sind. Es handelt sich dabei stets darum, den Salpeterwerth (S. 430) des betreffenden Saftes zu messen, d. h. die Concentration jener Salpeterlösung ausfindig zu machen, welche dieselbe Anziehung zum Wasser besitzt wie der fragliche Saft.

Auf dem ersten Blick giebt es zur Lösung unserer Aufgabe zwei Wege, welche wir jetzt zunächst mit einander vergleichen wollen. Einmal kann man den Salpeterwerth des ausgepressten Zellsaftes in derselben Weise bestimmen, wie bei chemisch reinen Substanzen. Oder man kann den Salpeterwerth des in der lebendigen Zelle befindlichen Saftes nach der plasmolytischen Methode — für wachsende Theile nach der Methode der Gewebespannung — durch Aufsuchung der plasmolytischen Grenzconcentration (S. 435) resp. der indifferenten Concentration (S. 484) ermitteln.

In beiden Fällen finden die im ersten Theil besprochenen Methoden, mit geringen Abänderungen, Anwendung. Beide Verfahren haben gewisse Vor- aber auch gewisse Nachtheile. Handelt es sich um eine Analyse der Turgorkraft, und muss man also den Zellsaft einer chemischen Analyse unterwerfen, so verdient die erstere ohne Zweifel den Vorzug. Erstens, weil man ohnehin den Saft durch

Auspressen gewinnen muss, und zweitens, weil man sicher ist, den totalen Salpeterwerth für genau dieselbe Flüssigkeit zu bestimmen, deren einzelne Bestandtheile man auf chemischem Wege ausmisst.

Ein Nachtheil, der der Methode des ausgepressten Zellsaftes anklebt, liegt darin, dass der durch Auspressen gewonnene Saft keineswegs ohne weiteres dem Zellsafte der Parenchymzellen gleichgestellt werden kann. Gar häufig sind die Pflanzentheile so dünn, dass es unmöglich ist das Parenchym in hinreichender Menge von den übrigen Geweben zu trennen, und sogar in manchen grossen Blattstielen (wie Rheim, Gunnera, Lappa u. s. w.) ist das ganze Mark von Gefässbündeln durchsetzt, und kann also füglich nicht isolirt werden. Der Saft enthält also das Wasser und die löslichen Stoffe sehr ungleichnamiger Gewebe, und weder sein absoluter Salpeterwerth, noch seine Zusammensetzung ist dem des Schwellgewebes völlig gleich. Aus dem Xylem kann z. B. Wasser, aus dem Phloëm können Eiweiss und Phosphate aufgenommen werden. Andererseits sind die einzelnen Schichten des Parenchyms einander ungleich; die Zuckerscheide ist häufig reicher an Zucker, die inneren Markzellen haben nicht selten grössere Anziehung zu Wasser als die äusseren, und man ist also ohnehin verpflichtet, sich mit Mittelzahlen zufrieden zu stellen.

Vorläufige Versuche, welche ich speciell zu diesem Zwecke angestellt habe, haben aber gezeigt, dass der Antheil des Parenchym-saftes an dem ausgepressten Saft ein so überwiegender ist, dass der Einfluss der übrigen Gewebe ganz in die Grenzen der auch sonst möglichen Beobachtungsfehler zurücktritt. Sowohl der Salpeterwerth als auch die quantitativ-chemische Zusammensetzung zeigte sich nicht wesentlich anders, wenn das ganze Organ, oder sein möglichst gereinigtes Mark der Analyse unterworfen wurde.

Die zweite Methode liefert gleichfalls nicht ohne weiteres die Grösse der Turgorkraft des Zellsaftes. In den im ersten Theil (Abschnitt III, § 2) beschriebenen Versuchen, ist für eine Reihe von Arten diejenige Concentration einer Salpeterlösung bestimmt worden, in der sich die isolirten Kreuzstreifen wachsender Sprosse weder auf- noch abrollen. Diese Concentrationen bewegen sich in der über-grossen Mehrzahl der Fälle zwischen etwa 0.16 und 0.22 Aequiv. Kalisalpeter, und sind im Mittel aus allen 43 Versuchen gleich

0.18 Aeq.  $\text{KNO}_3$ . Mit dieser Kraft kann man also annehmen, dass das wachsende Markgewebe Wasser anzieht. Aber ist dieses nun auch der Salpeterwerth des Zellsaftes? Offenbar nicht, denn der Zellsaft muss bei der Aufnahme von Wasser den Widerstand der elastisch gedehnten Zellhaut überwinden, und die wasseranziehende Kraft des ganzen Gewebes ist also gleich der Turgorkraft seiner Zellsäfte, vermindert mit der elastischen Spannkraft der Zellhäute. Solange man also nicht im Stande ist, die Spannkraft der Zellwände zu messen oder zu eliminiren, führt diese Methode nicht zu einer Kenntniss des Salpeterwerthes der Zellsäfte. Allerdings scheint in wachsenden Markzellen jene Spannkraft keine sehr grosse zu sein, wie schon daraus hervorgeht, dass isolirte Markprismen sich im Wasser um mehr als ein Drittel ihrer Länge ausdehnen können, bevor ein Gleichgewicht zwischen Turgorkraft und Spannkraft der Wandungen erreicht ist. Im unverletzten Sprossgipfel sind es ja hauptsächlich die passiv gedehnten Gewebe (Epidermis, Collenchym, Gefässbündel u. s. w.), welche dem Ausdehnungsstreben des Markes das Gleichgewicht halten. Andererseits spricht hierfür der Umstand, dass, wie schon erwähnt, die Turgorkraft des ganzen Markgewebes im Mittel aus zahlreichen Versuchen zu 0.18 Aeq.  $\text{KNO}_3$  gefunden wurde, während wir bald sehen werden, dass die Turgorkraft ausgepresster Zellsäfte wachsender Pflanzentheile im Mittel aus fast 20 Versuchen gleich 0.20 Aeq.  $\text{KNO}_3$  zu stellen ist. Der Einfluss der Zellwände ist also hier, allem Anscheine nach, fast verschwindend klein.

Für manche Zwecke dürfte sich diese Methode zur Bestimmung der Turgorkraft wachsender Pflanzentheile sehr empfehlen, zumal wo es sich darum handelt, die Aenderungen kennen zu lernen, welche die Grösse dieser Kraft unter verschiedenen äusseren Einflüssen erleidet.

Eine Bestimmung der Turgorkraft durch Ermittlung der schwächsten zur Plasmolyse erforderlichen Concentration des Salpeters, oder der höchsten Concentration, welche noch gerade keine Plasmolyse hervorruft, wird in der grossen Mehrzahl der Fälle schon aus dem Grunde nicht zu befriedigenden Resultaten führen, weil jene Concentration in den meisten Geweben für die einzelnen Zellen eine sehr verschiedene ist, und eine genaue Bestimmung also

nur selten möglich sein wird. Dazu kommt, dass in parenchymatischen Geweben, und zumal in solchen mit farblosem Zellsaft, geringe Grade der Plasmolyse sich nur zu leicht in zahlreichen Zellen der Beobachtung entziehen. Auf diesen Punkt brauchen wir aber nicht weiter einzugehen.

Für unseren Zweck bleibt also nur übrig, die Turgorkraft ausgepresster Zellsäfte zu ermitteln, und wir wenden uns jetzt zu der Beschreibung des dazu anzuwendenden Verfahrens. Ich bespreche gesondert die Bereitung der Säfte und die Messung ihres Salpetherwerthes.

**Bereitung ausgepresster Zellsäfte.** Die Säfte habe ich stets mittelst einer Handpresse aus den Geweben herausgepresst, und zwar fast immer, bis sich damit nahezu nichts mehr gewinnen liess; das zurückbleibende, selbstverständlich noch einen wesentlichen Theil des Saftes enthaltende Gewebe wurde nicht weiter benutzt. Eine Verdünnung mit Wasser fand also nie statt. Der gewonnene Saft wurde stets durch Filtriren (durch nicht vorher befeuchtete Filter) möglichst geklärt.

Nur bei ausgewachsenen oder nahezu ausgewachsenen Geweben, und bei diesen noch bei Weitem nicht immer, erhält man auf diese Weise eine klare, gut filtrirbare Flüssigkeit. In wachsenden Theilen ist der Saft gewöhnlich so reich an Eiweiss, dass eine Abscheidung dieses nicht umgangen werden kann. Ich habe in solchen Fällen das Eiweiss durch Erwärmen coagulirt, und zwar entweder in den Organen selbst, vor dem Pressen, oder im ausgepressten Saft, gewöhnlich sogar der Sicherheit wegen in beiden. Das Erwärmen der ganzen Organe, sowie das der ausgepressten Säfte geschah stets in geschlossenen Gefässen, im Wasserbade bei 100° C.; die Gefässe wurden erst geöffnet, als sie völlig auf die Temperatur der Umgebung abgekühlt waren. In dieser Weise konnte einer Concentrationsänderung durch Verdunstung in wirksamer Weise vorgebeugt werden.

Werden Pflanzentheile vor dem Pressen bei nahezu 100° C. erhitzt, so werden die Protoplaste ihrer Zellen getödtet und der Saft fliesst dann leichter aus, als wenn man das lebendige Gewebe unter die Presse bringt. Man hat dann einen doppelten Vortheil. Erstens gewinnt man den Saft weit vollständiger, und wenn davon eine

bestimmte Anzahl Cubikcentimeter zur Analyse erforderlich sind, kann man also mit einer geringeren Menge von Material auskommen. Aus vorher getödteten Theilen erhält man häufig die  $1\frac{1}{2}$  bis zweifache Menge derjenigen, welche dieselben Theile, frisch gepresst, geliefert haben würden. Zweitens aber können sich hier die Säfte sämtlicher Zellen mischen, während beim Pressen lebender Organe zahllose Zellen geschlossen bleiben. Weicht deren Inhalt von dem der übrigen Zellen ab, so entspricht der gewonnene Saft nur nach vorherigem Tödteten dem wirklichen Mittelwerth. Zumal bei vergleichenden Versuchen ist dieses zu berücksichtigen. Doch lehrten mich einige Vorversuche, dass weder der Salpeterwerth, noch auch die quantitativ-chemische Zusammensetzung von Säften, welche nach beiden Methoden aus demselben Pflanzentheil gewonnen waren, wesentliche Verschiedenheiten zeigten.

Die Filtration geschah meist zuerst durch Leinwand, um die gröbereren Theilchen zu trennen, und dann durch Filtrirpapier. Beide waren selbstverständlich vorher in üblicher Weise mit Salzsäure ausgewaschen und wurden vor dem Gebrauche nicht befeuchtet. Die Trichter ruhten auf enghalsige Flaschen und wurden mit Glasplatten gedeckt, um die Verdunstung zu mässigen.

Bei der Erwärmung auf  $100^{\circ}$  C. können die Säfte, ausser der Coagulation des Eiweisses, noch weitere Veränderungen erleiden. Mit dem Eiweiss wird ein Theil der Phosphate und der anderen Salze niedergeschlagen. Es darf aber angenommen werden, dass diese Salze mit dem Eiweiss aus den Protoplasten und dem Phloëm aufgelöst waren, und dass ihre Fällung die Zusammensetzung des Saftes von der des wirklichen Zellsaftes nicht entfernt. Ist Rohrzucker vorhanden, so kann dieser durch die Säuren des Saftes invertirt werden. Nach einigen Vorversuchen aber nur zu einem geringen Theile, und da ich in den Säften wachsender Pflanzentheile in der Regel überhaupt keinen Rohrzucker fand, so ist diese Fehlerquelle wohl nur selten von Bedeutung. Wichtiger ist das Verhalten der Citronensäure. Die Pflanzensäfte enthalten fast immer Kalksalze; wenn also auch citronensaure Salze vorhanden sind, wird diese Säure in Verbindung mit Kalk durch die Erwärmung auf  $100^{\circ}$  C. gefällt. In den so bereiteten Säften konnte ich dementsprechend nie Citronensäure nachweisen. Glücklicherweise sind die Säfte wachsender

Pflanzentheile gewöhnlich nicht so reich an Citronensäure, dass durch Fällung ihres Kalksalzes ein erheblicher Fehler in der Bestimmung des gesammten Salpeterwerthes zu befürchten wäre.

Handelt es sich nicht um eine Messung der Turgorkraft an sich, sondern um eine Vergleichung dieser mit dem Salpeterwerthe der einzelnen Bestandtheile des Saftes, so ist der Schaden, der aus diesen Fehlerquellen entstehen könnte, ein um so geringerer, als die chemische Analyse des Saftes durch sie in derselben Weise beeinflusst wird wie die Messung der Turgorkraft. Die gegenseitige Vergleichbarkeit beider bleibt also im Wesentlichen unbeeinträchtigt.

Messung des Salpeterwerthes ausgepresster Zellsäfte. Der Salpeterwerth eines Zellsaftes lässt sich genau nach derselben Weise bestimmen, wie der einer beliebigen chemisch-reinen Lösung. Zu empfehlen ist dafür also die vergleichende plasmolytische Methode, und ich darf somit für die einzelnen Vorschriften, die bei der Ausführung zu beachten sind, auf den ersten Theil (Abschn. II § 1 S. 441) verweisen. Als Indicatorpflanzen kann man die dort beschriebenen *Curcuma rubricaulis* und *Tradescantia discolor* benutzen, thatsächlich habe ich bis jetzt fast nur die letztere gebraucht, weil mir zur Zeit meiner bisherigen Analysen die *Curcuma* nicht zur Verfügung stand.

Von *Tradescantia discolor* wählte ich stets nur die mittleren Zellen des Mittelnerven; die seitlichen habe ich bei diesen Bestimmungen nie gebraucht. Für die Herstellung der Präparate vergleiche man S. 446.

Eine wesentliche Aenderung in der dort beschriebenen Methode ist durch den Umstand bedingt, dass Pflanzensäfte gewöhnlich kaum in hinreichender Menge zu einer chemischen Analyse zu haben sind, wenigstens wenn man darauf hält, die Pflanzentheile rein von abhängenden Organen und möglichst von gleichem Alter zur Saftbereitung einzusammeln. Sollen dazu nur junge wachsende Organe, und diese von möglichst verschiedenen Arten, studirt werden, so ist es wesentlich, die Analysen mit den kleinstmöglichen Saftmengen ausführen zu können. Auch die Bestimmung des Salpeterwerthes soll also mit so wenig Saft geschehen, wie nur ohne Gefahr für ihre Genauigkeit möglich ist.

Die Herstellung einer Reihe von Lösungen verschiedener Con-

centration, wie die vergleichende plasmolytische Methode sie verlangt, fordert aber ein ziemlich grosses Quantum der ursprünglichen Lösung. Denn je grösser die jedesmal zur Verdünnung mit Wasser ausgemessenen Volumina, um so genauer wird die erwünschte Concentration der einzelnen Lösungen erreicht. Bei den im ersten Theil mitgetheilten Versuchen zur Bestimmung der isotonischen Coëfficienten bereitete ich mir gewöhnlich von der ursprünglichen Lösung 100 bis 200 CC, nie unter 50 CC. So grosse Mengen ausgepresster Säfte können aber nur relativ selten für die Bestimmung des Salpeterwerthes geopfert werden; gewöhnlich stehen dafür höchstens 10 bis 20 CC zur Verfügung.

Daher habe ich hier stets einen ganz anderen Weg eingeschlagen. Statt zu den einzelnen Lösungen verschiedene Mengen Saft mit verschiedenen Mengen Wasser zu mischen, habe ich stets dieselbe Menge Saft mit derselben Menge einer anderen Flüssigkeit zusammengebracht, letztere war aber für jede einzelne Mischung eine andere. Zur Vermengung benutzte ich aber einfach Salpeterlösungen verschiedener Concentration.

Ein Beispiel möge das Princip dieser Methode erläutern. Es sei ein ausgepresster Saft zu untersuchen, und als Indicorgewebe diene ein Stück Oberhaut von Tradescantia, welches in einer Lösung von 0.13 Aeq.  $\text{KNO}_3$  gerade den Anfang der Plasmolyse zeigt. Ich mische nun 1 CC des Saftes mit 1 CC einer Salpeterlösung von 0.02 Aeq.; die Mischung enthält also den auf die Hälfte verdünnten Saft + 0.01 Aeq.  $\text{KNO}_3$ ; in ihr zeigt das Indicorgewebe keine Plasmolyse. Der auf die Hälfte verdünnte Saft hat also geringere Anziehung zu Wasser als  $0.13 - 0.01 = 0.12$  Aeq.  $\text{KNO}_3$ . Ich wiederhole den Versuch und mische jetzt zu dem Saft ein gleiches Volumen einer Salpeterlösung von 0.20 Aeq.  $\text{KNO}_3$  und beobachte in der Mischung starke Plasmolyse. Der halbe Saft ist also stärker als  $0.13 - 0.10 = 0.03$  Aeq.  $\text{KNO}_3$ . Es gilt nun, diese Grenzen näher zusammenzuziehen, und ich mische zu diesem Zweck je 1 CC des Saftes mit je 1 CC Kalisalpeterlösung von 0.04, 0.06 und 0.08 u. s. w. bis 0.18 Aeq.  $\text{KNO}_3$ . Es zeige sich, dass gerade ein Zusatz von 0.10 Aeq.  $\text{KNO}_3$  genüge, um den schwächsten Grad von Plasmolyse hervorzurufen. Der halbe Saft hat dann den Salpeter-

werth  $0.13 - 0.05 = 0.08$ , der unverdünnte Saft ist somit isotonisch mit  $0.16$  Aeq.  $\text{KNO}_3$ .

Die Erfahrung hat gelehrt, dass es in weitaus den meisten Fällen hinreicht, den Saft nur mit folgenden Salpeterlösungen zu vermengen, um schon durch den ersten Versuch seinen Salpeterwerth mit hinreichender Genauigkeit zu erfahren:  $0.02, 0.04, 0.06, 0.08, 0.10$  und  $0.12$  Aeq.  $\text{KNO}_3$ . Selten sind dazu einerseits destillirtes Wasser, andererseits  $0.14$  Aeq.  $\text{KNO}_3$  erforderlich. Dadurch war es mir später fast stets möglich, Vorversuche zu umgehen und den Hauptversuch sogleich mit  $6-8$  Mischungen anzustellen, und es fordert somit die Methode für jede einzelne Bestimmung höchstens  $6-8$  CC Saft.

Die Salpeterlösungen zur Mischung, sowie die sechs zur Controlle ( $0.10-0.15$  Aeq.  $\text{KNO}_3$ ) bestimmten, hielt ich mir jedesmal in hinreichenden Quantitäten bereit, um bei wiederholtem Gebrauch keine Aenderung ihrer Concentration befürchten zu müssen, und bewahrte sie in gut verschlossenen Flaschen, welche sie möglichst ausfüllten, auf. Nach zwei bis drei Monaten muss man sich diese Lösungen aber vorsichtshalber neu herstellen.

