

Untersuchungen über Osmose.

Von C. van Wisselingh.

Mit 14 Abbildungen im Text.

Einleitung.

Osmotische Erscheinungen treten sowohl in der toten wie in der lebenden Natur auf. Der nachfolgenden Abhandlung liegt die Absicht zugrunde, zur Kenntnis der Rolle, welche die Osmose im Pflanzenreich spielt, beizutragen.

Nach Overton¹⁾ wurde die Osmose schon im Jahre 1748 von Nollet entdeckt, während ihre hohe physiologische Bedeutung im Jahre 1837 von Dutrochet²⁾ erkannt wurde.

Im Jahre 1855 brachte Nägeli³⁾ wichtige Tatsachen bezüglich der osmotischen Eigenschaften der lebenden Pflanzenzellen ans Licht. Er wies nach, daß die Osmose im Pflanzenreich nicht von der Zellmembran, wie man bis dahin angenommen hatte, sondern vom lebenden Protoplasma beherrscht wird, und daß mit dem Tode des Protoplasmas die charakteristischen osmotischen Eigenschaften der Zellen verschwinden. Nägeli zeigte ferner, daß im Zellsaft gelöster Farbstoff, solange die Zelle lebt, weder aus der Zelle exosmiert, wenn man letztere in Wasser überführt, noch das Protoplasma färbt, während beides nach dem Tode des Protoplasmas stattfindet. Auch wies er nach, daß Rohrzucker und andere im Zellsaft gelöste Körper nach dem Tode des Plasmas aus der Zelle exosmieren. Die Zellmembran, welche während des Lebens gespannt ist, wird mit dem Absterben der Zelle schlaff. Endlich gab Nägeli eine Erklärung für jene Erscheinung, welche man Plasmolyse genannt hat. Er fand, daß eine Zucker- oder Salzlösung, deren Konzentration gerade noch hinreicht, um eine beginnende Plasmolyse hervorzurufen, denselben osmotischen Druck hat wie der Zellsaft.

1) E. Overton, Über die osmotischen Eigenschaften der lebenden Pflanzen- und Tierzelle. Vierteljahrsschrift der Naturf. Gesellschaft in Zürich, 40. Jahrg., 1895, pag. 159.

2) Dutrochet, Sur l'endosmose, 1837.

3) C. Nägeli, Pflanzenphysiologische Untersuchungen, 1855.

Im Jahre 1873 veröffentlichte Pfeffer¹⁾ eine Abhandlung über Reizbarkeit der Pflanzen. Er zeigte den Zusammenhang zwischen den Reizbewegungen und der durch die Reizung hervorgerufenen plötzlichen Abnahme des osmotischen Druckes. Die Frage, durch welche Bedingungen die großen osmotischen Druckwirkungen in der lebenden Zelle hervorgebracht werden, wurde einige Jahre später, 1877, von Pfeffer²⁾ gelöst. Die Steighöhen, welche Dutrochet, Graham und andere Forscher in osmometrischen Apparaten erzielt hatten, konnten die großen Druckwirkungen in den Pflanzen nicht erklären. Es besteht aber ein bedeutender Unterschied zwischen den in Osmometern benutzten Membranen und dem lebenden Protoplasma. Während diese Membranen Kristalloide leicht durchgehen lassen, ist das lebende Protoplasma für viele Kristalloide impermeabel. Nachdem M. Traube³⁾ im Jahre 1864 gezeigt hatte, daß eine sogenannte Niederschlagsmembran, welche sich z. B. bildet, wenn man einen Tropfen Ferrocyankaliumlösung in eine Kupfersulfatlösung einführt, insofern mit dem Protoplasma übereinstimmt, daß sie zwar Wasser, aber keine Kristalloide durchgehen läßt, stellte Pfeffer Versuche mit präparierten Tonzellen an, d. h. mit porösen Zellen, in welchen man eine Niederschlagsmembran von Ferrocyankupfer hergestellt hat. Die Wände dieser Zellen waren für Wasser permeabel, aber für gelösten Rohrzucker und andere gelöste Kristalloide impermeabel. Mit Hilfe eines Manometers wurde der osmotische Druck bestimmt. Die Ergebnisse dieser Versuche waren derart, daß man sich nicht mehr über die hohen osmotischen Druckkräfte in den Pflanzen wundern brauchte.

Hugo de Vries⁴⁾ benutzte die lebende Pflanzenzelle selbst als Osmometer, um die relativen Größen des osmotischen Druckes, welche die Lösungen verschiedener Körper ausüben, zu messen. De Vries benutzte für seine Versuche Pflanzenteile, deren Zellen, was den osmotischen Druck betraf, übereinstimmten. Die Präparate wurden in Lösungen von verschiedenen Stoffen und von verschiedenen Konzentrationen gebracht. Festgestellt wurde, welche Konzentrationen noch gerade eine

1) Pfeffer, Untersuchungen über Reizbarkeit der Pflanzen. Physiologische Untersuchungen, 1873.

2) Pfeffer, Osmotische Untersuchungen, 1877, pag. 110.

3) M. Traube, Zentralbl. f. mediz. Wissensch. 1864, pag. 609; 1866, pag. 97 u. 113. Arch. f. Physiol. 1867, pag. 87 u. 129.

4) Hugo de Vries, Eine Methode zur Analyse der Turgorkraft. Jahrb. f. wiss. Bot. 1884, Bd. XIV, pag. 427. Osmotische Versuche mit lebenden Membranen. Zeitschr. f. physik. Chemie 1888, Bd. II, pag. 415. Isotonische Koeffizienten einiger Salze, 1889, l. c. Bd. III, pag. 103.

beginnende Plasmolyse hervorriefen. Die Lösungen der verschiedenen Körper, welche diese zeigten und offenbar denselben osmotischen Druck ausübten, hat de Vries isotonische Lösungen genannt. Die von de Vries erfundene Methode erschloß ein fruchtbares Feld für physiologische Untersuchungen, auf dem er selbst mit großem Erfolg gearbeitet hat. De Vries wies den Zusammenhang zwischen Molekulargewicht und osmotischem Druck nach.

Gestützt auf die Untersuchungen von Pfeffer und de Vries entwickelte van 'tHoff¹⁾ seine Theorie der Lösungen, nach welcher der osmotische Druck einer Lösung dem Druck entspricht, welchen die gelöste Substanz als Gas oder Dampf im gleichen Volumen und bei derselben Temperatur ausüben würde. Der osmotische Druck ist deshalb um so größer, je stärker die Konzentration und je höher die Temperatur ist. Nach der Theorie von van 'tHoff müssen in Lösungen von gleichem osmotischem Druck, in sogenannten isotonischen Lösungen, die Mengen der aufgelösten Stoffe sich wie ihre Molekulargewichte verhalten. Darauf gestützt, konnte de Vries mit Hilfe seiner plasmolytischen Methode das Molekulargewicht der Raffinose bestimmen, worüber die Meinungen der Chemiker auseinandergingen.