Eine grössere Annäherung der Concentration der mit dem Saft zu mischenden Salpeterlösungen, z. B. auf  $0.01$  Aeq.  $\text{KNO}_3$ , hat mich nicht zu grösserer Genauigkeit in den Resultaten geleitet. Dasselbe war der Fall, als ich Saft und Salpeter in anderen Volumverhältnissen mischte. Die Genauigkeit, mit der man jedesmal  $1$  CC abmessen kann, bedingt hier die erreichbare Grenze. Die Mischung fand stets in den kleinen Glaseylinderchen statt, in denen die Gewebestückchen dem Versuch unterworfen werden sollten.

Bisweilen stösst man auf Säfte, welche bei einer Verdünnung mit dem gleichen Volum Wasser das Indicatorgewebe noch plasmolysiren. Diese können nicht anders nach obiger Methode untersucht werden, als dass man sie vorher ganz auf z. B. die Hälfte oder zwei Drittel verdünnt. Dass das Resultat entsprechend an Genauigkeit verliert, schadet bei solchen ausnahmsweise hohen Salpeterwerthen in der Regel wenig.

Es war bei diesem Verfahren von Interesse, zu erfahren, ob die Vermischung mit so beträchtlichen Mengen eines leicht diffundirenden Salzes, wie der Salpeter ist, etwa einen Einfluss auf das Resultat

haben könnte. Zwar war solches nicht zu erwarten, jedoch habe ich mit einigen Säften den Salpeterwerth nebenher noch bei Zusatz von Rohrzuckerlösungen an Stelle des Salpeters bestimmt. Es geschah dieses in der folgenden Weise. Es wurden Lösungen von Rohrzucker von solchen Concentrationen hergestellt, dass sie mit den üblichen Salpeterlösungen genau isotonisch waren, und nun mit diesen, theils zur Mischung mit den Pflanzensäften, theils als Controle, einfach so verfahren, als ob es Salpeterlösungen wären. Bestimmungen, in dieser Weise ausgeführt, lieferten für den Saft jugendlicher Sprossgipfel von *Helianthus tuberosus*, des Markes wachsender Blattstiele von *Gunnera scabra* und *Heracleum Sphondylium* dieselben Resultate, wie die mit den Salpeterlösungen selbst ausgeführten Versuche. Von dieser Seite ist also kein Fehler zu befürchten.

Stark saure Säfte, wie z. B. von Rheum und *Begonia* würden die Protoplaste des Indicatorgewebes angreifen und tödten, und dadurch die Bestimmung des Salpeterwerthes falsch oder unmöglich machen. Sie werden deshalb vorher neutralisirt. Dabei ist folgendes zu berücksichtigen. Der Saft wird mit einer vorher bestimmten Menge einer kohlenstofffreien Kalilösung soweit neutralisirt, bis er noch grade schwach sauer reagirt; alkalische Reaction ist durchaus zu vermeiden. Dabei erleidet der Saft erstens eine Verdünnung und zweitens eine Erhöhung seines Salpeterwerthes durch Umwandlung der freien Säure in das entsprechende Kalisalz. Ist also der Salpeterwerth des neutralisirten Saftes nach obiger Methode gefunden, so bedarf dieser einer zweifachen Correction. Die wegen der Verdünnung ergibt sich von selbst, die wegen des Zusatzes von Kali aus der Betrachtung, dass jedes Aequivalent Kali den Salpeterwerth gleichviel erhöht, wie  $\frac{1}{3}$  Molekül Kalisalpeter, da ja der partielle isotonische Coëfficient des Kaliums (in Verbindungen) = 1 ist (S. 519). Durch diese Operation büsst die Bestimmung ein wenig an Genauigkeit ein.

Weitaus die meisten Pflanzensäfte bedürfen aber weder der vorherigen Verdünnung, noch auch der Neutralisation. Gewöhnlich sind sie nur schwach sauer, enthalten keine Oxalsäure, sondern meist vorwiegend die schwächere Aepfelsäure, und diese nicht im freien Zustande, sondern als saures Salz. Ich habe nun einige Vorversuche

angestellt, um mich zu überzeugen, dass saures Aepfelsaures Kalium, auch wenn es zu einer vielfach stärker saueren Lösung aufgelöst ist als in den Pflanzensäften, dennoch die Ermittlung des Salpeterwerthes der Lösung mit *Tradescantia discolor* nicht gefährdet. Ich gehe jetzt zu der Beschreibung dieser Versuche über.

Einfluss der sauren Reaction der Zellsäfte auf die Bestimmung ihrer Salpeterwerthe. Die saure Reaction der meisten Zellsäfte rührt, wie gesagt, wohl von saurem äpfelsaurem Kalium her; die Stärke ihrer Reaction entspricht nur selten derjenigen einer Lösung von 0.05 Aeq. Aepfelsäure, und bei unserer Methode, wegen der Verdünnung mit dem gleichen Volum Salpeterlösung, also höchstens 0.025 Aeq. Eine so schwach saure Reaction ist für die Zellen der *Tradescantia* durchaus unschädlich.

Saure Lösungen, welche das Leben dieser Zellen beeinträchtigen, pflegen durch die Protoplaste zu dringen, sich mit dem Zellsaft zu mischen, und dessen violette Farbe in roth zu verwandeln. In den gewöhnlichen ausgepressten Pflanzensäften beobachtete ich diese Umfärbung unserer Zellen nicht, ebensowenig in einer sauren Lösung von äpfelsaurem Kalium, deren saure Reaction = 0.2 Aeq. dieser Säure, also verhältnissmässig sehr stark, war.

Um nun zu erfahren, ob Bestimmungen in sauren äpfelsauren Lösungen mit *Tradescantia* genaue Resultate liefern, habe ich einerseits saure Lösungen äpfelsauren Kaliums mit neutralen desselben Salzes, andererseits Salpeterlösungen, denen Aepfelsäure zugesetzt war, mit reinen Salpeterlösungen verglichen. Es wird hinreichen von beiden Reihen Ein Versuch als Beispiel anzuführen.

Zum ersteren Versuch bereitete ich eine Lösung von 0.2 Aeq. Aepfelsäure, und solche von neutralem äpfelsaurem Kalium von verschiedenen Concentrationen. Es wurden nun diese Lösungen derart gemischt, dass die Mischungen jedesmal 0.1 Aeq. Aepfelsäure, aber verschiedene Mengen äpfelsauren Kaliums enthielten.<sup>1)</sup> Ich suchte nun mit *Tradescantia discolor* nach der vergleichenden plasmolytischen Methode für dasselbe Gewebe die zur Plasmolyse gerade

---

1) Die Verbindung der Säure mit dem Salze zu einem sauren Salze lasse ich der Einfachheit halber bei diesen Auseinandersetzungen unberücksichtigt.

erforderliche Concentration der neutralen und der sauren Flüssigkeiten, und fand folgendes, bei einer Versuchsdauer von  $2\frac{1}{4}$  Stunde:

Im neutralen äpfelsauren Kalium von:

- 0.15 Aeq.  $K_2M$  <sup>1)</sup> keine Plasmolyse.  
 0.165 - - die Hälfte der Zellen plasmolysirt.  
 0.18 - - alle Zellen plasmolysirt.

In den sauren Lösungen von:

- 0.10 Aeq.  $K_2M$  + 0.1 Aeq.  $M$  <sup>2)</sup> keine Plasmolyse.  
 0.115 -  $K_2M$  + 0.1 -  $M$  die Hälfte der Zellen plasm.  
 0.130 -  $K_2M$  + 0.1 -  $M$  alle Zellen plasmolysirt.

Es wird also 0.165 Aeq.  $K_2M$  mit 0.115 Aeq.  $K_2M$  + 0.1 Aeq.  $M$  isotonisch gefunden. Der isot. Coëff. von  $M$  ist aber 2, von  $K_2M$  4, und es muss also 0.2 Aeq.  $M$  gerade 0.1  $K_2M$  vertreten können. Also:

$$0.115 \text{ Aeq. } K_2M + \frac{1}{2} \times 0.1 \text{ Aeq. } K_2M = 0.165 \text{ Aeq. } K_2M.$$

Es stimmt demnach die Rechnung genau mit dem Befunde überein, und es wird also die Bestimmung des Salpeterwerthes der sauren Lösung durch Anwesenheit von 0.1 Aeq. Säure nicht beeinträchtigt.

Zu dem zweiten Versuch gab die Erwägung Veranlassung, dass in den mitgetheilten Experimenten neben der Säure kein Kalisalpeter anwesend war, und dass die saure Reaction der Zellsäfte vielleicht die Permeabilität der Zellen der Tradescantia für dieses Salz erhöhen und dadurch eine Fehlerquelle eröffnen könnte. Die Erfahrung hat dies nicht bestätigt, wie folgender Versuch lehrt:

Ich bereitete mir eine Lösung von 0.12 Aeq. Aepfelsäure, welche also mit 0.04 Aeq. Kalisalpeter isotonisch war. Ich mischte diese mit gleichen Volumina verschiedener Salpeterlösungen; der Gehalt der Mischungen war also jedesmal 0.06 Aeq. Aepfelsäure (isot. mit 0.02 Aeq.  $KNO_3$ ). Sodann bestimmte ich die plasmolytische Grenzconcentration für Tradescantia mit diesen Mischungen, und mit neutralen Salpeterlösungen. Das Resultat war bei:

- 0.08 Aeq.  $KNO_3$  + 0.06 Aeq.  $M$  keine Plasmolyse.  
 0.09 Aeq.  $KNO_3$  + 0.06 Aeq.  $M$  die Hälfte der Zellen plasm.  
 0.10 Aeq.  $KNO_3$  + 0.06 Aeq.  $M$  überall Plasmolyse.

1)  $K_2M$  = neutrales äpfelsaures Kalium (Kalium-Malat).

2)  $M$  = Aepfelsäure (Malylsäure).

Und in den Controle-Versuchen:

- 0.10 Aeq.  $\text{KNO}_3$  keine Plasmolyse.
- 0.11 - - die Hälfte der Zellen plasmolysirt.
- 0.12 - - überall Plasmolyse.

Somit wurde 0.09 Aeq.  $\text{KNO}_3$  + 0.06 Aeq. M isotonisch gefunden mit 0.11 Aeq.  $\text{KNO}_3$ . Nach der Rechnung aber müsste die erstere Lösung isotonisch sein mit  $0,09 + 0,02 = 0,11$  Aeq.  $\text{KNO}_3$ . Differenz 0,00.

Auch von Lösungen, welche freie Aepfelsäure oder saures äpfel-saures Kalium enthalten, kann der Salpeterwerth also nach unserer Methode ohne Fehler bestimmt werden, auch wenn sie viele Male stärker sauer sind als die Pflanzensäfte in der Verdünnung, wie sie bei unseren Versuchen angewandt werden müssen.

Die saure Reaction der gewöhnlichen Zellsäfte hat also auf die Ermittlung des Salpeterwerthes keinen Einfluss.

Beispiele von Salpeterwerthen ausgepresster Zellsäfte. Nach der im Vorhergehenden begründeten Methode habe ich nun für eine Reihe von Pflanzen den Salpeterwerth des ausgepressten Saftes ermittelt, und mich dadurch von der Brauchbarkeit der Methode überzeugt. Verbesserungen, die ich während dieser Zeit anbrachte, habe ich in die Beschreibung ohne weitere Bemerkung aufgenommen.

Die Anwendung der Methode wird ganz bedeutend vereinfacht, wenn man im Voraus das zu erwartende Resultat annähernd bestimmen kann. Es geschieht dies in der Regel durch directe Vorversuche, deren Wahl aber durch eine statistische Kenntniss der überhaupt bei Pflanzensäften vorkommenden Salpeterwerthe sehr beschränkt werden kann. Die Natur und das Alter des Organs, das Trockengewicht des Saftes, der Gehalt an Zucker, pflanzensauren Salzen und anderen verbreiteten Inhaltsbestandtheilen geben hier wichtige Fingerzeige. Lässt man einen Tropfen auf dem Objectträger eintrocknen und krystallisiren Chloride, Salpeter oder andere leicht kenntliche Verbindungen heraus, so weist dieses, in Verbindung mit anderen Factoren, häufig schon auf hohe oder niedere Salpeterwerthe. Durch Berücksichtigung solcher Eigenschaften gelang es mir bei den späteren Versuchen in zahlreichen Fällen Vorversuche völlig zu um-

gehen, und den Hauptversuch derart anzustellen, dass er direct zu einem Resultate führte.

Ich gebe nun zunächst eine ausführliche Beschreibung eines einzelnen Versuches, und wähle dazu

*Gunnera scabra.*

Ein nahezu ausgewachsener, 45 cm langer, 3,5–4 cm dicker Blattstiel, dessen Spreite fast 45 cm lang war, wog 400 Gramm. Es wurde das innere Mark, welches von spärlichen Gefässbündeln durchzogen war, in einem Gewicht von 123 Gramm isolirt, und sogleich in die Presse gebracht. Es lief ein fast klarer, nahezu farbloser Saft heraus, der ohne Erwärmung sich vollständig klar filtriren liess. Es wurden nahezu 60 Gramm erhalten, und zu einer, im nächsten Abschnitt mitzutheilenden Analyse verwandt. Der Saft enthielt 1.6 pCt. Trockensubstanz; beim Eintrocknen auf dem Objectglase krystallisirte Chlorkalium in schönen deutlichen Krystallen heraus. Frühere Versuche liessen erwarten, dass der Salpeterwerth des Saftes nicht weit von den gewöhnlichen Salpeterwerthen der Säfte wachsender Pflanzentheile (0.16—0.22 Aeq.  $\text{KNO}_3$ ) abweichen würde.

Es wurden nun ein Gestell mit sechs kleinen gläsernen Cylindern von 15—20 CC Inhalt zu dem Hauptversuch, und ein gleiches zu der Controle bestimmt. In jedes Röhrchen des ersten Gestelles brachte ich genau 1 CC des Saftes, und mischte dazu 1 CC einer Salpeterlösung, welche für das erste Röhrchen 0,02 Aeq., für das zweite 0.04 Aeq., für die übrigen 0.06, 0.08, 0.10 und 0.12 Aeq.  $\text{KNO}_3$  enthielt. In die Röhrchen des Controle-Gestelles kamen Salpeterlösungen von 0.10—0.15 Aeq., in Quantitäten von etwa 4 bis 5 CC. Von einem kräftigen Blatte von *Tradescantia discolor* wurde nun die Oberhaut der Unterseite gereinigt, und in der Mitte des Mittelnerven mit einem Rasirmesser dreizehn feine Querstriche in Entfernungen von je 1—1½ mm eingeritzt. Die dadurch entstandenen zwölf Abtheilungen wurden nun mit dem Rasirmesser vom unterliegenden Gewebe abgeschnitten, und dienten als Präparate zur Bestimmung der Plasmolyse. Sie kamen der Reihe nach, wie sie dem Blatte entnommen wurden, von unten nach oben in die Röhrchen, und zwar abwechselnd in die Saftmischungen und in die reinen Salpeterlösungen, mit denen der geringsten Concentration anfangend und regelmässig zu den höheren Concentrationen aufsteigend.

Diese Anordnung hat zur Folge, dass in beiden Gestellen die Röhrenchen mit niederer Concentration dicht neben einander dem Blatte entnommene Präparate erhalten, und dass dasselbe für die Lösungen mittlerer und höherer Concentration gilt.

Nach zwei Stunden wurden die Präparate mikroskopisch untersucht, und ermittelt, zwischen welchen Lösungen in beiden Gestellen die Grenze der Plasmolyse lag. Die Grenzlösungen waren die folgenden:

Hauptversuch: 1 CC Saft mit 1 CC 0.06 Aeq.  $\text{KNO}_3$  keine Plasmolyse.

- 1 CC - - 1 CC 0.08 - - in allen Zellen Plasm.

Controle: 0.11 Aeq.  $\text{KNO}_3$  keine Plasmolyse.

- 0.12 -  $\text{KNO}_3$  in allen Zellen Plasmolyse.

Als isotonisch sind also anzunehmen der Saft mit 0.07 Aeq.  $\text{KNO}_3$  einerseits und andererseits eine 0.115 Aeq.  $\text{KNO}_3$ -Lösung.

Der auf die Hälfte verdünnte Saft wirkt also ebenso stark wie  $0.115 - \frac{1}{2} \times 0.07 = 0.08$  Aeq.  $\text{KNO}_3$ .

Daraus ergibt sich für den unverdünnten Saft der Salpeterwerth zu 0.16.

In dieser Weise, und mit den bereits erwähnten Abweichungen für stark saure oder hochconcentrirte Säfte, habe ich nun für eine Reihe von Pflanzen den Salpeterwerth des Saftes ermittelt. Eine Auswahl aus diesen Versuchen enthält die folgende Tabelle, deren Resultat durch die Einschiebung meiner übrigen Versuche nicht wesentlich geändert werden würde.

Die Pflanzentheile sind im jugendlichen, wachsenden Zustand untersucht, ausgewachsene Theile, sowie Anhangsgebilde sind stets vorsichtig entfernt, das Material war also jedesmal ein möglichst gleichartiges. In einigen Versuchen wurden die ganzen Organe, in anderen nur das Mark in die Presse gebracht. Die Tabelle enthält in der dritten Spalte den Gehalt des Saftes an Trockensubstanz; um diesen zu ermitteln wurden je 10 CC des Saftes während 14—16 Stunden bei  $100^\circ \text{C}$ . im Platintiegel getrocknet. In der vierten Spalte findet man den nach obiger Methode bestimmten Salpeterwerth. Aus diesem ist in der fünften Spalte die Grösse der Turgorkraft in Atmosphären berechnet, unter der Annahme, dass die Affinität einer Salpeterlösung von 0.1 Aeq. zu Wasser etwa 3 Atmosphären

beträgt. Diese Zahl ist, wie S. 533 bemerkt wurde, nur annäherungsweise bestimmt, und eher zu niedrig als zu hoch gegriffen, und dasselbe gilt also auch von den Zahlen der fünften Spalte. Bei dieser Berechnung ist ferner angenommen, dass ihre Anwendung auf alle die untersuchten Pflanzenarten berechtigt ist, worüber man das S. 483 Gesagte vergleichen wolle.

Salpeterwerthe der ausgepressten Zellsäfte einiger Pflanzentheile im jugendlichen, wachsenden Zustand.

Arten.	Organe.	Trocken- gewicht des Saftes.	Salpeter- werth des Saftes.	Turgorkraft in Atm.
<i>Gunnera scabra</i> . . . . .	Blattstiel.	1.7	0.12	3 $\frac{1}{2}$
<i>Rochea falcata</i> . . . . .	Blattmark.	2.4	0.13	4
<i>Gunnera scabra</i> . . . . .	Blattstiel.	1.6	0.16	5
<i>Rumex conglomeratus</i> . . . . .	Stengelspitze.	3.3	0.175	5 $\frac{1}{2}$
<i>Rheum hybridum</i> . . . . .	Blattstiel.	3.2	0.18	5 $\frac{1}{2}$
<i>Archangelica officinalis</i> . . . . .	„	3.6	0.18	5 $\frac{1}{2}$
<i>Solanum tuberosum</i> . . . . .	Blattspreite.	4.1	0.18	5 $\frac{1}{2}$
<i>Delphinium azureum</i> . . . . .	Sprossgipfel.	3.8	0.185	5 $\frac{1}{2}$
<i>Lappa tomentosa</i> . . . . .	Blattstiel.	2.9	0.185	5 $\frac{1}{2}$
<i>Heracleum Sphondylium</i> . . . . .	„	3.5	0.19	5 $\frac{1}{2}$
<i>Helianthus tuberosus</i> . . . . .	Blattspreite.	5.9	0.19	5 $\frac{1}{2}$
<i>Rheum officinale</i> . . . . .	Blattstiel.	2.8	0.195	6
<i>Dipsacus fullonum</i> . . . . .	Stengel.	2.6	0.20	6
<i>Carum Carvi</i> . . . . .	Schirmstiele.	4.1	0.22	6 $\frac{1}{2}$
<i>Helianthus tuberosus</i> . . . . .	Sprossgipfel.	3.8	0.23	7
<i>Rosa hybrida</i> . . . . .	Blumenblätter.	8.0	0.27	8
<i>Hordeum vulgare</i> . . . . .	Stengelknoten.	—	0.30	9
<i>Sorbus Aucuparia</i> . . . . .	Junge Beeren.	9.0	0.30	9

Aus dieser Tabelle geht hervor:

1. Der Gehalt der Zellsäfte wachsender Pflanzentheile an fester Substanz ist im Allgemeinen ein sehr geringer, wie dieses bereits Sachs vor langen Jahren aus der geringen Trockensubstanz des ganzen Markes wachsender Sprosse ableitete.<sup>1)</sup>

1) Vergl. Sachs: Lehrbuch der Botanik, 4. Aufl.,<sup>5</sup> S. 775, und Sachs: Vorträge über Pflanzenphysiologie, II, S. 699.

2. Der Salpeterwerth dieser Säfte schwankt bei den meisten Arten zwischen 0.16 und 0.23, nur in wenigen, besonderen Fällen überschreitet er diese Grenze, und dann meist sehr erheblich.

Im Mittel berechnet er sich aus der Tabelle zu 0.20.

3. Die Turgorkraft der Zellsäfte wachsender Internodien und Blätter schwankt, nach obigen vorläufigen Berechnungen, meist zwischen 5 und 7 Atmosphären, kann aber bis auf  $3\frac{1}{2}$  Atmosphären sinken und bis auf 9 steigen. Weitere Untersuchungen werden diese Grenzen ohne Zweifel erweitern.
4. Zwischen Gehalt an fester Substanz und Salpeterwerth besteht kein einfacher Parallelismus, wenn auch im Allgemeinen beide Werthe zusammen steigen und fallen. Wo Chlorkalium, Kalisalpeter oder Oxalsäure im Saft vorwiegen, also Substanzen mit geringem Moleculargewicht, ist der Salpeterwerth in Beziehung zum Trockengewicht oft ein relativ hoher (z. B. Gunnera, Lappa, Rheum); wo dagegen die Glucose vorherrscht (Moleculargewicht 180, isot. Coëff. 2), häufig ein relativ niedriger (z. B. Carum).
5. Endlich muss hervorgehoben werden, dass unsere Zahlen keineswegs specifische Constanten sind, sondern nur Beispiele der häufiger vorkommenden Fälle. Die zwischen ihnen obwaltenden Unterschiede rühren mehr von äusseren Verhältnissen (sonnigem oder feuchtem Standort, Trockenheit oder Regenwetter u. s. w.) ab, als von erblichen Differenzen in den Organen und Arten. Vergl. hierüber S. 560.

Einfluss innerer und äusserer Factoren auf die Turgorkraft. Meine Methode empfiehlt sich zum Studium der Abhängigkeit der Turgorkraft von äusseren und inneren Einflüssen, und es möge deshalb hier einiges über die dabei zu erwartenden Resultate, wenigstens soweit es zur Beseitigung von Fehlerquellen dienen kann, mitgetheilt werden.

Zunächst über die Beziehung der Turgorkraft zu dem Alter der wachsenden Zellen, mit anderen Worten zu dem Wachstumsstadium, in welchem sie der Analyse unterworfen werden. In den jüngsten Meristemzellen beobachtet man noch keine Va-

cuolen, sie besitzen also keinen eigentlichen Zellsaft, und somit nach unserer Definition keine Turgorkraft. Die Imbibition des Protoplasten mit Wasser liefert hier die ausdehnende Kraft. Bald aber tauchen die Vacuolen, zahlreich aber klein, hervor, und die Zelle fängt an, Turgorkraft im eigentlichen Sinne des Wortes zu schaffen. Während nun die Zellen sich erst nur langsam vergrössern, wird die Concentration des Zellsaftes voraussichtlich rasch zunehmen, und wenn das Maximum der grossen Periode des Wachsthumms erreicht ist, ohne Zweifel eine ganz bedeutende Kraft zu liefern im Stande sein.

Während meiner Untersuchungen über die Ursachen der Zellstreckung wurde ich auf die Vermuthung geführt, dass die Grösse der Turgorkraft in der zweiten Periode des Wachsthumms, d. h. hinter dem Maximum der grossen Periode, keine wesentlichen oder constanten Aenderungen mehr erleiden würde. Der gleichsinnige Verlauf der Curven für die Turgorausdehnung und für die Dehnbarkeit junger Sprosse bei schwacher Dehnung gab mir dazu die Veranlassung (l. c. S. 120).

Für unsere Methode wäre die Richtigkeit dieser Vermuthung offenbar vom höchsten Interesse. Denn wenn in wachsenden Sprossgipfeln und Blattstielen, mit alleiniger Ausnahme der Endknospe und der jüngsten angrenzenden Partien, die Turgorkraft über die ganze Länge dieselbe ist, so darf man ohne Weiteres Stücke von 8—10 cm zu den Versuchen nehmen, und das Resultat als völlig zuverlässig betrachten. Würde aber die Turgorkraft in solchen Stücken bedeutende Verschiedenheiten zeigen, so würde man offenbar nur Mittelzahlen bestimmen, und es wäre eine äusserst genaue Musterung des Materiales erforderlich, um eine gleiche Betheiligung der Zonen verschiedenen Alters an dem schliesslichen Resultate zu sichern. Solche Mittelzahlen würden nur bedingten Werth haben.

Eine wichtige Stütze erhält unsere Vermuthung durch die im ersten Theil, Abschn. III, § 2, S. 495—511 beschriebenen Versuche. Hier wurde die Concentration von Salpeter- und anderen Lösungen bestimmt, bei der Kreuzstreifen wachsender Sprossgipfel ihre Krümmung weder verstärken noch vermindern, welche also die gleiche Anziehung auf Wasser ausüben wie das wachsende Markgewebe. Die Kreuzstreifen waren 7 cm lang, und erstreckten sich also in den meisten Fällen über den grössten Theil des wachsenden Sprossgipfels. Wäre nun

die Turgorkraft der jüngeren Zonen eine auch nur um 0.02 Aeq.  $\text{KNO}_3$  höhere oder geringere als die der älteren Strecken, so müsste sich dieses dadurch verrathen, dass die fragliche Concentration für die älteren Theile eines Kreuzstreifens eine andere war als für die jüngeren Abschnitte desselben Gegenstandes. Dieses war nun in den etwa 80 Versuchen, welche mit zwölf verschiedenen Species ange stellt wurden, niemals der Fall, und es darf also als sicher betrachtet werden, dass die Turgorkraft während der zweiten Periode des Wachstums in solchen Sprossgipfeln wenigstens keine erheblichen Aenderungen erleidet.

Zwei Versuche, welche ich nach unserer jetzigen Methode an gestellt habe, bestätigen diese Folgerung. Ich wählte von *Rheum officinale* und *Heracleum Sphondylium* Blattstiele in vier resp. drei möglichst verschiedenen Altersstadien, und zwar von Pflanzen, welche auf demselben Beet unter möglichst gleichen äusseren Bedingungen gleich kräftig gewachsen waren. Für jede Art wurde sämmtliches Material an demselben Tage, und zwar Morgens früh, eingesammelt. Die Blattspreiten wurden entfernt und von den Versuchen ausgeschlossen; an den jüngsten Stielen waren sie noch ganz zusammen gefaltet, an den ältesten nahezu völlig entfaltet. Neben diesen giebt die Länge und das Gewicht einen Maassstab für das Alter der Stiele ab, und ich habe deshalb diese beiden Grössen in die folgende Ta belle mit aufgenommen. Diese Zahlen sind Mittelzahlen aus den zur Gewinnung jedes einzelnen Saftes genommenen, unter sich mög lichst gleichen Stielen, deren auf die jüngeren Stadien selbstver ständlich mehr kamen als auf die älteren. Die mit dem Saft zu mischenden Salpeterlösungen differirten nur um 0.01 Aeq. von ein ander.

A r t e n .		A l t e r .	Länge in cm.	Gewicht in Gramm	Trocken- gew. in %	Salpeter- werth des Saftes.
Rheum officinale	I	sehr jung	12	25.5	3.8	0.21
-	II	älter	20	66.5	3.3	0.21
-	III	noch älter	24	80.0	3.3	0.215
-	IV	nahezu ausgewachsen	32	117.5	3.2	0.215
Heracleum Sphondylium	I	jung	15	8.5	3.1	0.17
-	II	älter	32	38.0	3.0	0.165
-	III	nahezu ausgewachsen	45	52.0	3.0	0.165

Während die Stiele sich um das Dreifache strecken, und ihr Gewicht um das 4—6fache zunimmt, bleibt also die Turgorkraft des Zellsaftes so genau dieselbe, wie es unsere Bestimmungen überhaupt nachzuweisen gestatten, denn Differenzen von 0.005 Aeq. Kalisalpeter verdienen keine weitere Beachtung. Zu bemerken ist, dass für die ausgewachsenen Stiele diese Regel nicht gilt; so war die Turgorkraft des Saftes an dem Tage jenes Versuches in einem ausgewachsenen Blattstiel von *Heracleum Sphondylium* = 0.195 Aeq.  $\text{KNO}_3$ .

Somit ist es gestattet, die ganze wachsende Strecke eines Organes hinter dem Wachstumsmaximum zu einer und derselben Bestimmung der Turgorkraft zu verwenden.

An die erwähnten Thatsachen knüpft sich eine wichtige Frage. Wenn sich die besprochene Regel allgemein bestätigt, so kann diese Constanz der Turgorkraft offenbar nicht dem Zufall zugeschrieben werden, sondern muss sie durch die Eigenschaften der lebendigen, wachsenden Gewebe bedingt sein. Es fragt sich nun, wie man sich eine solche Beziehung vorzustellen hat. So lange die wachsenden Organe nicht völlig mit Wasser gesättigt sind, muss sich dieses über ihre einzelnen Theile derart verbreiten, dass es überall wenigstens mit nahezu derselben Kraft festgehalten wird. Es werden demzufolge die wasseranziehenden Kräfte der einzelnen Querzonen eines wachsenden Organes, und vielleicht selbst die verschiedenen wachsenden Theile einer ganzen Pflanze fortwährend das Bestreben haben, etwa vorhandene Differenzen auszugleichen. Und da in wachsenden dehnbaren Geweben die Turgorkraft der ausgepressten Zellsäfte nach S. 544 häufig nur unerheblich von der wasseranziehenden Kraft des ganzen Parenchyms abweicht, so darf man wohl erwarten, dass die beobachtete Gleichheit der Turgorkraft in den verschiedenen Zonen eines wachsenden Organes resp. der wachsenden Organe derselben Pflanze in den erörterten Umständen der Hauptsache nach ihre Erklärung finden wird. Weitere Untersuchungen werden hier ohne Zweifel wichtige Resultate ergeben.

Aeussere Umstände beeinflussen die Grösse der Turgorkraft in wesentlicher Weise, wie leicht aus einer einfachen Ueberlegung hervorgeht. Alles, was die Wasseraufnahme und rasche Volumzunahme der Zellen fördert, wird selbstverständlich durch Verdünnung des Zellsaftes die Turgorkraft herabzusetzen streben, und falls die

Production osmotischer Stoffe damit nicht gleichen Schritt halten kann, auch thatsächlich vermindern. Dementsprechend fand ich bei dunklem feuchtem Wetter, und nach regnerischen Tagen, die Turgorkraft merklich geringer, als sie in den gleichnamigen Organen derselben Pflanze nach warmen sonnigen Sommertagen war. Vielfache Erfahrungen hierüber machte ich während der Bestimmungen isotonischer Coëfficienten nach der Methode der Gewebespannung, indem der Einfluss des Wetters hier trotz des zweistündigen Aufenthaltes der Sprosse in Wasser stets deutlich ausgesprochen war (S. 493). Auf einem Beete von *Helianthus tuberosus* sammelte ich ferner nach trockenen Tagen junge Sprossgipfel ein, und bestimmte die Turgorkraft des ausgepressten Saftes zu 0.23. Nun liess ich das Beet während einer Woche täglich begiessen, und demzufolge war bei neu eingesammeltem, sonst möglichst gleichem Material, jener Werth auf 0.18 herabgesunken. Auch bei anderen Pflanzen wechselte jene Grösse je nach dem Wetter.

Rasche Streckung ist also in diesen Fällen mit geringer Turgorkraft, träges Wachsthum mit viel grösserer Affinität des Zellsaftes zu Wasser verbunden. Im ersteren Falle werden die Säfte offenbar durch die Zunahme des Volumens rach verdünnt und hält die Production osmotischer Stoffe mit dieser Zunahme nicht gleichen Schritt; bei trägem Wachsthum findet das Umgekehrte statt.

In Uebereinstimmung mit diesen Erfahrungen steht die Thatsache, dass etiolirte Pflanzen häufig eine viel geringere Turgorkraft aufweisen, als die gleichnamigen grünen Organe. So fand ich z. B. diese Kraft für den Saft der jungen Sprossgipfel von etiolirten Keimpflanzen von *Pisum sativum* und *Phaseolus multiflorus* zu 0.17 resp. 0.16, während sie für die entsprechenden im Licht gewachsenen Theile grösser war als 0.23.<sup>1)</sup>

Anhang. Ueber die Saugkraft transpirirender Blätter. Unter den vielen Anwendungen, deren die in diesem Paragraphen mitgetheilten Methoden und Erfahrungen fähig sind, möchte ich zum Schlusse Eine als Beispiel hervorheben. Es handelt sich um die

1) Hiermit erweist sich die früher (Bot. Ztg. 1879, S. 852) von mir vermuthete Beziehung der Pflanzensäuren zu den Erscheinungen des Etiolements als unrichtig, da die Ueerverlängerung nach Obigem nicht einer vermehrten Production von Turgorkraft zugeschrieben werden kann.

Kraft, mit der die Blätter während der Verdunstung Wasser aus den Zweigen an sich ziehen. Diese lässt sich nach der S. 543—544 beschriebenen Methode bestimmen. Man braucht dazu nur die Concentration derjenigen Salpeterlösung zu ermitteln, in welcher die betreffenden Blätter weder Zu- noch Abnahme ihrer Grösse zeigen. Während diese Kraft in völlig mit Wasser gesättigten Blättern selbstverständlich Null ist, kann sie, wenn bei der Verdunstung die Zellsäfte concentrirter und die Zellhäute weniger gespannt werden, leicht zu einer Grösse von mehreren Atmosphären heranwachsen. Es er giebt sich dieses aus einer kritischen Betrachtung der auf S. 556 mitgetheilten Tabelle. Dass sie in diesem Falle nicht mittelst eines Manometers gemessen werden kann, wie von älteren Forschern bisweilen versucht wurde, bedarf keiner weiteren Ausführung.<sup>1)</sup> Wie auffallende Resultate die Anwendung der plasmolytischen Methode auf Blätter verspricht, lehrte Wiesner in seinen ausführlichen „Studien über das Welken von Blüthen und Laubsprossen“<sup>2)</sup>, welche Schrift über die ungleiche Saugkraft verschiedener Organe eine Reihe interessanter Beobachtungen enthält.

Für die Beurtheilung der Wasserbewegung in hohen Bäumen ist es wichtig, zu wissen, dass die Saugkraft der Blätter ohne Zweifel im Stande ist, das Wasser in den Holzwänden weit über Barometerhöhe emporzuheben. Genaue Bestimmungen der Grösse dieser Saugkraft versprechen in manchen Richtungen wichtige Resultate.

## Abschnitt II.

### Beschreibung der Methode zur Analyse der Turgorkraft.

Die Analyse der Turgorkraft soll den Antheil anzeigen, den die einzelnen im Zellsaft gelösten Stoffe an dieser Kraft haben, sie soll uns mit anderen Worten lehren, wie die ganze Turgorkraft des Zell-

1) Eine kritische Behandlung der einschlägigen Litteratur findet sich in Höhnel's bahnbrechender Arbeit „Ueber den negativen Druck der Gefässluft“ 1876, S. 1—10. Vergleiche auch dessen Beiträge zur Kenntniss der Luft und Saftbewegungen in der Pflanze in Pringsh. Jahrb. Bd. XII, S. 47.

2) Sitzungsber. d. k. Akad. d. Wiss. Wien, Bd. 86, Nov. 1882, S. 220.

saftes aus ihren einzelnen Factoren zusammengesetzt ist. Um eine solche Analyse ausführen zu können, sind aber, wie bereits in der Einleitung (S. 540) hervorgehoben, die folgenden Daten unerlässlich:

1. Die gesammte Turgorkraft des Zellsaftes.
2. Die quantitative chemische Analyse des Zellsaftes.
3. Die isotonischen Coëfficienten der im Zellsaft gelösten Stoffe.

Die letztere Bedingung ist durch die Ergebnisse des ersten Theiles dieses Aufsatzes erfüllt; die Turgorkraft und die chemische Zusammensetzung des Zellsaftes müssen selbstverständlich für jeden einzelnen Fall ermittelt werden. Die Methode zur Messung der ersteren Grösse wurde im vorhergehenden Abschnitt beschrieben; die chemische Analyse wird nach bekannten Methoden ausgeführt. An dieser Stelle haben wir also nur anzugeben, in welcher Weise aus jenen als gegeben zu betrachtenden Grössen die Zusammensetzung der Turgorkraft aus ihren Factoren berechnet wird.

Diese Berechnung ist eine höchst einfache, und besteht aus folgenden beiden Theilen:

1. Die Berechnung der absoluten Grösse der von jeder einzelnen Verbindung gelieferten Turgorkraft, mit anderen Worten: die Berechnung des Salpeterwerthes.
2. Die Umrechnung dieser Zahlen in Procente der gesammten Turgorkraft.