Was die kinetische Theorie des osmotischen Druckes betrifft, so muß man beachten, daß sie, streng genommen, nur für verdünnte Lösungen gilt. Konzentrierte Lösungen verhalten sich abweichend von den Gasgesetzen. Der osmotische Druck ist bei konzentrierten Lösungen größer, als er nach der Theorie sein sollte. Statt bestimmte Mengen Substanz in Wasser aufzulösen und die so erhaltenen Lösungen bis zu einem Volumen von einem Liter zu verdünnen, kann man die gleichen Mengen Substanz auch einem Liter Wasser zusetzen. Experimentiert man mit Lösungen, die man auf letztere Weise bereitet hat, dann zeigt sich, daß das Verhältnis zwischen den Mengen gelöster Substanz in den isotonischen Lösungen und den Molekulargewichten genauer ist. Man muß hierbei beachten, daß zwar zwischen dem Verhalten der Gase und den Erscheinungen der Lösungen eine weitgehende Analogie besteht, daß man aber beide nicht als identisch betrachten darf, und deswegen ist es besser, bei der Herstellung von Lösungen nicht streng an dem Volumen der Lösungen festzuhalten, sondern den Einfluß, welchen die verschiedenen Mengen der chemischen Körper auf eine gleiche Menge Wasser ausüben, zu studieren.

1) J. H. van 'tHoff, Die Rolle des osmotischen Druckes in der Analogie zwischen Lösungen und Gasen. Zeitschr. f. physik. Chemie 1887, Bd. I, pag. 481.

Mit van 'tHoffs kinetischer Theorie der Lösungen, so fruchtbar und sinnreich sie auch ist, waren andere Forscher doch nicht immer einverstanden. Lothar Meyer¹⁾ und J. Traube²⁾ haben Einwendungen gegen dieselbe erhoben. Mit Recht lehnten diese Forscher die Annahme ab, daß nur der gelöste Stoff Druck auf die semipermeable Wand ausübe.

Der osmotische Druck mancher Lösungen, z. B. Salzlösungen, ist größer, als man auf Grund des Molekulargewichtes erwarten sollte. Auch dies wurde in sehr viel Fällen von Hugo de Vries festgestellt. Ähnliche Abweichungen fand Raoult bei der Bestimmung der Gefrierpunktserniedrigung. Die Gefrierpunktserniedrigung war in Fällen, bei denen der osmotische Druck größer war, als man auf Grund des Molekulargewichtes hätte erwarten sollen, ebenfalls größer. Die Abweichungen stimmen miteinander überein, so daß man aus dem osmotischen Druck die Gefrierpunktserniedrigung und aus der Gefrierpunktserniedrigung den osmotischen Druck berechnen kann. Es zeigte sich ferner, das, was für die Gefrierpunktserniedrigung galt, auch für die Siedepunkterhöhung zutraf. Die Abweichungen müssen offenbar dieselbe Ursache haben. Auch zeigte es sich, daß die obengenannten Abweichungen mit dem Wert des elektrolytischen Leitungsvermögens der Lösungen zusammenhängen, was Arrhenius³⁾ durch die Annahme erklärt hat, daß die Moleküle der in Wasser gelösten Stoffe, deren Lösungen die Elektrizität leiten, mehr oder weniger in Ionen gespalten sind, wie dies z. B. bei in Wasser gelösten Salzen der Fall ist. Hierdurch waren viele analoge Erscheinungen miteinander in Zusammenhang gebracht und erklärt, so auch die Abweichungen des osmotischen Druckes, welche Lösungen von Salzen und anderen Stoffen zeigen.

Ich bemerke hierbei, daß ich im Obigen nur solche Fälle im Auge gehabt habe, bei welchen die Plasmawand, die sogenannte semipermeable Wand, nur Wasser und nicht die in demselben gelösten Stoffe durchgehen läßt. Man hat aber eine Reihe Körper entdeckt, für welche das Plasma permeabel ist. Klebs⁴⁾ fand, daß Glyzerin das Plasma passiert und de Vries konnte dasselbe für Ureum feststellen. Stoffe, welche

1) Lothar Meyer, Über das Wesen des osmotischen Druckes. Zeitschr. f. physik. Chemie 1890, Bd. V, pag. 23.

2) J. Traube, Theorie der Osmose und Narkose. Arch. f. gesamte Physiologie des Menschen und der Tiere 1904, Bd. CV, pag. 541.

3) Svante Arrhenius, Über die Dissoziation der in Wasser gelösten Stoffe. Zeitschr. f. physik. Chemie 1887, Bd. I, pag. 631.

4) G. Klebs, Berichte der Deutsch. Bot. Gesellsch., Bd. V, pag. 187.

das Plasma sehr schnell durchgehen läßt, können keine Plasmolyse hervorbringen; Stoffe, welche weniger schnell durch die Plasmahaut hindurchdringen, vermögen zwar noch die Pflanzenzellen zu plasmolysieren, aber nach einiger Zeit verschwindet die Zusammenziehung des Protoplasten wieder und legt er sich wieder an die Zellwand an.

Overton¹⁾ hat die Permeabilität sehr eingehend untersucht und gefunden, daß die Körper alle möglichen Übergänge zeigen. Einige läßt das Plasma schnell durchgehen, andere nicht oder nur unmerklich. Overton hat die verschiedene Permeabilität des Protoplasmas für verschiedene Körper mit ihrer chemischen Natur und ihrer Löslichkeit in Zusammenhang gebracht. Alle Stoffe, welche in fettem Öl leicht löslich sind, läßt das Protoplasma schnell durchgehen, während es für Körper, die sich in jenem nicht auflösen, sehr wenig oder nicht merklich permeabel ist. Diese Beobachtung bildete den Ausgangspunkt für Overtons Lipoidtheorie, durch welche er die verschiedenen Grade der Permeabilität des Protoplasmas für verschiedene Stoffe zu erklären suchte.

J. Traube²⁾ hat darauf aufmerksam gemacht, daß zwischen der Permeabilität des Protoplasmas für verschiedene Stoffe und deren Einfluß auf die Oberflächenspannung von Wasser gegen Luft ein weitgehender Parallelismus besteht. Hierauf hat Traube seine Haftdrucktheorie gegründet. Nach Traube ist die Oberflächenaktivität der Hauptsache nach der wirkende Faktor beim Übertritt der Stoffe in die Zellen.

Sowohl die Lipoidtheorie wie die Haftdrucktheorie haben Anerkennung gefunden, aber gegen beide sind auch Einwendungen erhoben worden. Keine von beiden genügt, um alle Erscheinungen der Permeabilität, die der lebende Protoplast zeigt, auf vollkommen befriedigende Weise zu erklären. Völlig unerklärt ist auch noch die Veränderung, die der Protoplast beim Sterben erleidet, wobei er für viele Körper permeabel wird, für welche er beim Leben nicht permeabel ist. Bei der Unzulänglichkeit der Erklärungen muß man beachten, daß die künstlichen semipermeablen Wände, die man mittels verschiedener

1) E. Overton, Über die osmotischen Eigenschaften der lebenden Pflanzen- und Tierzelle, l. c. Über die osmotischen Eigenschaften der Zelle in ihrer Bedeutung für die Toxikologie und Pharmakologie. Zeitschr. f. physik. Chemie 1897, Bd. XXII, pag. 189. Über die allgemeinen osmotischen Eigenschaften der Zelle, ihre vermutlichen Ursachen und ihre Bedeutung für die Physiologie. Vierteljahrsschr. der Naturf. Gesellsch. in Zürich 1899, 24. Jahrg., pag. 188. Beiträge zur allgemeinen Muskel- und Nervenphysiologie. Arch. f. d. gesamte Physiologie des Menschen und der Tiere 1904, Bd. CV, pag. 176 und 1902, Bd. XCII, pag. 115.

2) J. Traube, Theorie der Osmose und Narkose, l. c.

sinnreicher Methoden hergestellt hat, sich noch recht sehr von der lebenden Plasmawand unterscheiden, welche flüssig und beweglich ist, im Gegensatz zu den künstlichen semipermeablen Wänden, die, wie eine Pfeffersche Zelle, fest und unbeweglich oder nur elastisch sind.