Die absolute Grösse der von jeder Substanz gelieferten Anziehung zu Wasser wird aber offenbar bestimmt durch das Product aus dem Gehalt des Zellsaftes an jener Substanz und deren isotonischem Coëfficienten. Hat die chemische Analyse jenen Gehalt direct nach Molecülen gegeben, so sind die auf S. 512 namhaft gemachten isotonischen Coëfficienten anzuwenden; ist die chemische Zusammensetzung aber in Gewichtsprocenten des Saftes berechnet, so benutzt man die in der Tabelle S. 537 berechneten Salpeterwerthe für einprocentige Lösungen.

Aus mehrfachen Gründen empfehlen sich bei diesen Berechnungen die Salpeterwerthe sehr (vergl. Einleitung des I. Theils, S. 430). Sie sind rein empirische Zahlen, und weisen für jede Flüssigkeit, auch wenn deren Zusammensetzung eine äusserst gemischte, oder gar völlig unbekannt ist, in einfacher Weise die Affinität zu Wasser an, indem sie aussagen, dass diese der Affinität einer

Salpeterlösung von dem angegebenen Aequivalentgehalt gleich ist. Die Benutzung der Salpeterwerthe hat ferner den Vortheil, die Vorstellung bei den Berechnungen der Analysen der Turgorkraft wesentlich zu erleichtern, indem es sich ja immer nur darum handelt, jede im Zellsaft gelöste Verbindung in Gedanken durch diejenige Menge Salpeters zu ersetzen, welche dieselbe Anziehung zu Wasser ausübt. Es wird dadurch z. B. die Vorstellung, wie die Turgorkräfte verschiedenartiger Stoffe zu einander addirt werden können, eine sehr bequeme.

Vorzüge der titrimetrischen Analyse. Bei der chemischen Analyse der Zellsäfte zum Zwecke der Analyse der Turgorkraft verdient die Anwendung der volumetrischen Analyse, also speciell der Titrimethode in mehreren Beziehungen den Vorzug vor der Gewichtsanalyse.

Ueber ihre chemischen Vorzüge, ihre bequemere und raschere Ausführung werde ich mich nicht verbreiten, sondern nur zwei Punkte hervorheben, welche sich speciell auf die Analyse der Turgorkraft beziehen.

Nach der Titrimethode misst man die Körper nach Aequivalenten, welche entweder je einem Molecüle gleich sind, oder deren je zwei oder drei auf ein Molecül kommen.

Man braucht diese Resultate also nur mit dem isotonischen Coëfficienten der betreffenden Substanz (2, 3, 4 oder 5) zu multipliciren und durch den entsprechenden Werth des Salpeters (3) zu dividiren, um die absolute Grösse der Turgorkraft der betreffenden Verbindungen zu kennen. Die Rechnung ist eine äusserst einfache und genaue, während die Anwendung der Salpeterwerthe nach Gewichtsprocenten (vergl. die Tabelle auf S. 537) eine viel complicirtere Rechnung bedingt.

Dazu kommt, dass die Umrechnung der an der Bürette abgelesenen Zahlen in Gewichtsprocente für die Analyse der Turgorkraft gar nicht nöthig ist, da man diese Zahlen ohne Weiteres mit einem bestimmten Factor multiplicirt, um sie in Salpeterwerthe umzuwandeln. Diese Factoren sind so einfache Zahlen, dass man fast sagen kann, dass man den Salpeterwerth eines Zellsaftbestandtheiles direct an der Bürette abliest.

Obleich Jeder diese Factoren leicht aus den isotonischen Coëffi-

cienten ableiten kann, kommt es mir doch zweckmässig vor, die wichtigsten und namentlich die zur Berechnung meiner Beispiele benutzten, hier in eine kleine Tabelle zusammen zu stellen. Ich nehme dabei an, dass jede Bestimmung in 10 CC des Saftes vorgenommen, oder doch auf diese Quantität umgerechnet sei, und es fragt sich nun, mit welchem Factor man die an der Bürette abgelesene Anzahl Cubikcentimeter der zehntelnormalen Titrirflüssigkeit multipliciren muss, um ohne Weiteres den Salpeterwerth des ausgemessenen Körpers zu finden.

Ein Beispiel gehe der Tabelle voraus. Es enthalte ein Saft freie Oxalsäure, und zwar so viel, dass 10 CC des Saftes durch a CC einer zehntelnormalen Kalilösung neutralisirt werden. 10 CC dieser Kalilösung würden einen Gehalt von genau 0.1 Aeq. Oxalsäure anzeigen, a CC also  $\frac{a}{10} \times 0.1$  Aeq. Nun ist 1 Molec.  $\bar{O}^1) = 2$  Aeq.  $\bar{O}$ , und isotonisch mit  $\frac{2}{3}$  Molecül (=Aequivalent) Kalisalpeter. 0.1 Aeq.  $\bar{O}$  ist also isotonisch mit  $0.1 \times \frac{1}{3}$  Aeq.  $KNO_3$ . a CC weisen also einen Salpeterwerth der vorhandenen Oxalsäure von  $\frac{a}{10} \times 0.1 \times \frac{1}{3} = \frac{a}{300}$  Aeq.  $KNO_3$  an.

Die zur Neutralisation der Oxalsäure in 10 CC Saft erforderliche Anzahl CC der zehntelnormalen Titrirflüssigkeit, hat man also mit  $\frac{1}{300}$  zu multipliciren, um den Salpeterwerth der vorhandenen Säure zu erfahren.

Für die wichtigsten Bestandtheile der meisten Zellsäfte sind nun diese Factoren die folgenden:

Stoffe.	Factoren z. Berechn. d. Salpeterwerthe.
Oxalsäure, Aepfelsäure, Weinsäure . . . . .	1 300
Neutrale Calcium- und Magnesiumsalze dieser Säuren .	1 300
Neutrale Kalisalze dieser Säuren . . . . .	1 150

1)  $\bar{O}$  = Oxalsäure.

Stoffe.	Factoren z. Berechn. d. Salpeterwerthe.
Citronensäure . . . . .	$\frac{1}{450}$
Neutrales citronensaures Calcium oder Magnesium . .	$\frac{1}{450}$
Neutrales citronensaures Kalium . . . . .	$\frac{1}{180}$
Kalium, unabhängig von der Art der Bindung . . .	$\frac{1}{300}$
Calcium und Magnesium unabh. v. d. Art d. Bindung .	0
Chlornatrium, Chlorkalium, Kalisalpeter . . . . .	$\frac{1}{100}$
Phosphorsaures Kalium ( $K_2 HPO_4$ ) . . . . .	$\frac{1}{75}$
Glucose pro 1 CC Fehling'scher Lösung . . . . .	1.85 <sup>1)</sup>

Mittelst dieser Factoren habe ich stets meine Analysen berechnet; will man nicht nach Salpeterwerthen, sondern direct nach isotonischen Coëfficienten arbeiten, so erhalten die Factoren selbstverständlich die dreifachen Werthe, und werden dadurch noch viel einfacher. Für die zweibasischen Säuren, deren Erdalkalisalze und für das an Säuren gebundene Kalium liest man dann factisch an der Bürette die Affinität zu Wasser ab; man braucht ja nur das Komma zwei Stellen zu verschieben. Doch ist diese Methode der Berechnung, wie bereits hervorgehoben, nicht zu empfehlen.

Für das an Säuren gebundene Kalium habe ich einen besonderen Factor angeführt. Thatsächlich berechne ich in meinen Analysen nicht den Salpeterwerth der pflanzensauren Kalisalze, sondern getrennt den der Säure und den des Metalls. Es ist dieses nach dem dritten Gesetze der isotonischen Coëfficienten gestattet, da der partielle isotonische Coëfficient der Säuren und der Metalle in den Salzen von der Art der Bindung, d. h. von der Natur des Salzes unabhängig ist. Für die organischen Säuren ist er im freien Zustande derselbe wie im gebundenen. Man kann also die gesammte, theils

---

1) Die abweichende Form dieser Zahl rührt davon her, dass die Fehling'sche Lösung, wie bekannt, den Gehalt an Glucose in Grammen und nicht nach Moleculen anweist.

gebundene, theils freie Säure in den Analysen als Eine Grösse mit dem Salpeterwerth der freien Säure aufzuführen. Und da die Analysen nicht auszuweisen im Stande sind, in welchem Verhältnisse die verschiedenen Basen mit den vorhandenen Säuren zu sauren und zu neutralen Salzen verbunden sind, so ist es weit einfacher und dem chemischen Befunde entsprechender, einerseits die gesammte Säure, und andererseits die Basen für sich zu berechnen.

Abkürzung der chemischen Analyse. Den wichtigsten Vorzug der Titrimethode bei der Analyse der Turgorkraft bildet aber die dadurch erlaubte Abkürzung der chemischen Analyse. Darunter verstehe ich das Verfahren, verwandte Körper nicht von einander zu trennen, sondern nur als Gruppe zu bestimmen. Es ist dieses überall da erlaubt, wo die Verbindungen die gleiche Anzahl Aequivalente pro Molecül und ferner denselben isotonischen Coëfficienten besitzen, und wo nicht die speciellen Zwecke der Analyse eine Trennung fordern.

Solche Gruppen auszumessen, ist nun gerade bei der Titrimethode äusserst leicht, während die Trennung ihrer einzelnen Glieder fast stets eines viel umständlicheren Verfahrens bedarf. So lässt sich z. B. die freie Säure sehr bequem ausmessen, während die getrennte Bestimmung der Aepfelsäure und der Weinsäure eine viel beschwerlichere Operation ist.

Für die Berechnung der Turgorkraft-Analyse ist es nun aber durchaus gleichgültig, ob die in einem Pflanzensaft vorhandene Säure Aepfelsäure oder Weinsäure oder gar ein Gemenge beider nach unbekanntem Verhältnisse ist. Denn der isotonische Coëfficient beider Säuren ist derselbe (2) und beide enthalten im Molecül zwei Aequivalente. Dementsprechend weisen beide in obiger Tabelle auch denselben Factor zur Berechnung auf. Dasselbe gilt für die Oxalsäure.

Ebenso gleichgültig ist es für die Berechnung, ob Kalium allein vorhanden oder zu einem unbekanntem Theile von Natrium ersetzt ist. Gleichgültig ist ferner das Verhältniss zwischen Calcium und Magnesium, denn beide nehmen gar keinen Antheil an der Turgorkraft. Gleichgültig ist auch die Natur des reducirenden Zuckers, wenn er nur der Formel  $C_6H_{12}O_6$  entspricht, oder mit der Glucose ein gleiches Reductionsvermögen besitzt.

Die Messung der Gruppen nach Molecülen resp. Aequivalenten reicht also für die Analyse der Turgorkraft im Allgemeinen aus; die Trennung der Glieder innerhalb der einzelnen Gruppen wird nur bei der Behandlung specieller Fragen geboten sein. Es ist nun der Titrimethode eigen, die gesammte Aequivalentzahl jeder einzelnen Gruppe leicht und bequem zu messen, während man aus dem nach der Gewichtsmethode bestimmten Werthe für eine solche Gruppe wegen des ungleichen Molecular-Gewichts der einzelnen Bestandtheile noch gar nicht auf die Anzahl der darin vorhandenen Grammmolecüle schliessen darf.

Einige Beispiele von Analysen der Turgorkraft. Um die Einsicht in die obigen methodologischen Erörterungen zu erleichtern und zu vervollständigen, werde ich jetzt an einigen willkürlichen Beispielen zeigen, wie solche Analysen auszuführen und zu berechnen sind, und welche Resultate man im Allgemeinen von ihnen erwarten darf. Einige Bemerkungen über die Bereitung des Saftes und die von mir gewählten chemischen Verfahrungsweisen schicke ich der besonderen Besprechung der einzelnen Versuche voraus.

Die Gewinnung des Saftes geschah in der im vorigen Abschnitt S. 545 ff. beschriebenen Weise; in den meisten Versuchen wurden die Pflanzentheile im frischen Zustand unter die Presse gebracht, in Versuch III und VI vorher im Wasserbade nach S. 545 getödtet. Besondere Versuche lehrten mich, wie bereits hervorgehoben, dass es auf die Zusammensetzung des erhaltenenen Saftes keinen merklichen Einfluss hat, ob man den einen oder den anderen Weg einschlägt. Auch lehrten Vorversuche, dass es gestattet ist, die ganze zweite Periode des Wachstums in Einer Analyse zu behandeln, da während dieser Periode der procentische Gehalt des Saftes an den meisten Inhaltstoffen sich nicht wesentlich änderte. Wo möglich habe ich das Mark von der Rinde getrennt und allein untersucht; in den Fällen, wo ich aber beide getrennt analysirte, zeigte sich in allen wesentlichen Punkten Uebereinstimmung zwischen der Zusammensetzung der beiden so erhaltenen Säfte.

Für die befolgten titrimetrischen Methoden verweise ich auf

Mohr's Titirbuch<sup>1)</sup>, dessen Vorschriften ich fast immer genau gefolgt bin. Als Grundlage meiner Titirflüssigkeiten diente mir Oxalsäure, welche ich durch Umkrystallisiren von Kalium völlig befreit hatte und zu einer zehntelnormalen Lösung auflöste. Hierauf wurden die übrigen Titirflüssigkeiten gestellt. Im Einzelnen wählte ich folgende Wege.

Als Acidität bezeichne ich die Anzahl CC einer zehntelnormalen Kalilösung, welche zur Neutralisation von 10 CC eines Pflanzensaftes erforderlich sind. Als Indicator wandte ich stets Curcumapapier an; die gepulverte Curcumawurzel extrahirte ich mit Aether, um die wasserlöslichen Bestandtheile auszuschliessen, und mit der ätherischen Lösung färbte ich das Filtrirpapier. Obgleich das Curcumapapier eine Tüpfelanalyse erfordert, giebt es doch die schärfsten Resultate; Lackmuss und Phenolphtaleïn geben in den meisten Säften wachsender Pflanzentheile beim Eintröpfeln der Kalilösung einen äusserst langsamen Farbenübergang, sind also zur Ermittlung geringer Mengen von freien Säuren in diesen Säften unbrauchbar.

Die Bestimmung der pflanzensauren Salze geschah nach der Vorschrift Famintzin's, in dessen ausgezeichnete kleiner Abhandlung über das Reifen der Trauben, durch Titiren der kohlsauren Alkalien und der kohlsauren Salze der alkalischen Erden in der Asche. Ich verfuhr dabei folgendermaassen: 10 CC des Saftes wurden im Platintiegel getrocknet, gewogen, vorsichtig eingäschert und wieder gewogen. Die Asche wurde mit heissem destillirtem Wasser ausgelaugt, und durch ein kleines Filter wurde der Auszug vom ungelösten Theile getrennt. Dem mit den Waschwässern vereinigten Auszuge fügte ich eine bestimmte Anzahl CC einer zehntelnormalen Säure zu, entfernte die Kohlensäure durch Erwärmen und titirte mit Kalilösung und Phenolphtaleïn zurück. Ist der Neutralisationspunkt erreicht, und nimmt die jetzt durch einen Tropfen Säure entfärbte Flüssigkeit bei anhaltendem Kochen nicht wieder eine violette Färbung an, so war die Kohlensäure völlig vertrieben, sonst sind noch einige weitere Tropfen Säure als Correction zuzusetzen, bis dieser

1) Fr. Mohr: Lehrbuch der chemisch-analytischen Titirmethode, 5. Aufl., 1878.

2) A. Famintzin: Untersuchungen über das Reifen der Trauben. Vergleiche auch das Referat in der Bot. Ztg. 1860, S. 234.

Zustand eintritt. Den in Wasser unlöslichen Theil der Asche habe ich vom durchstochenen Filter in eine Porcellanschale abgespritzt, Tiegel und Filter mit Salzsäure von 1 Aeq. ausgewaschen und diese Flüssigkeit in die erwähnte Schale gebracht. Als die kohlen-sauren Salze gelöst waren, wurde die überschüssige Salzsäure im Wasserbad entfernt, und die Chloride mit zehntelnormaler Silberlösung und Kaliumchromat ausgemessen. Stets wurde vorher constatirt, dass alle freie Säure vertrieben war, widrigenfalls eine entsprechende Correction angebracht wurde. Da die Chloride und löslichen Phosphate der Asche in den wässerigen Auszug übergegangen, und die kohlen-sauren Salze des Calciums und des Magnesiums durch die Salzsäure in die entsprechenden Chlormetalle verwandelt sind, weist die Titirflüssigkeit ohne Weiteres den Gehalt an Calcium und Magnesium an, der im Saft an Pflanzensäuren gebunden war.

Die Methode Famintzin's lässt nur dann mit Sicherheit auf den Gehalt an pflanzensauren Salzen schliessen, wenn Nitrate (und Nitrite) in merklicher Menge nicht vorhanden sind. Ich habe mich also stets überzeugt, dass solches der Fall war; Säfte, welche Nitrate enthielten, wurden entweder von den Analysen ausgeschlossen, oder gerade zur Bestimmung der Turgorkraft der Nitrate gebraucht, und dann in anderer Weise behandelt. Eine bequeme und sichere Methode, sich über den etwaigen Gehalt eines Pflanzentheils an Nitraten ein Urtheil zu bilden, verdanken wir Molisch,<sup>1)</sup> der die von Wagner<sup>2)</sup> und Anderen ausgebildete Ermittlung mittelst Diphenylamin in die botanische mikrochemische Analyse einführte. Ich habe nun stets nach Molisch Querschnitte und eingetrocknete Tropfen des Saftes mit diesem Reagenz geprüft, und falls ich eine Blaufärbung erhielt, den Saft nach Wagner's Vorschrift stufenweise verdünnt und untersucht, bei welcher Verdünnung noch die letzte Spur einer Reaction eintritt. Daraus liess sich dann der Gehalt an Nitraten wenigstens so genau berechnen, als nöthig war um zu entscheiden, ob er vernachlässigt werden durfte oder nicht.

---

1) H. Molisch: Ueber den mikrochemischen Nachweis von Nitraten und Nitriten in der Pflanze. Berichte der deutsch. Botan. Gesellschaft 1883, S. 150.

2) A. Wagner; Erkennung und Bestimmung der Nitrate im Brunnenwasser. Fresenius' Zeitschrift für Chemie, Jahrg. 20, S. 329.

Kaliphosphat bestimmte ich im wässerigen Auszug der Asche, nachdem die kohlen-sauren Salze entfernt und gemessen waren, wie folgt. In der auf Phenolphthalein neutral reagirenden Flüssigkeit ist das Phosphat als zweibasisches Salz vorhanden ( $K_2 HPO_4$ ). Fügt man einige CC Kalilösung und etwas Chlorbarym zu und kocht, so fällt die gesammte Phosphorsäure, in der alkalischen Flüssigkeit, als dreibasisches Salz ( $Ba_3 P_2 O_8$ ) aus. Titirt man jetzt mit Säure zurück, so bedarf es zur Erreichung des Neutralisationspunktes offenbar genau um so viel CC weniger Säure, wie CC Kalilösung zugesetzt waren, als dem freien Aequivalente des gefällten  $K_2 HPO_4$  entspricht. Man hat also diese Differenz mit drei zu multipliciren, um die Phosphorsäure in Aequivalenten anzuweisen; ohne diese letztere Operation giebt die gefundene Zahl das  $K_2 HPO_4$  direct nach Grammmolecülen.