Wenn es auch schwer ist, zur Kenntniss der osmotischen Erscheinungen und der semipermeablen Wände, besonders der Plasmawände, durchzudringen, so steht es doch schon lange fest, daß die Osmose und die semipermeablen Wände eine sehr große Rolle in der lebenden Natur spielen. Bei der Behandlung der physikalischen Chemie der Zelle und der Gewebe wird der Osmose und den semipermeablen Wänden der wichtigste Platz eingeräumt und die größte Bedeutung beigelegt und noch immer sind sie ein sehr fruchtbares Feld für wissenschaftliche Forschung. Vor einiger Zeit, als ich mit einer Untersuchung über die Samenschale beschäftigt war und die Samen der Lythraceen mir in die Hände kamen, fand ich dies bestätigt. Die merkwürdigen Epidermiszellen dieser Samen veranlaßten mich zu einer ausführlichen Untersuchung.

Unsere gegenwärtige Kenntniss der Epidermiszellen der Samen der Lythraceen.

Die Samen der Lythraceen zeigen beim Befeuchten mit Wasser eine eigentümliche Erscheinung. Die Samen sind ziemlich glatt; wenn sie aber einige Zeit, z. B. eine Stunde in Wasser gelegen haben, sind sie mit einem Filz von Haaren bedeckt. Alle Lythraceen zeigen diese Erscheinung, aber bei dem einen Geschlecht tritt sie stärker und komplizierter auf als bei dem anderen. Bei *Heimia* und *Nesaea* sind die Haare sehr kurz und von ziemlich einfacher Struktur; bei *Cuphea* sind sie sehr lang und von sehr komplizierter Struktur, und hiermit hängt es zusammen, daß die Bildung der Haare auf der Oberhaut der Samen einen sehr komplizierten Prozeß bildet.

Die Erscheinung wurde nach Köhne zuerst von Kiärskou¹⁾ bei *Peplis* und *Lythrum* bemerkt. Später, in den Jahren 1878 und 1885 ist sie von Köhne²⁾ beschrieben worden. Köhne tritt der Meinung anderer Forscher entgegen, nach welcher es sich vielleicht um ein Heraustreten von Spiralfasern aus den Epidermiszellen handeln könnte, und erklärt, daß eine wirkliche Haarbildung vorliegt. Er gibt einige Betrachtungen über den Zweck der Haarbildung und behauptet,

1) Kiärskou, Willkomm et Lange, Prod. fl. Hisp., Vol. III, pag. 175.

2) E. Köhne, Bot. Ztg. 1878, 36. Jahrg., Nr. 42, pag. 667 und Bot. Jahrb. f. Systematik, Pflanzengeschichte und Pflanzengeographie 1885, Bd. VI, pag. 33.

daß die Erscheinung kein Lebensprozeß sei, weil die Erscheinung auch in siedendem Wasser stattfindet und also auf eine bloße Quellungserscheinung toten organischen Stoffes zurückzuführen sei.

Im Jahre 1885 gab Klebs¹⁾ eine Beschreibung der Erscheinung bei *Cuphea*, welche durch gute Abbildungen erläutert ist. Er erwähnt die vielfach gewundenen, zusammengefalteten Haare, welche in den Epidermiszellen an der Innenfläche der Außenwand festsitzen, und das Hervorstülpen beim Befeuchten mit Wasser, was nach ihm in einer noch nicht aufgeklärten Weise stattfindet. Weiter teilt Klebs mit, daß sich in den Haaren Flüssigkeit befindet, in welcher Körnchen schwimmen, und daß die Oberfläche der Haare schleimig ist, so daß Erdteilchen an derselben haften bleiben.

Im Jahre 1889 teilte Brandza²⁾ seine Beobachtungen bei den Samen von *Cuphea* mit. Er erwähnt, daß jede der Epidermiszellen einen Spiralfaden enthalte, der an der Außenwand befestigt sei und sich beim Befeuchten mit Wasser entrolle und danach verschleime.

Einige Jahre später, im Jahre 1893, erschien eine interessante Arbeit über die Erscheinung bei *Cuphea* von Correns³⁾. Dieser Forscher macht auf eine Reihe Einzelkeiten aufmerksam, unter anderem auf das Vorkommen einer Korklamelle bei den Haaren. Nach Correns ist die Innenlamelle der Epidermiszellen und die Hautschicht der Haare verkorkt. Diese Folgerung gründet sich auf die Färbungen mit Chlorzinkjod, Jod und Schwefelsäure, Kalilauge, Alkannatinktur und Cyanin und auf die Resistenz gegen Schwefelsäure. Auch erwähnt er die Substanz, welche die noch nicht aus den Epidermiszellen hervorgekommenen Haare ausfüllt und von ihm Füllmasse genannt wird, und die Substanz, welche sich zwischen den Schlingen und Windungen der Haare in der Zelle befindet, Körnchen als Plasmareste enthält und, wo der Same rot gesprenkelt erscheint, rot gefärbt ist. Weiter macht er auf die im Wasser eintretende Längenzunahme der aus angeschnittenen Zellen isolierten Stücke von Haaren aufmerksam und auf die Verquellung der in den Epidermiszellen sich befindende Substanz bei Wasserzutritt. Was das Austreten der Haare aus den Epidermiszellen betrifft, so be-

1) G. Klebs, Beiträge zur Morphologie und Biologie der Keimung. Untersuchungen aus dem bot. Inst. zu Tübingen, 1885, Bd. I, Heft 4, pag. 536.

2) M. Brandza, Sur l'anatomie et le développement des téguments de la graine chez les géraniacées, lythariées et oenothérées. Bull. de la Soc. bot. de France 1889, T. XXXVI^e, 2^e sér., T. XI^e, pag. 417.

3) C. Correns, Über die Epidermis der Samen von *Cuphea viscosissima*. Ber. d. Deutsch. Bot. Gesellsch. 1892, Bd. X, pag. 143.

schreibt Correns das Durchbrechen der Außenwand mit der Cuticula, die Umstülpung der Hautschicht der Haare, die mit einem Ruck stattfindende Umstülpung ihrer Spitzen, welche sich zu Blasen aufblähen, die Ansammlung der obenerwähnten Körnchen in den Spitzen der Haare, die ungefähr fünffache Verlängerung der Haare, mit welcher die Umstülpung verbunden ist, und die Verkürzung und das Kollabieren der Haare nach der vollendeten Umstülpung, was nach Correns mit einer Abnahme des Turgors zusammenhängt. Er erwähnt, daß die Füllmasse sich auf die Außenseite des sich umstülpenden Haares verteilt und mehr oder weniger verquillt; nach der Umstülpung beobachtet man rings um das Haar herum eine Spirale und nicht selten wurstförmige Protuberanzen an demselben. Auch erwähnt Correns, daß die Wärme die Umstülpung beschleunigt.

Was die Ursache der Umstülpung betrifft, so kommt Correns zu dem Schluß, daß die Erscheinung nicht an das Leben der Epidermiszellen gebunden sei. Samen die tagelang in Alkohol gelegen hatten, zeigten beim Befeuchten mit Wasser noch die Erscheinung. Correns schließt sich der Meinung Köhnes an, daß die Erscheinung rein physikalischer Natur und nur ein einfacher Quellungs Vorgang sei. Die Umstülpung nach Befeuchten mit Wasser wird nach Correns durch die Quellung der Substanz in den Epidermiszellen verursacht, während die Quellung der Haare, besonders der Füllmasse, überdies zum Eintritt des Prozesses beitrage. Als Correns die Haare durchschnitt, hörte die Umstülpung plötzlich auf. Dieser Versuch beweist nach seiner Auffassung deutlich, daß die treibende Kraft der Umstülpung nicht in den Haaren selbst, sondern in dem Inhalt der Epidermiszellen ihren Sitz habe.