Chlornatrium und Chlorkalium bestimmte ich mittelst Silberlösung in dem wässerigen Auszug einer speciell für diese Bestimmung sehr schwach geglühten Asche von 10 CC des Saftes. Nur bei Abwesenheit löslicher Phosphate giebt diese Messung scharfe und richtige Resultate.

Glucose wurde mit Fehling'scher Lösung gemessen. Ich nahm in der Regel 10 CC dieser Lösung, verdünnte sie mit Wasser und erhitzte bis zum Kochen. Nun tröpfelte ich 2 CC des Saftes unter Umrühren ein, und titirte ferner mit einer Invertzuckerlösung von bekanntem Gehalt zurück. Dieses Verfahren hat den Vortheil, dass die Endreaction bei sämmtlichen Bestimmungen dieselbe ist und stets hinreichende Schärfe besitzt.

Ueber die Natur der Pflanzensäuren sei ferner folgendes bemerkt. Citronensäure konnte ich in den analysirten Säften, auch wenn solche vorher nicht erwärmt waren, nicht nachweisen. Oxalsäure suchte ich in bekannter Weise mittelst Chlorcalcium, Aepfelsäure durch Vermischen der Chlorcalciumhaltigen, von etwaigem Niederschlage abfiltrirten Flüssigkeit mit dem doppelten Volum Alkohol. Entstand dabei ein Niederschlag, so nahm ich die Anwesenheit von Aepfelsäure an. Bisweilen war auch Weinsäure anwesend, doch braucht man darauf, wie erwähnt, keine Rücksicht zu nehmen, ebenso wenig wie auf das mögliche Vorkommen anderer zweibasischer

Säuren. Nur wenn einbasische organische Säuren in erheblichen Mengen vorkämen, wäre ein Fehler in der Berechnung zu befürchten.

Zur Erklärung der Tabellen sei Folgendes bemerkt. In der ersten Spalte sind die Namen der gemessenen Bestandtheile aufgeführt. Es weist hier Acidität den ungesättigten Theil der Säure an; „Organische Kalksalze“ den Gehalt der Asche an kohlen-sauren Kalk- und Magnesiumsalzen; „Kalium der organischen Salze“ den Gehalt der Asche an kohlen-saurem Kalium; die beiden letzteren Grössen sind dem Gehalt des Saftes an den entsprechenden pflanzensauren Salzen gleich zu stellen. Kalk und Magnesium wurden nicht getrennt ermittelt; ihr Antheil an der Turgorkraft ist ohnehin Null. Die Summe dieser drei Zahlen ist dann als „Summe der organischen Säure“ aufgeführt. Wie bereits früher erwähnt, gebe ich den Salpeterwerth und den Antheil an der Turgorkraft getrennt für das Kalium und für die gesammte Säure. Die zweite Spalte enthält die an der Bürette abgelesenen Anzahlen CC für je 10 CC Saft; die dritte den daraus berechneten Gehalt des Saftes an den betreffenden Stoffen in Gewichtsprocenten. In der vierten ist aus den Zahlen der zweiten, mittelst der S. 565 gegebenen Factoren, der absolute Salpeterwerth, und daraus endlich in der letzten Spalte der procentische Antheil an der Turgorkraft berechnet. Die Summe dieser Antheile ist in keinem Versuche = 100, da selbstverständlich die chemische Analyse eines Saftes nie alle Bestandtheile aufweist.

### I. *Heracleum Sphondylium*.

Isolirtes Mark eines nahezu ausgewachsenen Blattstieles; das Mark enthielt einzelne zerstreute Gefässbündel und wurde im lebensfrischen Zustande unter die Presse gebracht. Der Saft wurde in einer geschlossenen Flasche durch Erwärmen coagulirt und nach dem Erkalten filtrirt.

Die organische Säure ist vorwiegend Aepfelsäure.

Der Salpeterwerth des Saftes ist 0.22.

Der Antheil der wichtigsten Bestandtheile des Saftes an dieser Kraft war der folgende:

Bestandtheile des Saftes.	CC Titrir- flüssigk. pro 10 CC Saft.	Gehalt in Gewichts- procenten.	Salpeter- werthe.	Procent- Antheil an d. Turgorkraft.
Acidität . . . . .	0.2			
Organische Kalksalze . . . . .	2.0			
Kalium der organischen Salze . . . . .	3.9	0.15	0.013	5.9
Summe der Aepfelsäure . . . . .	6.1	0.41	0.020	9.1
Glucose . . . . .	82.0	4.1	0.152	69.1
Chlornatrium . . . . .	1.4	0.08	0.014	6.4
Summe . . . . .		4.74	0.199	90.5

II. *Gunnera scabra*.

Isolirtes Mark zweier nahezu ausgewachsener Blattstiele. Mark von einzelnen Gefäßbündeln durchzogen, im lebensfrischen Zustande gepresst; der Saft ohne vorheriges Erwärmen filtrirt.

Die organische Säure ist vorwiegend Aepfelsäure. Aus dem eintrocknenden Saft krystallisirte das Chlorkalium in schönen Krystallen heraus.

Der Salpeterwerth des Saftes war für den jüngsten der beiden Stiele (A) 0.12, für den älteren (B) 0.16.

Die Analyse ergab folgende Resultate:

## A. Jüngerer Blattstiel.

Bestandtheile.	CC Titrir- flüssigk. pro 10 CC Saft.	Gehalt in Gewichts- procenten.	Salpeter- werth.	Procent- Antheil an d. Turgorkraft.
Acidität . . . . .	4.2			
Organische Kalksalze . . . . .	1.4			
Kalium der organischen Salze . . . . .	1.3	0.05	0.004	3.3
Summe der Aepfelsäure . . . . .	6.9	0.46	0.023	19.2
Glucose . . . . .	14.0	0.7	0.026	21.7
Chlorkalium . . . . .	6.2	0.46	0.062	51.7
Summe . . . . .		1.67	0.115	95.9

## B. Aelterer Blattstiel.

Bestandtheile.	CC Titrir- flüssigk. pro 10 CC Saft.	Gehalt in Gewichts- procenten.	Salpeter- werthe.	Procent- Antheil an d. Turgorkraft.
Acidität . . . . .	4.2			
Organische Kalksalze . . . . .	3.0			
Kalium der organischen Salze . . . . .	1.1	0.04	0.004	2.5
Summe der Aepfelsäure . . . . .	8.3	0.56	0.028	17.5
Glucose . . . . .	11.2	0.56	0.021	13.1
Chlorkalium . . . . .	9.0	0.67	0.090	56.2
Kaliphosphat . . . . .	0.2	0.01	0.003	1.9
Summe . . . . .		1.84	0.146	91.2

## III. Rheum officinale.

Junge, noch weiche, wachsende Internodien von Stengeln, welche bereits 1 m hoch gewachsen waren, deren Inflorescenzen aber noch durch die Scheidenblätter umschlossen waren, wurden nach vorheriger Tödtung gepresst und der Saft filtrirt.

Die organische Säure war vorwiegend Oxalsäure.

Der Salpeterwerth des Saftes war 0.20.

Die Analyse der Turgorkraft ergab:

Bestandtheile.	CC Titrir- flüssigk. pro 10 CC Saft.	Gehalt in Gewichts- procenten.	Salpeter- werth.	Procent- Antheil an d. Turgorkraft.
Acidität . . . . .	13.2			
Organische Kalksalze . . . . .	2.2			
Kalium der organischen Salze . . . . .	3.6	0.14	0.012	6.0
Summe der Oxalsäure . . . . .	19.0	0.85	0.063	31.5
Glucose . . . . .	46.0	2.3	0.085	42.5
Kaliphosphat . . . . .	0.9	0.05	0.012	6.0
Summe . . . . .		3.34	0.172	86.0

IV. *Rheum hybridum*.

Mark von zwei nahezu ausgewachsenen Blattstielen, nach Entfernung der äusseren gefässbündelreichen Rinde. Im Mark verliefen noch einzelne zerstreute Bündel. Das Mark kam lebendig in die Presse, der Saft wurde vor der Analyse nicht erwärmt, sondern sogleich filtrirt. Er war farblos und klar.

Die organische Säure war wohl fast ausschliesslich Oxalsäure. Der Salpeterwerth des Saftes war 0.22.

Die Analyse der Turgorkraft ergab:

Bestandtheile des Saftes.	CC Titir- flüssigk. pro 10 CC Saft.	Gehalt in Gewichts- procenten.	Salpeter- werth.	Procent- Antheil an d. Turgorkraft.
Acidität . . . . .	31.6			
Organische Kalksalze . . . . .	1.7			
Kalium der organischen Salze . . . . .	3.9	0.15	0.013	5.9
Summe der Oxalsäure . . . . .	37.2	1.67	0.124	56.4
Glucose . . . . .	28.0	1.4	0.052	23.6
Kaliphosphat . . . . .	0.5	0.03	0.007	3.2
Summe . . . . .		2.25	0.196	89.1

V. *Rochea falcata*.

Das Mark nahezu ausgewachsener Blätter dieser zu den Crassulaceen gehörenden Fettpflanze wurde vom umhüllenden Chlorophyllgewebe getrennt und lebendig gepresst; der Saft konnte ohne vorheriges Erwärmen filtrirt werden. Die Pflanzen waren im Gewächshaus in Töpfen erzogen, die Blätter Nachmittags um zwei Uhr eingesammelt.

Die organische Säure war Aepfelsäure.

Der Salpeterwerth des Saftes war 0.13.

Die Analyse ergab:

Bestandtheile.	CC Titrir- flüssigk. pro 10 CC Saft.	Gehalt in Gewichts- procenten.	Salpeter- werth.	Procent- Antheil an d. Turgorkraft.
Acidität . . . . .	4.6			
Organische Kalksalze . . . . .	10.7			
Kalium der organischen Salze . . . . .	1.2	0.05	0.004	3.1
Summe der Aepfelsäure . . . . .	16.5	1.11	0.055	42.3
Glucose . . . . .	16.0	0.8	0.030	23.1
Chlornatrium . . . . .	1.5	0.09	0.015	11.5
Summe . . . . .		1.95	0.104	82.0

### VI. Rosa f. hybrida.

Blumenblätter von Blumen der gefüllten Stammrose, welche sich soeben eröffnet hatten, wurden in geschlossener Flasche im Wasserbade getödtet und lieferten nach Erhaltung einen dunkelrothen, sehr zuckerreichen Saft. In diesem konnte die organische Säure qualitativ nicht mit Sicherheit nachgewiesen werden, war aber allem Anscheine nach Aepfelsäure, und wurde als solche in Rechnung gebracht.

Der Salpeterwerth des Saftes war 0.27.

Die Analyse ergab:

Bestandtheile des Saftes.	CC Titrir- flüssigk. pro 10 CC. Saft.	Gehalt in Gewichts- procenten.	Salpeter- werth.	Procent- Antheil an d. Turgorkraft.
Acidität . . . . .	2.4			
Organische Kalksalze . . . . .	0.8			
Kalium der organischen Salze . . . . .	3.6	0.14	0.012	4.4
Summe der organischen Säure . . . . .	6.8	0.46	0.023	8.5
Glucose . . . . .	118.0	5.9	0.218	80.7
Summe . . . . .		6.5	0.253	93.6

## Abschnitt III.

**Ueber den Antheil der wichtigsten Bestandtheile des Zellsaftes an der Turgorkraft.**

Die im vorigen Abschnitte mitgetheilten Analysen der Turgorkraft, sowie eine Reihe weiterer Analysen, welche ich zur Prüfung und Ausbildung meiner Methode angestellt habe, gestatten einige allgemeine Folgerungen über den Antheil der wichtigsten und allgemeinsten Bestandtheile des Saftes wachsender Zellen an der Turgorkraft, welche ich als eine weitere Empfehlung meiner Methode hier einschalten möchte. Die Ergebnisse sind, der Natur der Sache gemäss, rein statistische; eine Lösung bestimmter physiologischer Probleme soll hier nicht versucht werden. Aber gerade eine solche statistische Kenntniss muss der Anwendung der Methode auf specielle Fälle vorangehen, indem sie eine Einsicht in die allgemeinen Verhältnisse giebt.

In den sieben Analysen des vorigen Abschnittes fällt es sogleich auf, dass stets entweder mehr als die Hälfte oder doch annähernd die Hälfte der Turgorkraft von Einem Bestandtheile geliefert wird, während der übrige Theil über eine grössere Zahl von Factoren vertheilt ist. Aber jener vorwiegend wichtige Körper ist keineswegs bei allen Pflanzen derselbe; bei *Rosa* und *Heracleum* ist er Glucose, bei *Rheum hybridum* Oxalsäure, bei *Rhoea* Aepfelsäure, bei *Gunnera* Chlorkalium. Es beruht dieses, wie weitere Versuche mich lehrten, vorwiegend auf erblichen Eigenthümlichkeiten; in den *Rheum*-Arten hat stets die Oxalsäure, bei *Rhoea* und ihren Verwandten stets die Aepfelsäure, bei *Heracleum* fast immer der Zucker einen sehr ansehnlichen Antheil an der Turgorkraft.

Bei ferneren Versuchen darf man also eine noch grössere Verschiedenheit in den Ergebnissen unserer Analysen erwarten, und in der That zeigt die Erfahrung, dass die speciellen Anpassungen hier ganz gewöhnlich einen solchen Grad erreicht haben, dass sie die allgemeinen Gesetze gänzlich unkenntlich zu machen streben.

Durch Anwendung unserer isotonischen Coëfficienten auf die Resultate der gewöhnlichen Pflanzenanalysen kann man in vielen

Fällen bereits aussagen, welcher Bestandtheil den grössten Theil der Turgorkraft liefern wird; für eine klare Einsicht müssen aber die Säfte von den unlöslichen und organisirten Bestandtheilen getrennt analysirt worden sein.

Was ich bis jetzt mit Sicherheit ermittelt habe, soll nun im Folgenden kurz und übersichtlich dargestellt werden. Ich werde dabei die wichtigsten Gruppen der im Zellsaft gelösten Körper, den Zucker, die Pflanzensäuren und ihre Verbindungen, und die anorganischen Salze jede für sich behandeln.

Der Antheil des Zuckers an der Turgorkraft. Wir betrachten den Zucker einerseits dort, wo er als Reservestoff abgelagert ist, andererseits in wachsenden Pflanzentheilen.

In dem ersteren Falle wird er, wegen der bedeutenden Anhäufung, wohl immer einen sehr erheblichen Theil der Turgorkraft liefern. Als Beispiel wähle ich das Mark ausgewachsener Blätter von *Agave americana*, in denen bekanntlich Glucose als Nährstoff für das spätere Wachsthum des Blüthenschafes, während mehrerer Jahre, angesammelt wird. Im ausgepressten Saftes des Markes eines solchen Blattes fand ich 2.6 pCt. Glucose, was einer Turgorkraft von 0.097 Aeq.  $\text{KNO}_3$  entspricht. Der Salpeterwerth des Saftes war 0.15 Aeq.  $\text{KNO}_3$ , und also der procentische Antheil der Glucose an der Turgorkraft 64.7 pCt.

Aehnliche Zahlen wird man ohne Zweifel auch in anderen Fällen, und gleichfalls für die übrigen löslichen Kohlenhydrate, wie Rohrzucker und Inulin, finden.

Bemerkung verdient, dass bei der Umwandlung der Glucose in Rohrzucker, wo zwei Molecüle sich zu Einem zusammenlegen, die Hälfte der Turgorkraft verloren geht, während umgekehrt bei der Keimung der Rohrzuckerhaltigen Reservestoffbehälter die Umwandlung von Saccharose in Invertzucker von einer Verdoppelung der Turgorkraft begleitet ist. Es geht dieses ohne Weiteres aus der Thatsache hervor, dass beide Zuckerarten pro Molecül dieselbe Affinität zu Wasser haben. Vielleicht liegt in dieser bedeutenden Herabsetzung der Turgorkraft einer der Vortheile, der die Bildung von Rohrzucker den betreffenden Pflanzen bietet.

In wachsenden Pflanzentheilen ist das Verhalten der Glucose ein äusserst wechselndes. Gar nicht selten lässt sich gerade während

der kräftigsten Zellstreckung in ihnen weder makro- noch mikrochemisch Zucker nachweisen. So fand z. B. Detmer<sup>1)</sup>, dass während der Keimung des Hanfes keine messbaren Mengen von Zucker angehäuft werden, und Müller-Thurgau bestätigte diese Thatsache<sup>2)</sup>. In seinen bahnbrechenden mikrochemischen Studien über den Stoffwechsel in den Pflanzen beobachtete Sachs gar häufig wachsende Sprossgipfel, Blätter und Blattstiele, welche keinen Zucker enthielten. So z. B. bei *Solanum tuberosum*, *Beta vulgaris*, *Zea Mais*, *Ricinus communis*, *Phaseolus vulgaris* u. A.<sup>3)</sup>. Für Kartoffel, Klee und Zuckerrübe konnte ich diese Thatsache selbst wiederholt und unter verschiedenen Umständen constatiren<sup>4)</sup>.

Es geht hieraus hervor, dass in solchen Fällen der Zucker keinen irgendwie merklichen Antheil an der Turgorkraft hat, dass wachsende Pflanzentheile ihren gesammten Turgor gar häufig durch andere Mittel hervorbringen können, als durch Ablagerung von Glucose in ihrem Zellsaft.

Das andere Extrem bilden unsere beiden Analysen von *Heraclium* und *Rosa*, wo der Antheil der Glucose an der Turgorkraft im nahezu ausgewachsenen Blattstiele resp. in den Blumenblättern zu 69.1 resp. 80.7 pCt. gefunden wurde (S. 573 und 576).

Zwischen diesen beiden Extremen beobachtet man alle denkbaren Uebergänge, von denen ich beispielsweise eine kleine Reihe in folgender Tabelle zusammenstelle. Die Organe sind im kräftig wachsenden Zustande analysirt, es wurde der Salpeterwerth des Saftes und der Gehalt an Glucose in bekannter Weise bestimmt, und hieraus der Antheil der letzteren an der Turgorkraft berechnet.

---

1) Detmer: Vergleichende Physiologie des Keimungsprocesses, 1880, S. 337.

2) H. Müller-Thurgau: in den Landw. Jahrbüchern 1882, S. 782.

3) Vergl. zumal Sachs: Ueber die Stoffe, welche das Material zum Wachsthum der Zellhäute liefern, in Pringsheim's Jahrbüchern, Bd. III, S. 222—228 und 243.

4) Beiträge zur speciellen Physiologie landwirthschaftlicher Kulturpflanzen, in Landw. Jahrb., Bd. VI—VIII, 1877—1879.

Arten.	Organe.	Salpeter- werth des Saftes.	Procent- gehalt an Glucose.	Salpeter- werth der Glucose.	Proc. Antheil der Glucose an d. Turgor- kraft.
<i>Solanum tuberosum</i> . . .	Blätter	0.18	0.24	0.009	4.9
<i>Helianthus tuberosus</i> . . .	„	0.19	0.4	0.015	7.8
<i>Rheum hybridum</i> . . .	Blattstiel	0.18	0.4	0.015	8.2
<i>Lappa tomentosa</i> . . .	„	0.185	0.9	0.033	18.0
<i>Helianthus tuberosus</i> . . .	Sprossgipfel	0.18	1.0	0.037	20.6
<i>Rumex conglomeratus</i> . . .	„	0.175	1.0	0.037	21.1
<i>Dipsacus fullonum</i> . . .	„	0.20	1.3	0.048	24.0
<i>Carum Carvi</i> . . . . .	Schirmstiele	0.22	1.8	0.067	30.3
<i>Heracleum Sphondylium</i> .	Blattstiele	0.19	2.6	0.096	50.6

Ob in einem Pflanzentheile Zucker abgelagert wird, hängt im Allgemeinen davon ab, ob die Zufuhr ausgiebiger ist, als der Verbrauch. Beide sind aber sowohl von inneren als von äusseren Einflüssen abhängig, und es kann daher nicht Wunder nehmen, wenn gleichnamige Organe derselben Pflanze, in demselben Alter, aber an verschiedenen Tagen oder zu verschiedenen Jahreszeiten eingesammelt, einen ganz verschiedenen Gehalt an Glucose aufweisen. Die Ursachen, welche dieses beherrschen, sind in klarer Weise von Müller-Thurgau in seiner oben citirten Abhandlung erörtert.

Bisweilen, aber nicht immer, steigt der procentische Gehalt des Zellsaftes an Glucose, und damit deren Antheil an der Turgorkraft während des Wachstums regelmässig, wie das Resultat der folgenden Analyse lehrt. Das Material lieferten die (S. 559) besprochenen wachsenden, und ein an demselben Tage von derselben Pflanze entnommener ausgewachsener Blattstiel von *Heracleum Sphondylium*. Neben den dort angeführten Salpeterwerthen des Saftes bestimmte ich auch den Gehalt an Glucose mittelst Fehling'scher Lösung und fand folgendes:

	Alter.	Salpeter- werth des Saftes.	Procent- Gehalt an Glucose.	Salpeter- werth der Glucose.	Procent. Antheil d. Glucose an d. Tur- gorkraft.
I	jung	0.17	1.4	0.052	30.5
II	älter	0.165	1.8	0.067	40.4
III	nahezu ausgewachsen	0.165	2.4	0.089	53.8
IV	ausgewachsen	0.195	2.9	0.107	55.0

Der Antheil der Pflanzensäuren und ihrer Verbindungen an der Turgorkraft. Pflanzensäuren und ihre Verbindungen bilden einen der am Allgemeinsten verbreiteten Bestandtheile der Zellsäfte, ja sie scheinen überhaupt keiner Pflanze zu fehlen. In jugendlichen Pflanzentheilen finden sie sich meist in auffallender Menge in dem Zellsafte im gelösten Zustande vor, und nehmen dann beträchtlichen Antheil an der Turgorkraft. Die Fettpflanzen sind wegen ihres bedeutenden Gehaltes an pflanzensauren, zumal äpfelsauren Salzen in den ausgewachsenen Blättern bekannt, und die Analyse der *Rochea falcata* lehrte uns, dass diese auch hier einen sehr erheblichen Beitrag zur Turgorkraft liefern können.

Besonderes Interesse beanspruchen einerseits jene Pflanzen, deren auffallend stark saure Säfte einen reichlichen Gehalt an Oxalsäure aufweisen, andererseits die in gewöhnlichen wachsenden Sprossgipfeln und Blättern verbreiteten pflanzensauren Salze.

Weitaus die meisten Pflanzen enthalten höchstens Spuren gelöster Oxalsäure oder gelöster oxalsaurer Salze in ihren Säften, doch giebt es einige wenige Gattungen, deren organische Säure fast nur Oxalsäure ist. Als Beispiele hebe ich die verschiedenen Arten der Gattungen *Begonia* und *Rheum* hervor, von welch' letzterer im vorigen Abschnitt zwei Analysen der Turgorkraft mitgetheilt wurden. Bei diesen Pflanzen pflegt die Oxalsäure nur zu einem kleinen Theil an feste Basen gebunden zu sein; ihre Säfte sind also sehr stark sauer. Der procentische Antheil der Oxalsäure und ihrer Salze an der Turgorkraft war im Sprossgipfel von *Rheum officinale* 37.5 pCt., im wachsenden Blattstiel von *Rheum hybridum* 62.3 pCt. und in mehreren anderen Analysen habe ich für die Gattung *Rheum* ähnliche hohe Zahlen erhalten. In einem Blattstiele von *Begonia Rex*, dessen Saft einen Salpeterwerth von 0.12 hatte, war der Salpeterwerth der Oxalsäure 0.051, der des an diese Säure gebundenen Kaliums 0.006. Beide zusammen lieferten also nahezu die Hälfte (47.5 pCt.) der gesammten Turgorkraft. Zu ähnlichen Resultaten führten Analysen der Blattstiele von *Begonia manicata*.

Die Entstehung der Oxalsäure ist allem Anscheine nach von einer ganz bedeutenden Vermehrung der Turgorkraft begleitet. Wir dürfen annehmen, dass sie aus dem den Zellen zugeführten stick-

stofffreien Nährmaterialie, also aus der Glucose, gebildet wird. Ein Molecül Glucose,  $C_6H_{12}O_6$ , kann nun unter Aufnahme von Sauerstoff im günstigsten Falle drei Molecüle Oxalsäure  $C_2H_2O_4$  liefern. Beide Verbindungen haben aber pro Molecül denselben isotonischen Coëfficienten 2, und bei dieser Umwandlung würde die Turgorkraft also im Verhältniss von 1 : 3 zunehmen. Wenn nun auch vielleicht thatsächlich eine so vollständige Umsetzung in der Pflanze nicht angenommen werden darf, so wird man andererseits doch wohl folgern dürfen, dass die Bildung von Oxalsäure aus Glucose von einer wesentlichen Erhöhung der Turgorkraft begleitet ist. In der Production von Oxalsäure besitzen die fraglichen Pflanzen also, allem Anscheine nach, ein ausgezeichnetes Mittel, um mit einem gegebenen Quantum organischer Nährstoffe eine möglichst grosse Turgorkraft darzustellen. Und dass dieses Mittel im Pflanzenreich nur eine so beschränkte Anwendung findet, muss offenbar wenigstens zum Theil seinen Grund darin haben, dass nur unter besonderen Bedingungen das lebendige Protoplasma so ganz bedeutende Mengen einer so starken Säure ertragen kann. Ohne Zweifel bietet die Anhäufung freier Oxalsäure in den Pflanzen ein dankbares Gebiet für weitere Forschungen.

Die Production von Oxalsäure dauert während der ganzen Wachstumsperiode stetig fort, und zwar häufig der Art, dass der procentische Gehalt des Saftes an diesem Körper annähernd derselbe bleibt, dass also die Volumenzunahme der Zellen nahezu dieser Production proportional ist. Als Beispiel führe ich die vier Blattstiele verschiedenen Alters von *Rheum officinale* an, deren Turgorkraft bereits im I. Abschnitt des zweiten Theiles (S. 559) besprochen wurde. Ich bestimmte für diese Blattstiele die Acidität und den Gehalt der Asche an kohleisuren Alkalien und alkalischen Erden, und berechnete daraus den gesammten Gehalt an freier und gebundener Oxalsäure, mit Ausschluss desjenigen Theiles, der an organische Basen gebunden war. Die Resultate sind in folgender Tabelle zusammengestellt:

Blattstiele.	Salpeterwerth des Saftes.	Gesamteorg. Säure in Aeq. pro 10 CC Saft.	Salpeterwerth der Säure.	Proc.-Antheil an d. Turgorkraft.
I jüngster	0.21	19.7	0.066	31.4
II älterer	0.21	19.6	0.065	31.0
III noch älterer	0.215	19.7	0.066	30.7
IV nahezu ausgewachsener	0.215	19.7	0.066	30.7

Für die Länge und das Gewicht der Stiele vergleiche man S. 559. In allen Stielen war die Säure nur zu  $\frac{1}{4}$  bis  $\frac{1}{5}$  durch feuerfeste Basen gesättigt. Den an organischen Basen gebundenen Theil der Säure habe ich in diesen Versuchen nicht ermittelt; in einem anderen Versuch mit wachsenden Blattstielen von *Rheum hybridum* fand ich ihn zu 16.0 pCt. (Vergl. S. 587.)

Berechnet man aus diesen Zahlen den absoluten Gehalt an freier und an durch feste Basen gebundener Oxalsäure pro Stiel, so tritt die fortwährende bedeutende Production dieser Säure noch klarer hervor.

	Gewicht des Stieles.	Gehalt an Oxalsäure.
I.	25.3 Gramm	0.22 Gramm
II.	66.5 -	0.59 -
III.	80.0 -	0.71 -
IV.	117.5 -	1.04 -

Diese Zahlen beanspruchen keine hohe Genauigkeit; sie sind berechnet, als ob das Gewicht der festen Bestandtheile der Stiele vernachlässigt werden könnte.

Gehen wir jetzt zu der Betrachtung der organischen Säuren in wachsenden Pflanzentheilen im Allgemeinen über, und schliessen wir dabei die Oxalsäure-haltenden Pflanzen von unseren ferneren Erörterungen aus. Zunächst ist hier die Thatsache hervorzuheben, dass in den Säften wachsender Organe die organischen Säuren zum Theil an anorganische, zum Theil aber auch an organische Basen gebunden sind. Ich habe nun diese beiden Theile getrennt der Untersuchung unterworfen, und dabei behufs der Berechnungen angenommen, dass die saure Reaction der Zellsäfte von sauren Salzen fixer Base, nament-

lich von sauren Kalisalzen herrühren. Ob dem wirklich so ist, ist für unsere Berechnungen, kraft des Gesetzes von den partiellen isotonischen Coëfficienten, offenbar gleichgültig (vergl. S. 519).

Wir fangen mit den Salzen mit anorganischer Basis an. Eine Einsicht in den Antheil dieser an der Turgorkraft junger Organe geben die folgenden Analysen.

Kräftig wachsende Sprossgipfel und Blattstiele, von anhängenden Organen und ausgewachsenen Theilen befreit, wurden in der im vorigen Abschnitt mitgetheilten Weise analysirt. Es waren für je 10 CC des Saftes die in folgender Tabelle zusammengestellten Anzahlen CC der Titirflüssigkeiten zur Neutralisation erforderlich:

### I. Resultate der titrimetrisch-chemischen Analyse.

Arten.	Organe.	Acidität in CC	K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> in CC	MgCO <sub>3</sub> + CaCO <sub>3</sub> in CC	Summe der org. Säure in CC
Heracleum Sphondylium .	Blattstiel	0.1	5.6	0.5	6.2
Archangelica officinalis .	„	0.8	5.7	1.0	7.5
Heracleum Sphondylium .	„	0.5	6.2	1.2	7.9
Carum Carvi . . . . .	Sprossgipfel	0.8	8.3	2.7	11.8
Dipsacus fullonum . . . . .	„	1.2	7.5	2.1	10.8
Delphinium azureum . . . . .	„	1.4	8.0	2.0	11.4

Aus diesen Zahlen habe ich den procentischen Gehalt des Saftes an Säure und Kalium und deren absolute Salpeterwerthe berechnet. Die Säure war in allen Fällen vorwiegend Aepfelsäure und wurde als solche berechnet.

### II. Berechnung der absoluten Salpeterwerthe.

Arten.	Proc.-Gehalt des Saftes an		Salpeterwerthe	
	Säure.	Kalium.	d. Säure.	d. Kaliums.
Heracleum I . . . . .	0.415	0.218	0.021	0.019
Archangelica . . . . .	0.503	0.222	0.025	0.019
Heracleum II . . . . .	0.529	0.242	0.026	0.021
Carum . . . . .	0.791	0.324	0.039	0.027
Dipsacus . . . . .	0.724	0.292	0.036	0.025
Delphinium . . . . .	0.764	0.312	0.038	0.027

Um nun schliesslich hieraus den procentischen Antheil der Säure und des Kaliums an der Turgorkraft zu finden, gebe ich zunächst die Salpeterwerthe der Säfte und berechne aus diesen folgende Tabelle.

### III. Procentischer Antheil an der Turgorkraft.

A r t e n.	Salpeter- werth des Saftes.	Procent-Antheil an der Turgorkraft.		
		Org. Säure.	Kalium.	Summe.
Heracleum I . . . .	0.19	11.0	10.0	21.0
Archangelica . . . .	0.18	13.9	10.5	24.4
Heracleum II . . . .	0.17	15.3	12.4	27.7
Carum . . . . .	0.22	17.7	12.3	30.0
Dipsacus . . . . .	0.20	18.0	12.5	30.5
Delphinium . . . . .	0.185	20.5	14.6	35.1

Der Antheil der äpfelsauren Salze an der Turgorkraft wachsender Pflanzentheile wechselte also in diesen Fällen zwischen 21.0 und 35.1 pCt. und war im Mittel 28 pCt. In einer Reihe weiterer Analysen erhielt ich ähnliche Werthe.

Zu bemerken ist aber, dass der Antheil der Pflanzensäuren und ihrer Salze thatsächlich etwas grösser sein kann, wegen der Art der Bereitung der Säfte, welche zur Coagulation des Eiweisses auf 100° C. erwärmt wurden. Falls nämlich im Saft Citronensäure vorhanden ist, fällt sie bei dieser Operation wenigstens zu einem grossen Theile in Verbindung mit Kalk aus, und wird demzufolge nicht in die Analyse aufgenommen.

Die pflanzensauren Salze organischer Basis finden sich vorwiegend in jugendlichen, wachsenden Theilen. Mit zunehmendem Alter verschwinden sie, wenigstens zum grössten Theil, indem die Basen als Nährstoff Verwendung finden. Um sie zu bestimmen, bin ich, nach dem Vorgange Mentschutkin's<sup>1)</sup>, in folgender Weise verfahren. Es wurde zunächst die Acidität des Saftes genau in derselben Weise, wie in allen übrigen Analysen mittelst zehntelnormaler Kalilauge und Curcumapapier bestimmt. Dann wurde eine neue Portion des Saftes ausgemessen, mit dem vielfachen Volumen Alkohol

1) Mentschutkin: Ber. d. d. chem. Ges. Berlin 1883, XVI, Nr. 3, S. 315 - 326.

von etwa 90 pCt. versetzt, einige Tropfen Phenolphthalein als Indicator zugesetzt, und nun mit der genannten Kalilauge titrirt, bis die meist blassgelbe Farbe der Flüssigkeit in roth überschlug. Die Endreaction war stets eine hinreichend scharfe, indem der Uebergang durch 2—3 Tropfen sehr deutlich, und meist schon durch einen einzelnen Tropfen hervorgebracht wurde. Der Alkohol hebt die Wirkung der organischen stickstoffhaltigen Basen auf das Phenolphthalein auf, ebenso wie er auch das Ammoniak unwirksam macht; er erlaubt also die im Saft durch sie gebundenen Säuren zu messen. Ob neben den organischen Basen auch Ammoniak vorhanden war, habe ich nicht ermittelt, sondern, wie die beschriebene Methode ausweist, einfach die Summe der an beide gebundenen Säuren gemessen.

Zur Berechnung der Turgorkraft habe ich nur den partiellen isotonischen Coëfficienten der Säuren, welche ich als zweibasische annahm, benutzt. Ob die Basen selbst zur Erhöhung der Turgorkraft beitragen, ist zwar eine sehr wichtige und der weiteren Forschung sehr zu empfehlende Frage; bis jetzt bin ich aber auf diese nicht eingegangen.

Die folgende Tabelle enthält die erlangten Resultate; und zwar zunächst die Anzahlen CC der zehntelnormalen Kalilauge, welche zur Sättigung von 10 CC des Saftes in gewöhnlicher Weise, resp. nach dem Versetzen mit Alkohol erforderlich waren, sowie die Differenzen beider Zahlen, welche also den Gehalt an durch organische Basen gebundener Säure angeben. Ferner die Salpeterwerthe der Säfte, sowie der organisch-gebundenen Säure, und das Verhältniss beider, oder den procentischen Antheil dieses Theiles der Säure an der Turgorkraft.

Als Versuchsobjecte dienten wachsende Sprossgipfel in einer Länge von 8—10 cm abgeschnitten und entblättert, von *Helianthus tuberosus*, *Cucurbita Pepo* und *Tropaeolum majus*; junge kräftig wachsende Blattstiele von *Rheum hybridum*, *Cynara Scolymus* und *Beta vulgaris saccharifera*, junge epicotyle Glieder von *Phaseolus multiflorus*, welche erst 2—6 cm lang waren, und die wachsenden Gipfel junger Keimpflanzen von *Pisum sativum*, in einer Länge von 2—5 cm; letztere wurden ausnahmsweise nicht entblättert.

	Acidität in CC.			Salpeterwerth.		
	Ohne Alkohol.	Mit Alkohol.	Diff.	des Saftes.	der org. geb. Säure.	Anth. an d. Turgorkraft.
I. Sprossgipfel.						
<i>Helianthus tuberosus</i> . . . .	0.9	6.6	5.7	0.22	0.019	8.6 %
<i>Cucurbita Pepo</i> . . . . .	1.2	6.0	4.8	0.17	0.016	9.5 %
<i>Tropaeolum majus</i> . . . . .	1.6	8.4	6.8	0.21	0.023	11.0 %
II. Blattstiele.						
<i>Cynara Scolymus</i> . . . . .	1.4	5.8	4.4	0.17	0.015	8.8 %
<i>Beta vulgaris</i> . . . . .	2.0	12.4	10.4	0.30	0.035	11.7 %
<i>Rheum hybridum</i> . . . . .	15.8	25.4	9.6	0.20	0.032	16.0 %
III. Keimstengel.						
<i>Phaseolus multiflorus</i> . . . .	1.8	12.4	10.6	0.18	0.035	19.4 %
<i>Pisum sativum</i> . . . . .	0.4	12.4	12.0	0.17	0.040	23.5 %

Der Antheil der an organische Basen (und Ammoniak) gebundenen Pflanzensäuren an der Turgorkraft wechselte also in diesen Organen zwischen 8.6 und 23.5 pCt. und war im Mittel aus allen Versuchen 13.6 pCt. Hätte ich die Organe in jüngeren Zuständen analysiren können, so wäre diese Zahl ohne Zweifel noch höher ausgefallen.