Bemerkenswert ist noch die Erklärung, die Correns von der Ansammlung der Körnchen in der Spitze des Haares gibt. Nach ihm wandelt die quellbare Substanz in den Epidermiszellen sich schließlich in lösliche um und passiert an der Spitze die Membran. Der innere Druck in den Haaren nimmt demzufolge ab, was die Zusammenziehung der Haare veranlaßt.

Schließlich erschien im Jahre 1893 noch eine interessante Arbeit von Grütter¹⁾ über die Schleimhaare der Lythraceen. Dieser beschreibt von mehreren Geschlechtern den Bau der Epidermiszellen. Was *Cuphea* betrifft, so kommt er der Hauptsache nach zu denselben Resultaten wie Correns. Er hält es aber für fraglich, ob bei den

1) W. Grütter, Über den Bau und die Entwicklung der Samenschalen einiger Lythraceen. Bot. Ztg. 1893, 51. Jahrg., 1. Abt., pag. 1.

Epidermiszellen und Haaren eine Korklamelle anwesend sei. Was die Ausstülpung der Haare betrifft, welche er besonders bei *Lythrum* und *Cuphea* studiert hat, so kommt auch er zu ungefähr denselben Folgerungen wie Correns. Grütter legt aber etwas mehr Gewicht auf die Wirkung der Füllmasse des Haares, deren Quellung nach ihm die einzige und alleinige Ursache des Reißens der Außenwand ist. Danach erst beginne die Wirksamkeit der Substanz, welche das Zellumen ausfüllt. Auch macht er auf die rotierende Bewegung der aus dem Haare hervortretenden Füllmasse aufmerksam. Die Verlängerung hat nach seiner Auffassung ihre Ursache in der Umstülpung und der darauf folgenden Streckung, welche veranlaßt, daß das umgestülpte Haar noch acht- bis zehnmal länger wird. Nach Grütter hat die Erscheinung bei *Lythrum* viel Ähnlichkeit mit der von *Cuphea*, ist aber einfacher. Die Haare zeigen dort keine schraubenförmige Windung und im Zusammenhang damit findet keine Streckung statt.

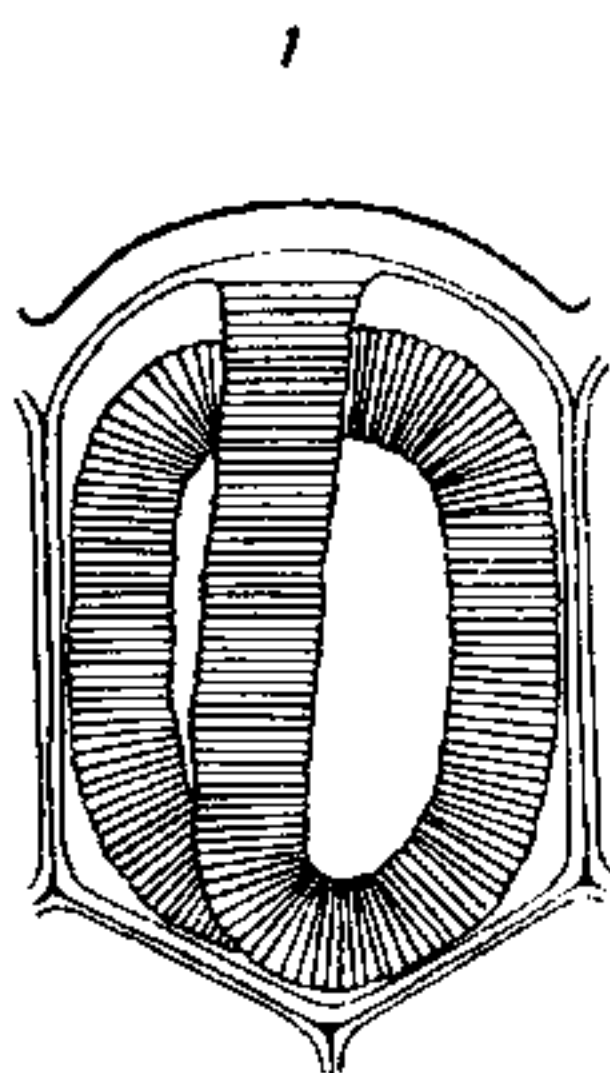
Bei *Cuphea* und *Lythrum* hat Grütter auch die Entwicklung der Schleimhaare studiert. Dieses Studium veranlaßt ihn, auf die Verschleimung der Füllmasse in den Haaren aufmerksam zu machen. Ohne diese Verschleimung würden die Haare nicht aus den Epidermiszellen hervortreten können. Wie Köhne und Correns ist auch Grütter der Meinung, daß die Umstülpung der Haare nichts anderes sei als eine Quellungserscheinung von totem, organischem Stoff und kein Lebensprozeß, was nach Grütter nicht nur aus der Tatsache hervorgeht, daß die Haare in siedendem Wasser austreten, sondern auch aus der Abwesenheit von Protoplasma in den Epidermiszellen. Schließlich erwähnt Grütter noch, daß nach längerem Verweilen der Samen in Alkohol nach Befeuchten mit Wasser und selbst in siedendem Wasser die Umstülpung der Haare nicht mehr stattfindet. Grütter wagt sich, wie er selbst sagt, nicht an den Versuch einer Erklärung dieser Tatsache.

Das Interessanteste beim Studium der Samenepidermis der *Lythraceen* ist gewiß die Beantwortung der Frage, auf welche Weise die Umstülpung der Haare verursacht wird. Wie oben erwähnt, sind die drei Forscher, die versucht haben, diese Frage zu lösen, darin einig, daß nach ihrer Ansicht die Umstülpung nicht von dem Leben der Epidermiszellen abhängt und nichts anderes als ein Quellungs Vorgang sei. Als ich selbst die merkwürdige Erscheinung zum ersten Male bei *Cuphea lanceolata* beobachtete, kam bald der Gedanke bei mir auf, daß sie eine osmotische Erscheinung wäre, die, wie andere in der Natur beobachtete Prozesse, vom Leben abhängig sei. Als ich die Literatur über die Samen der *Lythraceen* nachschlug und sah, daß andere Forscher