Addirt man diese Mittelzahl zu der aus der Tabelle auf S. 585 berechneten (28 pCt.), so erhält man für den mittleren Antheil der an verschiedene Basen gebundenen Pflanzensäuren und ihrer Kalisalze an der Turgorkraft wachsender Organe 41.6 pCt.

Rechnet man dazu die für *Rochea* (45.3 pCt.), *Rheum hybridum* (62.3 pCt.) und *Begonia Rex* (47.5 pCt.) bereits mitgetheilten Ergebnisse, und beachtet man, dass unsere Mittelzahl aus mehreren Gründen etwas zu klein ausfallen musste, so kann man im Allgemeinen sagen, dass die Pflanzensäuren in jugendlichen wachsenden Pflanzentheilen im Mittel nahezu die Hälfte der Turgorkraft liefern. Im ausgewachsenen Zustande treten sie aber in dieser Beziehung ganz wesentlich zurück.

Der Antheil der anorganischen Salze an der Turgorkraft ist häufig ein viel bedeutenderer, als man auf dem ersten Blick erwarten würde. In den meisten Pflanzen sind die Zellen der jugend-

lichen, wachsenden Organe arm an anorganischen Salzen<sup>1)</sup>, und erst mit zunehmendem Alter nimmt der Gehalt an diesen Stoffen allmählig zu. Dagegen giebt es bestimmte Gruppen von Gewächsen, welche durch einen ungewöhnlich hohen Gehalt an anorganischen Bestandtheilen gekennzeichnet sind, und in denen diese Verbindungen also einen wichtigen Antheil an der Turgorkraft haben.

Einige Beispiele mögen dieses erläutern.

Anknüpfend an die Tabellen des vorigen Abschnittes, nenne ich zuerst *Gunnera scabra*. In den wachsenden Blattstielen dieser Pflanze führte der Saft etwa  $\frac{1}{2}$  pCt. Chlorkalium, und verdankte diesem mehr als die Hälfte (52—56 pCt.) seiner Turgorkraft. In ganz jungen, noch kaum aus ihrer Umhüllung hervorgetretenen Stielen, welche nur etwa 6 cm lang waren, fand ich im ausgepressten Saft 0.52 pCt. Chlorkalium, also einen nahezu gleich grossen procentischen Gehalt, wie in den fast ausgewachsenen Stielen. Während der ganzen zweiten Periode des Wachstums, in der die bedeutende Streckung dieser Stiele stattfindet, muss also fortwährend soviel Chlorkalium aufgenommen werden, dass etwa die Hälfte der zu dieser Streckung erforderlichen Kraft mittelst dieses Salzes geliefert wird.

Das Chlor ist den meisten Pflanzen ein entbehrliches Element, und vielleicht würde man auch *Gunnera* ohne Chlorverbindungen erziehen können. Die mitgetheilten Thatsachen lehren also, dass auch solchen Elementen, welche gewöhnlich als entbehrliche betrachtet werden, eine wichtige Bedeutung für das Pflanzenleben zukommen kann.

Aehnliches dürfte für andere Chlorkalium-haltende Pflanzen, sowie für die an Chlornatrium reichen Gewächse des Meeresstrandes und der Salinen gelten. Ihre Vorliebe für einen salzigen Boden hängt vielleicht mit dem Vermögen, das Salz zur Herstellung ihres Turgors zu verwenden, innig zusammen.

Manche Schuttpflanzen häufen in ihren Zellen so bedeutende Mengen Salpeter an, dass dieser aus dem ausgepressten Saft in reichlichen schönen, baumförmigen Krystallgruppen herauskrystallisirt.

---

1) E. Ebermayer: Physiologische Chemie d. Pflanzen, Bd. I, 1882, S. 768 und 770.

Es genügt, einzelne Tropfen auf dem Objectglase verdunsten zu lassen, um sich von dieser merkwürdigen Eigenschaft zu überzeugen. In solchen Fällen nimmt der Salpeter einen wesentlichen Antheil an der Turgorkraft. In jugendlichen, noch wachsenden Blättern von *Solanum tuberosum* fand ich z. B. im Saft 0.27 pCt. Salpeter. Der Salpeterwerth des Saftes war 0.18, der des darin gefundenen Salpeters 0.027, und also 15 pCt. der ganzen Turgorkraft. Im Marke der wachsenden Sprossgipfel von *Helianthus tuberosus* enthielt der Saft 0.91 pCt. Salpeter. Der Salpeterwerth des Saftes war 0.22, der des darin vorhandenen Salpeters 0.091, oder 41.4 pCt. der ganzen Turgorkraft. Nach Molisch<sup>1)</sup> nimmt der Gehalt an Salpeter in den Sprossen von oben nach unten, also mit zunehmendem Alter der Internodien, stetig zu, und wir dürfen also in den älteren Theilen einen noch grösseren Antheil dieses Salzes an der Turgorkraft erwarten. Es wäre interessant, zu erfahren, welche Beziehungen zwischen der Aufnahme des Salpeters einerseits, der Grösse des Turgors und der Geschwindigkeit des Längenwachsthums andererseits obwalten.

Die Phosphate scheinen in wachsenden Pflanzentheilen, nach meinen bisherigen Analysen, nur selten mehr als einige wenige Procente der Turgorkraft zu liefern.

Fassen wir die Ergebnisse dieses Abschnittes kurz zusammen, so lässt sich über die Analyse der Turgorkraft wachsender Pflanzentheile folgendes sagen. Einen nie fehlenden Bestandtheil bilden die Pflanzensäuren und ihre Salze, sie liefern in den gewöhnlichen Fällen im Mittel nahezu die Hälfte der Turgorkraft. Ist die Säure Oxalsäure, und in grosser Menge, zum Theil als freie Säure, im Saft angehäuft, so kann dieser Antheil bis auf mehr als 60 pCt. zunehmen. In zweiter Linie steht die Glucose, deren Betheiligung eine äusserst wechselnde ist. Gar häufig fehlt sie den wachsenden Organen, gewöhnlich liefert sie ein Drittel oder weniger der Turgorkraft, in einzelnen Fällen aber auch 50—60 pCt., ja in den Blumenblättern der Rose sogar 80 pCt. Anorganische Salze treten in weit-

---

1) H. Molisch: Ueber den mikrochemischen Nachweis von Nitraten und Nitriten in der Pflanze mittelst Diphenylamin und Brucin. Berichte der deutsch. Bot. Gesellsch. Bd. I, S. 150, 1883.

aus den meisten Pflanzen sehr zurück, in besonderen Arten können sie aber bis zur Hälfte der zum Wachsthum erforderlichen Kraft liefern. ( $\text{KCl}$ ,  $\text{NaCl}$ ,  $\text{KNO}_3$ .) Schliesslich nehmen organische Verbindungen der verschiedensten Natur je nach Umständen einen grösseren oder geringeren Antheil an der Turgorkraft, sowohl in wachsenden als in ausgewachsenen Organen; ich habe diese aber bis jetzt nur nebenbei berücksichtigt.

Während der raschen und bedeutenden Streckung in der zweiten Periode des Wachsthums beruht die stetige absolute Zunahme der Zellsäfte an osmotisch wirksamen Stoffen theils auf eine fortwährende Produktion von organischen Säuren, theils auf eine anhaltende Accumulation von verschiedenen organischen und anorganischen Verbindungen. Nicht selten halten diese Prozesse mit der Volumzunahme der Zellen gleichen Schritt.

---

#### Abschnitt IV.

### Ueber das Verhältniss von Kalium und Calcium zum Turgor.

Unter den mannigfachen Anwendungen auf die Erklärung der Lebenserscheinungen der Pflanzen, deren die Gesetze der isotonischen Coëfficienten fähig sind, sei es mir zum Schlusse erlaubt, beispielsweise Eine hervorzuheben. Sie bezieht sich auf die Bedeutung der pflanzensauren Salze für den Turgor.

Die Pflanzensäuren entstehen in den Zellen aus den organischen Nährstoffen, die Basen, mit denen sie sich verbinden, werden von aussen herein in die Zellen geführt. Die Zellsäfte reagiren sauer, die Bildung der Säuren schreitet also ihrer Neutralisation voran. Wir fragen nun, welche Aenderung erleidet die Turgorkraft durch die Aufnahme der Basen und deren Verbindung mit den Säuren?

Aus unseren Gesetzen leitet sich folgende Antwort ab:

1. In Bezug auf die Bindung der Säuren an Kalium. Die Affinität der verbreitetsten Pflanzensäuren (Aepfelsäure, Wein-

säure, Oxalsäure, Citronensäure) für Wasser ist in verdünnten Lösungen pro Molecül stets 2, die der neutralen Kalisalze der drei ersteren pro Molecül 4, die des neutralen citronensauren Kali's 5. Es rührt diese letztere Differenz daher, dass das citronensaure Kali im Molecül drei Atome Kalium, die anderen Salze aber nur je zwei Atome dieses Metalles enthalten. Für die sauren Salze, wie sie wohl stets zuerst in der Pflanze entstehen, hängt die Affinität zu Wasser von der Zahl der Kali-Atome pro Molecül ab, wie speciell für die beiden sauren citronensauren Kalisalze bewiesen wurde. Und zwar gilt sowohl für die sauren als für die neutralen Salze die Regel, dass der isotonische Coëfficient für jedes einzelne Atom Kali, das pro Molecül aufgenommen wird, um Eine Einheit grösser wird. Die Natur der Säure hat darauf keinen Einfluss, ebensowenig der Umstand, ob das Kalium als erstes, zweites oder drittes Atom in die Verbindung tritt. Wir dürfen also allgemein die Natur der Säure und die Art der Bindung ausser Betracht lassen, und sagen: Für jedes aufgenommene und an eine Pflanzensäure gebundene Atom Kalium nimmt die Turgorkraft des Zellsaftes um eine bestimmte, unveränderliche Grösse zu.

Versuchen wir es, für diese Grösse ein Maass zu finden. Der isotonische Coëfficient der Citronensäure ist = 2, der des sauren citronensauren Kaliums mit einem Atom Kalium im Molecül ( $\text{KH}_2\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7$ ) = 3, die Zunahme bei der Aufnahme eines Atoms Kalium also genau gleich der halben Grösse des isotonischen Coëfficienten der Citronensäure selbst. Diese Regel gilt nun allgemein, wie leicht aus unserem dritten Gesetze ersichtlich, und es wird also die Turgorkraft des Zellsaftes für jedes aufgenommene Atom Kalium genau um halb so viel grösser wie bei der Aufnahme oder der Production Eines organischen Molecüles. Zwei Atome Kalium liefern also dieselbe Kraft wie Ein Molecül der Aepfelsäure oder einer beliebigen anderen organischen Säure, oder auch wie Ein Molecül irgend einer Zuckerart.

Das Kalium muss also ganz bedeutend zur Erhöhung der Turgorkraft beitragen.

Die Natur der Säure hatte auf diese Berechnung keinen Einfluss. Anders stellt sich aber die Sache, wenn man fragt, wie viel Kalium ein Zellsaft aufnehmen und binden kann, wenn der Zelle eine gegebene

Menge organischer Nährstoffe sur Bildung der Säure zur Verfügung steht. Nimmt man an, dass sämtlicher Kohlenstoff der Glucose in die organischen Säuren übergeht, so liefert ein Molecül Glucose ( $C_6 H_{12} O_6$ ) an Säuren und deren neutralen Kalisalzen:

1 Mol. Citronensäure	$C_6 H_8 O_7$ oder	$K_3 C_6 H_5 O_7$ ,
$1\frac{1}{2}$ Mol. Aepfelsäure	$C_4 H_6 O_5$ oder	$1\frac{1}{2} \times K_2 C_4 H_4 O_5$ ,
$1\frac{1}{2}$ Mol. Weinsäure	$C_4 H_6 O_6$ oder	$1\frac{1}{2} \times K_2 C_4 H_4 O_6$ ,
3 Mol. Oxalsäure	$C_2 H_2 O_4$ oder	$3 \times K_2 C_2 O_4$ .

Unter dieser Voraussetzung verhalten sich die drei ersten Säuren gleich, während die Bildung von Oxalsäure die doppelte Menge von Kalium aufzunehmen gestattet. Dazu kommt, dass bereits die Umwandlung von Glucose in Oxalsäure, falls jene Voraussetzung zutrifft, von einer Zunahme der Turgorkraft im Verhältniss von 1 : 3 begleitet ist (vergl. S. 582). Auch die Bildung von Aepfelsäure und Weinsäure, nicht aber die von Citronensäure, würde eine Erhöhung der Turgorkraft bedingen, wenn die genannte Voraussetzung richtig wäre. So lange hierüber aber noch nicht entschieden werden kann, soll dieser Umstand nicht weiter hervorgehoben werden.

2. Bindung der Säuren an Calcium oder Magnesium. Ganz anders verhält sich die Sache, wenn die Pflanzensäuren durch Calcium oder Magnesium neutralisirt werden. Obgleich ich bis jetzt nur wenige derartige Salze untersucht habe, so lassen diese Bestimmungen, im Verbande mit allen übrigen, keinen Zweifel darüber, dass diese Salze genau dieselbe Affinität haben, wie die in ihnen enthaltenen organischen Säuren. Mit anderen Worten: die Anziehung eines Zellsaftes zu Wasser wird dadurch gar nicht geändert, dass seine freien Säuren durch Calcium oder Magnesium neutralisirt werden. Diese beiden Metalle tragen also zur Erhöhung der Turgorkraft nicht oder wenigstens nicht in directer Weise bei. Ihre partielle Affinität zu Wasser in ihren Salzen ist = 0 (S. 519). Dementsprechend wurden sie in den Tabellen über die Analysen der Turgorkraft nicht berücksichtigt (S. 565 und 572—576).

Diese aus unseren Gesetzen abgeleiteten Folgerungen bringen nun eine merkwürdige Differenz zwischen dem Verhalten des Kaliums und des Calciums an's Licht. Das Kalium hat für den Turgor eine sehr hohe, das Calcium gar keine Bedeutung.

Dieser Satz erklärt nun in sehr einfacher Weise die Verbreitung und die Wanderung dieser beiden Metalle in der Pflanze, wie aus folgender Ueberlegung klar werden wird.

Die Pflanzentheile bedürfen des Turgors vorwiegend in ihrer Jugend, so lange sie noch wachsen. Ist dieses Stadium vorüber, so tritt die Bedeutung des Turgors allmählich zurück. Am raschesten geschieht dieses in den Stengeln; langsam in den Blättern, deren frisches Aussehen häufig noch lange auf Turgescenz beruht. Sehr langsam findet es in Gelenkpolstern statt, welche, wie bei den Gräsern, mit dem Verschwinden des turgescenten Zustandes ihr Bewegungsvermögen einbüßen würden. Aber abgesehen von diesen Fällen beruht die Steifheit ausgewachsener resp. älterer Organe nicht mehr auf Turgor, sondern auf die Festigkeit der Zellhäute, und es ist häufig fast nur noch die Aufnahme von Wasser und die Deckung der durch Verdunstung entstandenen Verluste, für welche der Turgor zu sorgen hat.

Nun findet sich, wie bereits Saussure lehrte, das Kalium vorwiegend in den jugendlichen Organen, während das Calcium um so mehr vorherrscht, je älter der betreffende Theil wird. Zahlreiche spätere Untersuchungen haben diese Regel zu einer der besten empirischen Thatsachen unserer Wissenschaft erhoben, und, wie wir bald sehen werden, durch manche Einzelheiten weiter begründet. Wir folgern also: Das Kalium findet sich stets gerade dort angehäuft, wo seine bedeutende Turgorkraft der Pflanze von Nutzen ist, das Calcium dagegen dort, wo der Turgor anderen Functionen gegenüber zurücktritt.

Bevor wir diese Betrachtungen weiter verfolgen, wollen wir die wichtigsten Thatsachen, welche sich durch diesen Satz unter einen gemeinschaftlichen Gesichtspunkt bringen lassen, kurz vorführen.

Kalium und Calcium in den niederen Pilzen. Ein Blick auf die Aschenanalysen der Pilze lehrt<sup>1)</sup>, dass diese Gewächse auffallend reich an Kalium, aber sehr arm an Calcium sind. Nimmt man den Birkenschwamm aus, so wechselt der Gehalt an Kali in der Asche zwischen 17.9 und 54,2 pCt., der des Kalkes zwischen

---

1) Wolff — Aschenanalysen, S. 134 — theilt 14 Analysen von Aschen von Pilzen mit.

0.75 und 4.95 pCt. Es weist dieses darauf hin, dass das Kalium eine hohe Bedeutung für das Leben dieser chlorophylllosen Gewächse hat, und wir werden wohl annehmen dürfen, dass solches mit dem Antheil zusammenhängt, den es an ihrer kräftigen Turgescenz und dadurch an ihrem raschen Wachstum haben muss.

Das Calcium, welches zu diesem Turgor nicht beiträgt, gehört nicht zu den für das Leben der niederen Pilze unumgänglichen Elementen. In künstlichen Nährlösungen lassen sich die verschiedensten niederen Pilze in völlig normaler Weise erziehen, auch wenn diese keine Spur von Calcium enthalten. Pasteur, der zuerst die Methode solcher Culturen begründete, lehrte, dass die Asche der Hefe, welche nahezu ganz aus Kali, Magnesia und Phosphorsäure besteht, und nur Spuren von Kalk enthält, für alle niederen Pilze als Quelle der Aschenbestandtheile in den Culturen genügt.<sup>1)</sup> Raulin<sup>2)</sup>, der in einer ausgedehnten Untersuchung den Einfluss der verschiedensten nützlichen und schädlichen Substanzen auf *Aspergillus glaucus*, in künstlichen Nährlösungen wachsend, studirte, fügte diesen Lösungen nie Kalkverbindungen zu; der *Aspergillus* wächst ohne Calcium ebenso üppig wie mit Calcium. Durch zahlreiche Culturen habe ich mich selbst von der Richtigkeit dieses Resultates überzeugt.

In die fundamentalen, allen Pflanzen gemeinsamen Lebenserscheinungen der Zellen greift also das Calcium nicht ein; es muss, wie das Eisen, eine Bedeutung nur für specielle, sei es auch weit verbreitete Zwecke haben. Der Turgor ist eine solche allgemeine Eigenschaft wachsender Zellen, und der oben aufgestellte Satz erklärt uns also, wenigstens in der Hauptsache, das verschiedene Verhalten des Kaliums und des Calciums in den niederen Pilzen.

Manche höhere Gewächse, wie z. B. die Gräser, enthalten so wenig Kalk in ihrer Asche, dass man schon nach dieser Erfahrung dem Calcium in ihnen keine hervorragende Rolle zuschreiben darf.

Kalium und Calcium in den wachsenden Organen höherer Pflanzen. Je jünger man wachsende Organe der Ana-

---

1) Pasteur: Ann. Chim. Phys., 3. Serie, T. 58, p. 383; *ibid.* 3. Serie, T. 64, p. 107.

2) Raulin: Ann. sc. nat., 5. Serie, T. XI (1869) S. 93—287. Man vergl. auch Nägeli: Sitzungsber. d. k. bayr. Akad. d. Wiss. 1880, Heft 3, S. 340.

lyse unterwirft, um so reicher zeigt sich im Allgemeinen ihre Asche an Kalium, um so ärmer an Calcium. Aber schon während der zweiten Periode des Wachsthums nimmt der Gehalt an Kalk allmählig zu, wenn dieses Element wenigstens von Aussen, resp. aus älteren Organen derselben Pflanze aufgenommen werden kann. Solche Analysen, in denen die einzelnen Wachstumsstadien nicht getrennt sind, sind also für unseren speciellen Zweck nur von untergeordneter Bedeutung.

Garreau lehrte, dass die Zusammensetzung der Asche aller sehr jugendlichen Pflanzentheile annähernd dieselbe ist<sup>1)</sup>, und belegte diesen Satz durch zahlreiche eigene Analysen und eine kritische Zusammenstellung der Resultate anderer Forscher. Die Cotyledonen, die Plumula und Radicula ruhender Samen, jedes getrennt analysirt, die Samen ohne Samenschale, oder bei solchen Arten wo letztere sehr dünn ist, auch die ganzen Samen, jugendliche Blätter und Sprosse aus Knospen, welche sich soeben geöffnet hatten, Wurzelfibrillen, und endlich Sporen von Cryptogamen und Pollenkörner stimmen in dieser Beziehung in auffallender Weise überein. Als Typus für diese alle kann man die Zusammensetzung der Hefenasche ansehen, welche, nach einer Analyse von Mitscherlich 39.5 pCt. Kali, 1.01 pCt. Kalk, 6.05 pCt. Magnesia, 53.84 pCt. Phosphorsäure und Spuren von Schwefelsäure aufwies<sup>2)</sup>. In den Samen steigt der Gehalt an Kali in der Asche nicht selten bis 45 pCt. und mehr, dagegen fällt der der Phosphorsäure oft auf 35 bis 40 pCt. Aber stets bilden Kali und Phosphorsäure weitaus den Hauptbestandtheil der Asche (80–90 pCt.), und von dem Reste fällt der grösste Theil auf die Magnesia. Der Kalk spielt hier stets eine sehr untergeordnete Rolle (1–6 pCt. der Asche).

Die erwähnten, jugendlichen Organe enthalten aber die zu dem eigenen späteren Wachsthum erforderlichen Elemente in mehr oder weniger vollständiger Weise. Für die Samen geht dieses ohne Weiteres daraus hervor, dass sie das ganze Keimungsstadium durchlaufen können, auch wenn man sie nur destillirtes Wasser aufnehmen lässt. In diesem Falle entwickelt die Keimpflanze ihren ganzen, so

---

1) Garreau: Ann. sc. nat., 4. Serie, T. XIII, 1860, p. 173–179.

2) Wolff: l. c. p. 134 und Garreau: l. c. p. 176.

bedeutenden Turgor ohne irgend welche merkliche Betheiligung des Calciums, von dem selbst noch ein wesentlicher Theil in den Cotylen in unlöslicher Form zurückbleibt.

Für die wachsenden Theile wurde, wie bereits oben erwähnt, der grosse Reichthum der Asche an Kali schon von Saussure entdeckt. In einem der neuesten Werke über die physiologische Chemie der Pflanzen fasst Ebermayer<sup>1)</sup> die Resultate älterer und neuerer Forschungen in folgender Weise zusammen. Stets sind jugendliche, wachsende Organe in ihrer Asche viel reicher an Kali, als ältere. So sind z. B. Knospen, junge Triebe, junge Blätter, grüne Stengel, junge Zweige, die inneren jungen Rindenschichten, das Cambium und ganze junge Pflanzen reicher an Kalium (und Phosphorsäure) in der Asche, als die gleichnamigen älteren Theile. Die Blätter sind die kalireichsten Organe der Pflanzen, und zwar enthalten sie um so mehr Kalium, je jünger sie sind. Reich an Kalium sind ferner die Samen, viele Früchte, Knollen, Zwiebeln und andere an Kohlenhydraten reiche Reservestoffbehälter.

Die Gelenkknoten des Weizens sind nach I. Pierre stets reicher an Kali in ihrer Asche, als die angrenzenden Internodien und Blätter.<sup>2)</sup> Wenn aus diesen mit zunehmendem Alter das Kalium verschwindet, bleibt es in den Knoten in nahezu unveränderter Menge. Die Steifheit der Knoten beruht aber auf die Turgescenz ihrer Zellen, die der Internodien und Blätter auf die Festigkeit der Zellhäute.

Ueberall, wo kräftiges Wachstum vorbereitet wird, resp. thatsächlich stattfindet, tritt also das Kalium unter den Aschenbestandtheilen in den Vordergrund, während das Calcium nur spärlich vertreten ist. Dass dabei die verschiedene Bedeutung dieser beiden Elemente für die Turgorkraft eine maassgebende Rolle spielt, wird also wohl keinem Zweifel ausgesetzt sein.

Kalium und Calcium in älteren Organen. Mit zunehmendem Alter verschwindet das Kalium allmählig aus den einzelnen

1) E. Ebermayer: Physiologische Chemie der Pflanze, Bd. I, Bestandtheile der Pflanzen, 1882, S. 770 ff.

2) Isidore Pierre: Annales agronomiques, 2. Bd., 1876, p. 59—72; Bot. Jahrb. IV, S. 893.

Organen der Pflanzen, während das Calcium immer weiter angehäuft wird. Tritt endlich der Tod ein, so ist das Kalium nahezu vollständig fortgeschafft, während das Calcium dann gerade in der grössten Menge vorhanden ist. Abgefallene Blätter sind z. B. äusserst reich an Kalk, sehr arm an Kali, und dasselbe gilt für die äusseren Partien der Baumrinde, und für ganze einjährige Pflanzen nach eingetretener Samenreife.

Das Kalium wird den älteren Theilen entnommen, um den jungen, noch wachsenden zugeleitet zu werden. Der Boden ist relativ arm an Kaliverbindungen, die Pflanze findet davon selten mehr vor, als sie braucht, sie ist mit dem Kalium deshalb äusserst sparsam, wendet dieselbe Menge nach und nach zur Ausbildung ihrer verschiedenen Organe an, und häuft schliesslich nahezu ihren ganzen Vorrath in ihre Samen oder sonstige Reservestoffbehälter an, um sie einer folgenden Generation zur Verfügung zu stellen, oder sie im nächsten Jahre selbst wieder benutzen zu können.

Genau entgegengesetzt verhält sich das Calcium, die Pflanze wendet so zu sagen alle nur denkbaren Mittel an, um sich von diesem Elemente möglichst vollständig zu befreien. Fast alle Boden enthalten Kalkverbindungen im Uebermaass, und nur wenige Pflanzen, wie die Gräser, sind im Stande, die Aufnahme von Kalk aus dem Boden ganz wesentlich zu beschränken. Die meisten enthalten davon weit mehr als sie brauchen, und müssen ihn also möglichst unschädlich machen.

Am klarsten tritt das verschiedene Verhalten des Kaliums und des Calciums an's Licht, wenn man den Gehalt an diesen beiden Bestandtheilen auf ein einziges, resp. auf dieselbe Zahl von gleichnamigen Organen, z. B. pro Blatt, berechnet, und nicht, wie üblich, auf das Gewicht der Asche oder der Trockensubstanz bezieht. Rissmüller berechnete in dieser Weise seine bekannten Analysen der Buchenblätter.<sup>1)</sup> Aus seiner Tabelle geht hervor, dass der Gehalt eines mittleren Blattes an Kali bis Mitte Juli zunimmt, von dieser Zeit ab aber bis zum November, also bis zum Tode der Blätter, stetig fällt. Aehnliches gilt für die Phosphorsäure und die Magnesia, welche beide ihr Maximum im August erreichen, während

---

1) Rissmüller: Landw. Versuchszt., Bd. XVII, 1874, S. 31.

die Menge des Kalkes bis in den November hinein ganz bedeutend grösser wird. Eine vollständige Entleerung des Kaliums fand nicht statt.

Mit den Blättern anderer Bäume erhielten Fliche und Grandeau<sup>1)</sup> und Corenwinder<sup>2)</sup> übereinstimmende Resultate. Das Verschwinden des Kaliums und die Anhäufung des Kalkes in den vegetativen Organen krautiger Pflanzen wurde von Boussingault für den Klee, die Rübe und den Kohl, und von zahlreichen Forschern für die Getreidearten dargethan<sup>3)</sup>. Eine äusserst ausgedehnte, inhaltsreiche Literatur ist allmählig über diesen Gegenstand entstanden, und die Thatsache selbst dadurch über allen Zweifel erhoben.

Einer so allgemeinen Erscheinung muss irgend eine wichtige physiologische Ursache zu Grunde liegen, und die verschiedene Bedeutung der beiden fraglichen Elemente für Turgor und Wachstum dürfte dabei eine sehr wesentliche Rolle spielen<sup>4)</sup>.

Welche Ursachen bedingen die Anhäufung des Kaliums in den wachsenden Organen? Wir haben nun die wichtigsten Thatsachen über die Verbreitung und die Wanderung des Kaliums und des Calciums in der Pflanze in möglichst gedrängter Form zusammengestellt, und uns dadurch überzeugt, das ersteres Element vorwiegend in solchen Organen auftritt, wo der Turgor eine Hauptrolle spielt, während letzteres gerade in älteren und absterbenden Theilen angehäuft wird. Die Erfahrung ist also mit ihrer verschiedenen Bedeutung für den Turgor durchaus im Einklang. Jetzt können wir den früheren Faden wieder aufnehmen, und unsere Betrachtungen über diese beiden Elemente fortsetzen.

Fragen wir nach den Ursachen, welche die Anhäufung des Kaliums in wachsenden Theilen bedingen, so sind diese uns in ihrem

1) Fliche et Grandeau: *Ann. Chim. et Phys.*, 5. Serie, T. VIII, p. 486 bis 511, 1876.

2) Corenwinder: *Ann. sc. nat.* 1878, 6. Serie, T. VI, p. 305.

3) Vergl. Corenwinder: *Ann. sc. nat.* 1860, 4. Serie, T. XIV, p. 39 ff.

4) Ich behaupte keineswegs, dass die einzige Bedeutung des Kaliums für das Pflanzenleben in seiner Bethheiligung am Turgor zu suchen sei, und ebenso wenig, dass der Turgor wachsender Pflanzentheile vorwiegend vom Kalium vermittelt würde. Die Thatsache, dass das Kalium in rasch wachsenden Organen etwa 10—15 pCt., in nahezu ausgewachsenen nur etwa 3—6 pCt. der Turgorkraft liefert, würde damit in Widerspruch stehen (S. 585 und S. 572—576).

innersten Grunde durchaus unbekannt. Doch leuchtet es ein, dass diese Aufnahme, wenigstens in erster Instanz, durch die Pflanzensäuren vermittelt wird.

Wir wissen, dass die Kaliumsalze der Schwefelsäure, der Phosphorsäure und der Salpetersäure, welche die Pflanzen durch ihre Wurzeln aufnehmen, irgendwo in ihrem Innern derart zerlegt werden, dass die Säuren den eiweissbildenden Geweben, das Kalium aber den jugendlichen Parenchymzellen zugeführt werden. Wir folgern dieses aus der Thatsache, dass wir das Kalium in jenem Parenchym an die Pflanzensäuren gebunden zurückfinden, die Elemente jener anorganischen Säuren aber, den Schwefel, den Stickstoff und den Phosphor, am Aufbau der eiweissartigen Verbindungen sich theiligen sehen. Wie und wo die Zersetzung vor sich geht, wissen wir nicht. Nun ist es aber eine auffallende Thatsache, dass dasjenige Gewebe, dem die Säuren zuströmen<sup>1)</sup> alkalisch<sup>2)</sup>, dasjenige aber, dem das Kalium zugeht, sauer reagirt. Offenbar muss die Aufnahme der fraglichen Bestandtheile in beiden Fällen durch diesen Umstand begünstigt werden, denn jedes eintretende Atom wird sofort an Säure resp. Basis gebunden, was auf die Aufnahme weiterer Theilchen nach bekannten Diffusionsgesetzen nur günstig wirken kann.<sup>3)</sup>

---

1) Sachs: Vorlesungen über Pflanzenphysiologie, 1882, S. 392.

2) Sachs: Ueber saure und alkalische Reaction der Säfte lebender Pflanzenzellen. Bot. Ztg. 1862, S. 257.

3) In derselben unbekanntem Weise zerlegen manche Pflanzen die Kaliumsalze der Kieselsäure, welche sie aus dem Boden aufnehmen; das Kalium wird mit den Pflanzensäuren der wachsenden Zellen verbunden, und die Kieselsäure unthätig in den älteren Organen abgelagert. Es wäre interessant, zu erfahren, ob die sogenannten Kieselpflanzen gerade durch das Vermögen, einen Theil des für den Turgor nothwendigen Kaliums den Silicaten des Bodens zu entnehmen, vor anderen ausgezeichnet sind, und ob die abgelagerte Kieselsäure nur als Schlacke dieses Processes zu betrachten ist. Ebenso dürften die Kalkpflanzen die Vortheile, welche sie vor anderen auf dem ihnen zusagenden Boden in so auffallender Weise besitzen, vielleicht zum Theil einem stark entwickelten Vermögen, die zur Eiweissbildung erforderlichen anorganischen Säuren aus deren Kalksalzen zu befreien, verdanken. Diese Fragen, welche ich hier nur andeuten kann, scheinen mir bei experimenteller Behandlung wichtige Resultate zu versprechen. Eine solche Behandlung hätte zunächst zu entscheiden, ob, wie es den Anschein hat, das Vermögen um Silicate resp. Kalksalze zu zerlegen, bei verschiedenen Pflanzenspecies in auffallend verschiedener Weise ausgebildet ist.

Diese Betrachtungen weisen also den Pflanzensäuren eine wichtige Rolle bei der Aufnahme des Kaliums in jugendliche, wachsende Pflanzentheile zu. Hieraus ergibt sich aber ferner ein Theil ihrer Bedeutung für den Turgor, denn sie sind es, mittelst deren die Pflanze die grosse Affinität zu Wasser, die das Kalium seinen Verbindungen mittheilt, für ihre eigenen Bedürfnisse verwerthen kann.

Die Pflanzensäuren der jugendlichen Zellen müssen aber auch auf den durch die Wurzeln aufgenommenen Kalk eine Anziehung üben, zumal wenn dieser, an Phosphorsäure und Schwefelsäure gebunden, in die Pflanze drang, und diese Säuren zur Eiweissbildung verwendet werden<sup>1)</sup>. Die Aufnahme von Kalk, seitens der jugendlichen Zellen, würde nun für den Turgor nichts nützen, dagegen würde sie durch Neutralisation der Säuren, die Aufnahme von Kalium bedeutend erschweren. In dieser Beziehung muss das Calcium als ein schädliches Element betrachtet werden, und dieses gilt um so mehr, als der Boden stets relativ viel reicher an Kalk, wie an Kali ist, und die Pflanzen erstere Base nur zu leicht in Uebermaass aufnehmen können.

Nur wenige Pflanzen besitzen, wie die Gräser, das Vermögen, die Aufnahme von Kalk durch ihre Wurzeln wesentlich zu beschränken. Und wären in den übrigen Pflanzen keine Vorrichtungen vorhanden, um dem Uebergange des einmal aufgenommenen Kalkes in die jüngsten Organe entgegen zu arbeiten, so würden wahrscheinlich doch die Säuren vorwiegend durch diese Base und nur zum kleinen Theile durch Kali neutralisirt werden. Wir dürfen derartige Einrichtungen also ganz allgemein im Pflanzenreich erwarten.

Solche Einrichtungen finden sich nun unter sehr verschiedenen Formen, welche sich aber in zwei Gruppen unterordnen lassen. Einmal wird der Kalk in löslicher Form, das andere Mal im festen Zustande abgelagert.<sup>2)</sup>

In löslicher Form häuft er sich, an Pflanzensäuren gebunden, wohl ganz allgemein im Zellsaft der ausgewachsenen, zumal der älternden Organe ab. Wie wir bereits gesehen haben, ersetzt er hier allmählig das Kali, welches hier fortwährend fortgeschafft wird, um

---

1) Holzner: Flora 1864, S. 273.

2) Ueber die Bedeutung der Kalkablagerungen in der Pflanze. Landw. Jahrbücher Bd. X. 1881, S. 53.

den neuen wachsenden Theilen zuzuströmen. Wie es kommt, dass dieselben Säuren, welche während der Jugend Kali aufnehmen, im Alter das Kali gegen die schwächere Base Kalk austauschen, muss einstweilen dahingestellt bleiben.

In unlöslicher Form wird der Kalk theilweise in den Zellhäuten und Cystolithen, theilweise als oxalsaurer Kalk abgelagert. Das ganze Auftreten des oxalsauren Kalkes, seine Verbreitung in den Geweben, seine Anhäufung in besonderen Zellen und an solchen Orten, wo er dem Stoffwechsel möglichst entzogen ist, endlich die Thatsache, dass er, einmal ausgeschieden, fast nie wieder aufgelöst wird — dieses Alles beweist zur Genüge, dass es sich um die Entfernung eines überflüssig aufgenommenen Stoffes handelt, dessen Anhäufung in bestimmten Zellen leicht schädlich werden könnte. Und welcher Art dieser Schaden ist, geht nun aus unseren obigen Erörterungen klar hervor: es handelt sich wohl darum, die jugendlichen, turgescirenden und rasch wachsenden Organe gegen die Neutralisation ihrer Säuren durch Kalk möglichst zu schützen, und ihnen dadurch die Aufnahme von Kalium, und damit die Erhöhung ihrer Turgorkraft durch dieses Metall, zu ermöglichen.

Alles, was bis jetzt über die Vertheilung und die Wanderung des Kaliums und des Calciums in der Pflanze, und über die Ablagerung des letzteren Metalles in fester Form bekannt war, lässt sich also in ganz einfacher Weise aus den partiellen isotonischen Coëfficienten dieser beiden Elemente in ihren Salzen, und ihre dadurch bedingte, so sehr verschiedene Bedeutung für den Turgor erklären. Das Kalium erhöht die Turgorkraft der Säuren bei der Neutralisation, das Calcium vermag dies nicht. Dass hiermit die Frage nach den physiologischen Functionen dieser beiden Elemente keineswegs erschöpfend beantwortet ist, davon bin ich mir völlig bewusst; jedoch hoffe ich zu ihrer Beantwortung einen neuen Gesichtspunkt eröffnet zu haben.

Amsterdam. Nov. 1883.

---