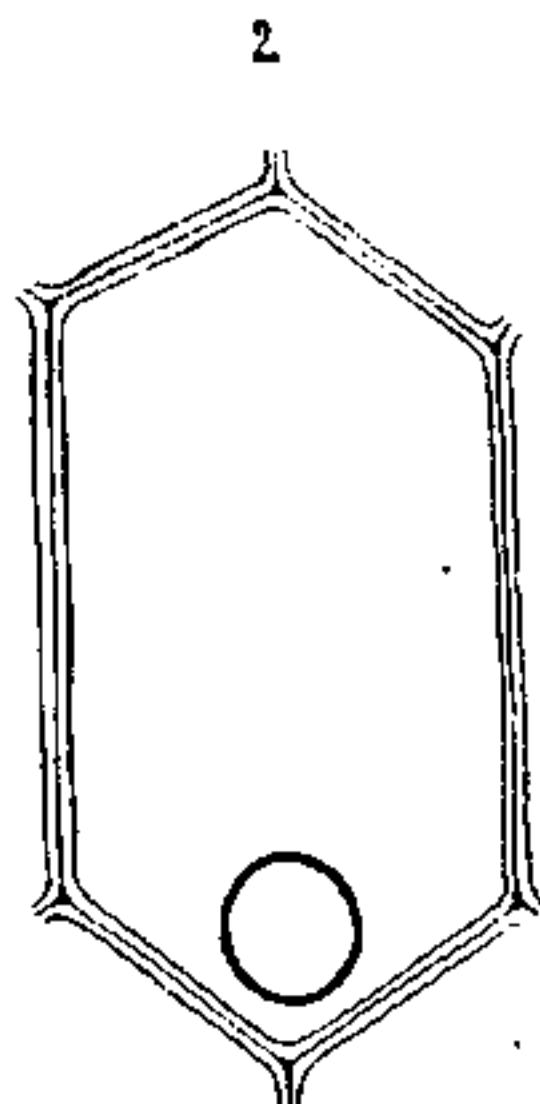
zu einer ganz anderen Ansicht gekommen waren, und dabei entdeckte, daß für mehrere Beobachtungen, die auf die Erscheinung Beziehung hatten, bisher noch keine befriedigende Erklärung gefunden worden war, wie z. B. für die Wirkung des Alkohols auf die Epidermiszellen, erwachte bei mir die Lust, die Erscheinung näher zu studieren. In dieser Publikation habe ich mich auf die Behandlung der von mir bei *Cuphea lanceolata* angestellten Versuche beschränkt.

Der Bau der Epidermiszellen der Samen von *Cuphea lanceolata*.

Bei *Cuphea lanceolata* besteht die Epidermis des Samens aus einer Schicht von großen aneinander anschließenden Zellen (Fig. 1 und 2). Ihre Außenwand hat die Form eines Vieleckes. Sie ist ein wenig gewölbt; die konvexe Seite ist nach außen gewendet. Die Oberfläche des Samens scheint in eine Anzahl Vielecke, meist Sechsecke, geteilt zu



Epidermiszelle im Durchschnitt.



Epidermiszelle von der Oberfläche aus gesehen.

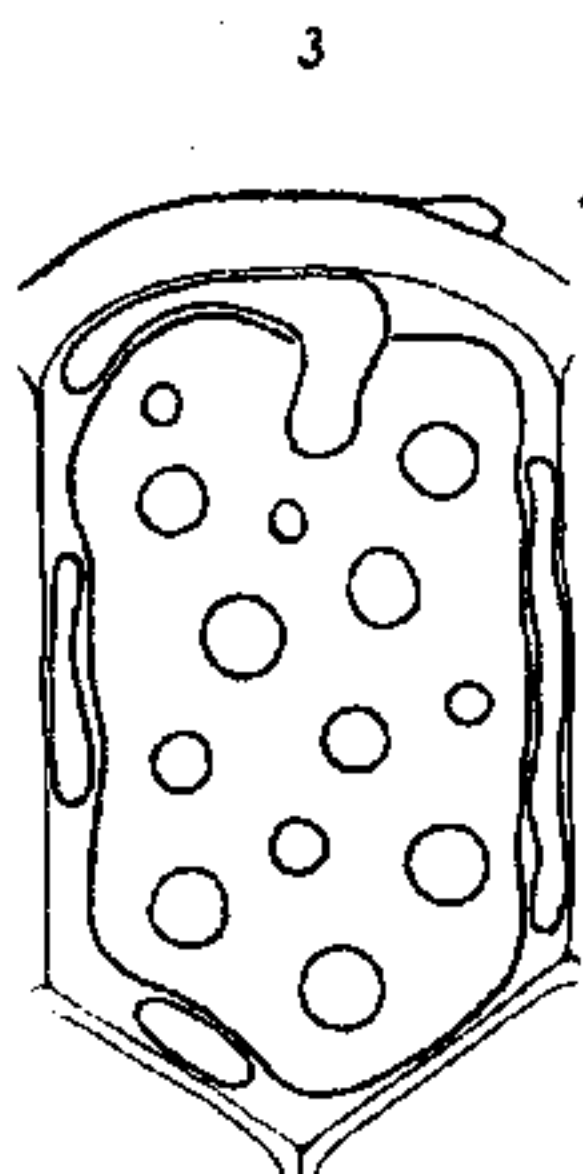
sein. Bei sieben Zellen bestimmte ich die Dimensionen und fand im Durchschnitt für die Länge $44\ \mu$, für die Breite $25\ \mu$ und für die Höhe $48\ \mu$. Die Außenwand ist etwas dicker als die anderen Wände. An der Innenseite der Außenwand, oft in eine der Ecken, ist ein sehr langes fadenförmiges Anhängsel befestigt, das man mit Recht ein inneres Haar nennen kann. Das fadenförmige Anhängsel ist stark gewunden und füllt einen bedeutenden Teil des Zellumens aus. Es hat die Form einer Schraube mit kurzen Windungen. Die Außenwand ist mit einer Cuticula bedeckt, die man mit verschiedenen Reagenzien, wie Jodjodkaliumlösung und Schwefelsäure, Kaliumchlorat und Salpetersäure, Chromsäure und Kalilauge, anweisen kann. Durch Jodjodkaliumlösung

und Schwefelsäure von $66\frac{1}{2}\%$ wird sie gelb gefärbt, während die darunterliegende zellulosehaltige Zellwandschicht blau gefärbt wird. Nach anhaltendem Erwärmen mit Kaliumchlorat und Salpetersäure schmilzt sie zu Kugeln zusammen. Der Chromsäure leistet sie Widerstand und dasselbe gilt für siedend heiße 50%ige Kalilauge. Die zellulosehaltige Schicht geht allmählich in die Füllmasse des Haares über, das an der Innenseite der Außenwand fest sitzt. Bemerkenswert ist die große Übereinstimmung, welche die Wand der Epidermiszellen mit der Korkzellwand, den Wänden der Endodermiszellen und mit den Wänden von ätherisches Öl enthaltenden Zellen zeigt, kurz mit verkorkten Zellwänden oder, genauer gesagt, mit Wänden, die eine Korklamelle (Suberinlamelle) enthalten.

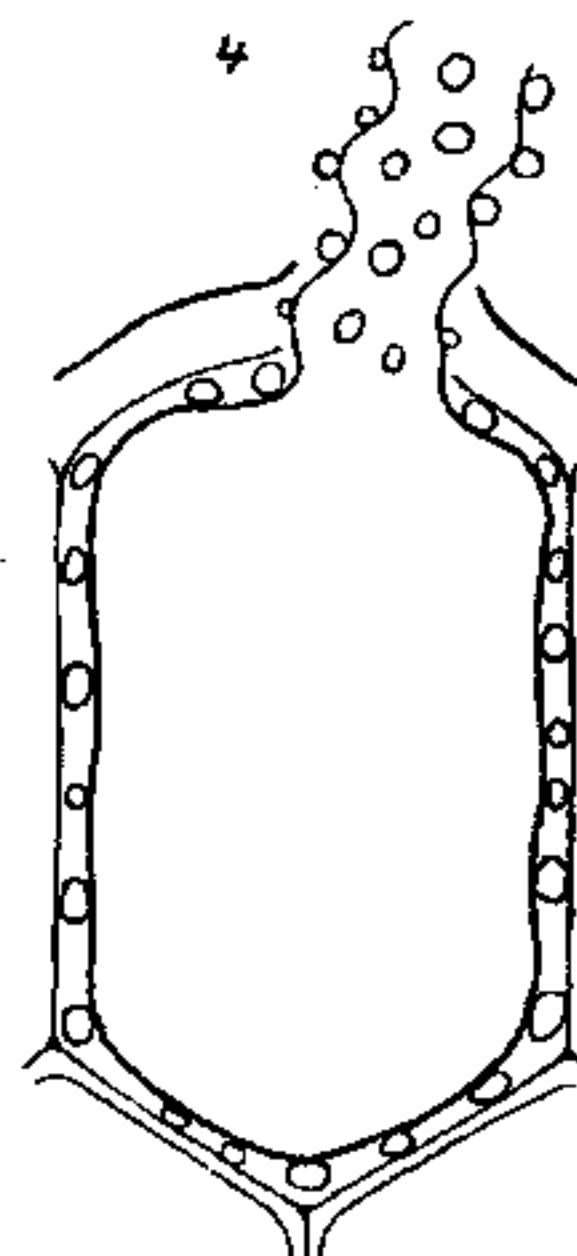
Wie bei der Korkzellwand kann man bei den Epidermiszellen des Samens von *Cuphea* eine verholzte Wand (Mittellamelle), Korklamelle (Suberinlamelle) und eine zellulosehaltige Schicht (Zelluloseschlauch) unterscheiden. Die verholzte Lamelle ist dünn; sie umgibt die ganze Zelle. In der Außenwand grenzt sie an die obengenannte zellulosehaltige Schicht und bei der Innenwand an die zellulosehaltigen Wände der subepidermalen Zellen. Zwischen den Epidermiszellen entspricht sie vollkommen der verholzten Mittellamelle der Korkzellen. Daß die Lamelle verholzt ist, schließe ich daraus, daß sie durch Phlorogluzin und Salzsäure rot gefärbt wird und daß sie dem Erwärmen mit 50%iger Kalilauge Widerstand leistet. Nach der Behandlung mit Kalilauge kann man sie mit Jodjodkaliumlösung und Schwefelsäure als gelb gefärbte Zellwandschicht nachweisen. Die vorhergehende Erwärmung mit Kalilauge dient dazu, sie von einer Korklamelle, welche dadurch verseift wird, zu unterscheiden. Wenn man aus der Mittellamelle den Holzstoff entfernt hat, z. B. mittelst verdünnter Chromsäure, so wird sie durch Jod und Schwefelsäure blau gefärbt, was beweist, daß sie auch Zellulose enthält.

Innerhalb der verholzten Wand befindet sich die Korklamelle welche ebenfalls sehr dünn ist. Dieselbe ist von Correns durch Anwendung von Jodreagenzien, Kalilauge, Schwefelsäure und Farbstoffen nachgewiesen. Das Vorkommen einer Korklamelle habe ich bestätigen können, aber bei ihrer Nachweisung habe ich vorzugsweise die drei schon von von Höhnel empfohlenen Reagenzien benutzt, die ich noch immer als die sichersten und meist spezifischen betrachte, um Verkorkung oder Kutikularisierung nachzuweisen, nämlich Kaliumchlorat und Salpetersäure, Chromsäure und Kalilauge. Beim Erwärmen mit Kaliumchlorat und Salpetersäure schmilzt die dünne Korklamelle der Epidermis-

zellen der Cuphea-Samen zu Kugeln zusammen (Fig. 3); der Chromsäure leistet sie Widerstand, während übrigens mit Ausnahme der Cuticula die ganze Epidermis aufgelöst wird; durch Erwärmen mit 50%iger Kalilauge erleidet die Korklamelle eine Zersetzung, eine Verseifung; die Verseifungsprodukte, die zahlreiche kugelförmige Massen bilden (Fig. 4), sind in Wasser löslich; wenn man die Präparate mit Wasser auswäscht und mit verschiedenen Reagenzien untersucht, zeigt es sich, daß die Korklamelle aus der Wand verschwunden ist. Wenn man Durchschnitte auf mehr als 300° in Glyzerin erhitzt, so erleidet die Korklamelle eine Zersetzung und geht aus der Untersuchung mit den obengenannten Reagenzien hervor, daß sie während der Erhitzung aus der Zellwand verschwindet.



Epidermiszelle nach Erhitzung mit Kaliumchlorat und Salpetersäure.

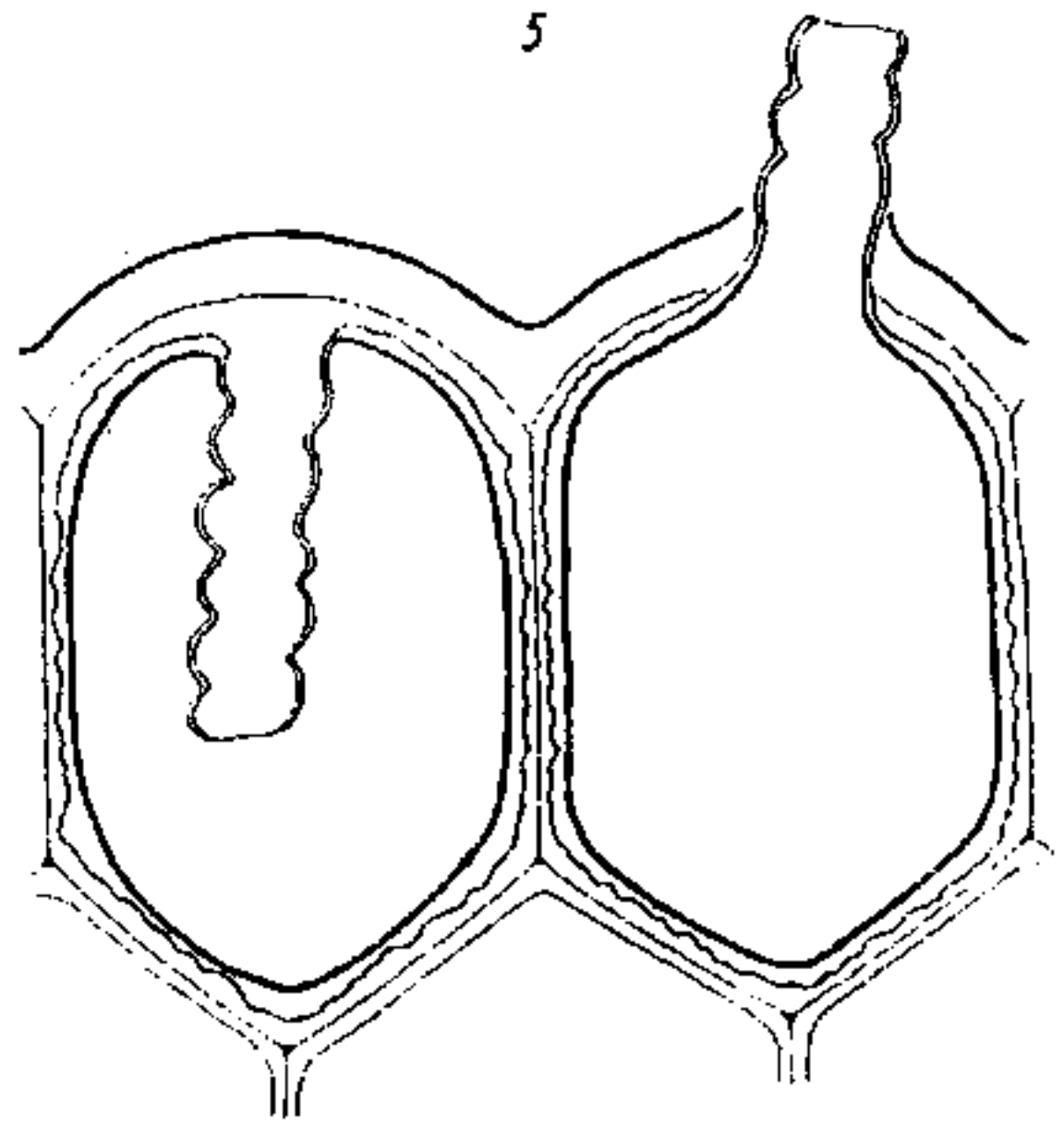


Epidermiszelle nach Erwärmung mit 50%iger Kalilauge.

Innerhalb der Korklamelle befindet sich noch eine dünne Zellwandschicht, in welcher ich sehr deutlich Zellulose nachweisen konnte. Nach Erwärmen in 50%iger Kalilauge oder nach Erhitzen auf mehr als 300° in Glyzerin kann man die losgelöste innere zellulosehaltige Schicht der Zellwand deutlich unterscheiden. Nach Lösung der Verseifungsprodukte in Wasser oder Auswaschen des Glyzerins kann man durch Blaufärbung mit Jod und Schwefelsäure (66 $\frac{1}{2}$ %) nachweisen, daß jene Zellulose enthält. Auch kann man die innere zellulosehaltige Schicht nach einer kurzen Mazeration in verdünnter Chromsäurelösung (Fig. 5) oder nach kurzem Erwärmen mit Kaliumchlorat und Salpetersäure deutlich beobachten. In beiden Fällen bekommt die Korklamelle

Falten und trennen sich die drei Schichten, aus welchen die Zellwand zusammengesetzt ist, voneinander. Die losgelöste innere Schicht und die Mittellamelle färben sich mit Jodjodkaliumlösung und 66 $\frac{1}{2}$ %iger Schwefelsäure blau, während die gefaltete Korklamelle sich gelb färbt. Von früheren Forschern ist die zellulosehaltige innere Schicht nicht erwähnt worden.

Wie schon oben erwähnt, kann man bei dem Haar, das auf der Innenseite der Außenwand fest sitzt, eine Hautschicht und eine Füllmasse unterscheiden. Die Hautschicht zeigt eine spirale Windung und ist stark zusammengefaltet. Im Zusammenhang hiermit hat die Füllmasse, wie das Haar, die Form einer Schraube. Bei der Hautschicht habe ich nach einer kurzen Mazeration in Chromsäurelösung mit Jod und Schwefelsäure (66 $\frac{1}{2}$ %) sowohl die Korklamelle wie die zellulosehaltige Schicht unterscheiden können, welche dann gelb resp. blau gefärbt sind. Besonders nach Erwärmen in 50%iger Kalilauge und Auswaschen mit Wasser, wodurch die Korklamelle verseift wird und die Verseifungsprodukte gelöst werden, wird das Haar durch Jod und Schwefelsäure deutlich blau gefärbt, was auf Rechnung der zellulose-



Epidermiszellen nach kurzer Mazeration in verdünnter Chromsäurelösung.

haltigen Schicht zu stellen ist. Auch kann man nach Zersetzung der Korklamelle durch Erhitzen auf mehr als 300° in Glyzerin die zellulosehaltige Schicht mit Jod und Schwefelsäure nachweisen. Es empfiehlt sich nach dem Erhitzen in Glyzerin die Präparate kurze Zeit mit verdünnter Chromsäure zu behandeln, um Zersetzungsprodukte und Zellinhalt zu entfernen. Die Blaufärbung der Haare kann man dann leichter beobachten. Die Verseifung der Korklamelle durch 50%ige Kalilauge verursacht auf den Haaren die Entstehung zahlreicher, in Wasser löslicher Ballen und Massen (Fig. 4).

Außer Kalilauge kann man auch Chromsäure und Kaliumchlorat und Salpetersäure benutzen, um die Korklamelle nachzuweisen. Der Chromsäure leistet sie bei der gewöhnlichen Temperatur Widerstand und Kaliumchlorat und Salpetersäure verursachen beim Erwärmen, daß

die Haare zu Kugeln zusammenschmelzen. Die Korklamelle und die zellulosehaltige Schicht gehen an der Stelle, wo das Haar fest sitzt, in die übereinstimmenden Teile der Zellwand über. Die Füllmasse des Haares, bei welcher ich keine Zellulose nachweisen konnte, ist oft mehr oder weniger verschleimt oder verflüssigt. Später komme ich noch auf die Füllmasse zurück.

Was die Korklamelle der Epidermiszellen der *Cuphea*-Samen betrifft, so bemerke ich noch, daß ich annehme, daß sie, wie die Korklamelle der Korkzellwand, zellulosefrei ist. Sonst würde sich, wenn man die Korksubstanz auf die eine oder andere der obenerwähnten Weisen aus der Zellwand entfernt, die zellulosehaltige Schicht nicht loslösen. Phellonsäure, jene eigentümliche Säure, welche allgemein in den echten Korkzellwänden vorkommt, habe ich in der Korklamelle der Epidermiszellen der *Cuphea*-Samen nicht finden können.

Die Epidermiszellen sind, sofern das innere Haar den Zellraum nicht in Anspruch nimmt, hauptsächlich mit in Wasser löslichem Stoff ausgefüllt. Der Inhalt einiger Epidermiszellen ist rot gefärbt. Daher kommt es, daß der Samen rot gesprenkelt ist. Einmal fand ich blaue Kristalle in einer Epidermiszelle. Nach dem Austreten der Haare in Wasser sind die Epidermiszellen und Haare mit einer wässerigen Flüssigkeit angefüllt, in welcher Körnchen schwimmen und welche bei einigen Epidermiszellen rot gefärbt ist. Bisweilen enthält sie einzelne kleine farblose Kristalle. Bei Präparaten, die in 20- oder 30%igem Spiritus gelegen haben, haben sich Kristallaggregate, meist in der Form von Sphärokristallen, abgeschieden (Fig. 6). Bringt man Präparate in konzentrierte Antipyrinlösung, so bildet sich in den Haaren ein Präzipitat von Kügelchen, die flüssig sind und sich zu größeren fettähnlichen Kugeln vereinigen (Fig. 7). Dazwischen findet man bisweilen auch Kristallaggregate, die mit den oben erwähnten völlig übereinstimmen.

Grütter hat behauptet, daß in den Epidermiszellen kein Protoplasma vorkommen sollte. Ich muß gestehen, daß ich ohne Reagenzien in den Epidermiszellen und Haaren keine Protoplasmaschicht unterscheiden konnte. Im Zusammenhang mit allen von mir erhaltenen Resultaten mußte ich aber wohl annehmen, daß eine dünne Plasmachicht anwesend war. Ich habe deswegen versucht, sie nachzuweisen. Durch Plasmolyse mit hyperisotonischen Lösungen gelang es mir nicht. Diese verursachten zwar Zusammenziehung der Haare, aber keine Plasmolyse. Brachte ich jedoch die Epidermis mit den Haaren in 50%ige Kalilauge, so zog das Protoplasmaschichtchen sich mehr oder weniger zusammen und bildete bisweilen einen einzigen Strang in der

Mitte des Haares (Fig. 8). Um hinsichtlich der Anwesenheit von Protoplasma in den Epidermiszellen noch mehr Gewißheit zu bekommen, habe ich die Raspailsche Reaktion auf Eiweißkörper mit konzentrierter Zuckerlösung und Schwefelsäure angewendet, welche Reaktion mir bei

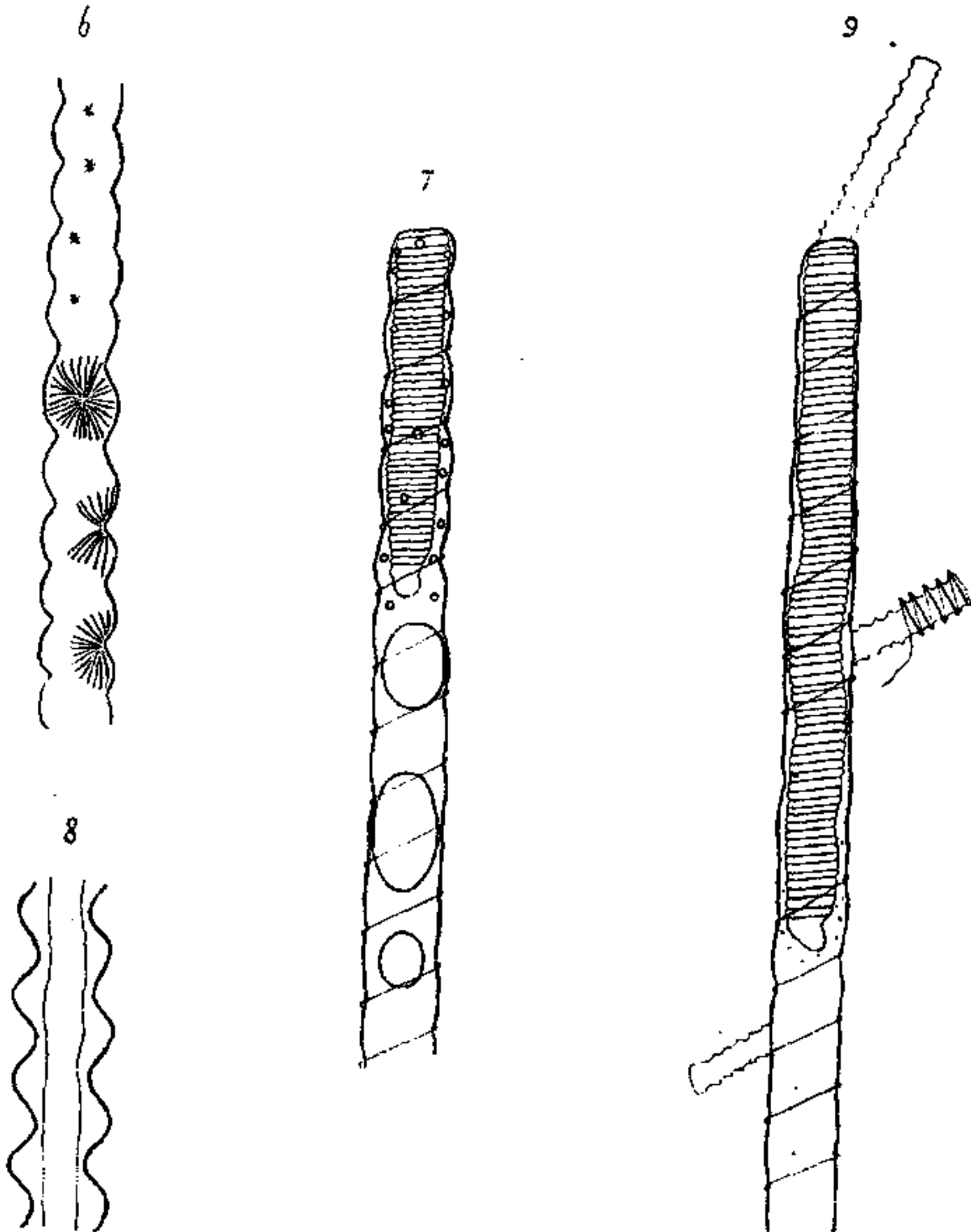


Fig. 6. Teil eines Haares mit Sphärrokristallen.

Fig. 7. Teil eines Haares mit Antipyrin-Präzipitat.

Fig. 8. Teil eines Haares mit zusammengezogener Plasmaschicht.

Fig. 9. Teil eines Haares, das sich umstülpt.

mikrochemischer Untersuchung bessere Resultate lieferte als die anderen Reaktionen auf Eiweißkörper, namentlich wenn ich etwas verdünnte Schwefelsäure, von $85\frac{1}{2}\%$, benutzte¹⁾. Der Inhalt der Epidermiszellen

1) C. van Wisselingh, On intravital precipitates, *Recueil des Travaux botaniques Néerlandais* 1914, Vol. XI, Livr. 1, pag. 21.

und Haare wurde rot gefärbt, der Farbe entsprechend, welche Protoplasten annehmen. Wusch ich die mit 50%iger Kalilauge behandelten Präparate mit Wasser aus, brachte sie darauf in konzentrierte Zuckerlösung und ließ schließlich Schwefelsäure von 85½% hinzufließen, so zeigte die zusammengezogene Protoplasmaschicht eine ähnliche Rotfärbung. Auf Grund dieser Beobachtungen und im Zusammenhang mit allen anderen Resultaten nehme ich an, daß die Wand der Epidermiszellen und Haare an der Innenseite mit einem Plasmaschichtchen bedeckt ist.

Die Umstülpung der Haare.

Wenn man die Samen von *Cuphea lanceolata* oder besser noch die Durchschnitte der Samenschale in Wasser bringt, so kann man nach einiger Zeit, nach einer Stunde oder früher, das Austreten der Haare aus den Epidermiszellen beobachten. Die Durchschnitte müssen eine derartige Dicke haben, daß unverletzte Epidermiszellen in denselben vorhanden sind. Das Austreten eines Haares ist mit dem Durchbohren oder Durchbrechen der Außenwand an der Stelle, wo das Haar fest sitzt, verbunden (Fig. 4 und 5). Die zellulosehaltige Schicht mit der Cuticula zerreißt und ein Stückchen des Haares springt plötzlich mit einem Ruck hervor. Die Korklamelle und die innere zellulosehaltige Lamelle, die bei dem Haar die Hautschicht bilden, bleiben intakt. Ein kleiner Teil dieser Hautschicht hat sich dann an der Stelle, wo das Haar fest sitzt, umgestülpt. Dabei ist das Innere nach außen gewendet worden, auf dieselbe Weise wie bei einem Finger eines Handschuhs das Innere nach außen gewendet werden kann. Die Füllmasse, die das Innere des Haares ausfüllt, tritt in der Form einer schraubenförmigen Masse hervor (Fig. 9).

Wenn die Erscheinung auf die obenerwähnte Weise angefangen hat, sieht man, daß das Haar allmählich länger wird. Bei aufmerksamer Beobachtung kann man feststellen, daß die Verlängerung nicht eine vollkommen gleichmäßige Bewegung ist. In dem einen Augenblick ist die Geschwindigkeit größer als in dem anderen und es gibt sogar Augenblicke des Stillstandes. Die Verlängerung des Haares ist bei *Cuphea* zweifacher Art. Zum Teil ist sie eine Folge der Umstülpung der Hautschicht, anderenteils eine Folge der bedeutenden Streckung, welche die Hautschicht direkt nach der Umstülpung erfährt. Die Hautschicht ist vor der Umstülpung spiralig gefaltet und nach der Umstülpung derart gestreckt, daß der spiralige Bau nicht mehr oder kaum wahrnehmbar ist (Fig. 9). Bisweilen kommt es jedoch vor, daß ein

Stück eines Haares noch deutlich die spiralige Wendung zeigt (Fig. 10). Nach vorgenommenen Messungen erreichen bei *Cuphea lanceolata* die Haare eine Länge, die das Fünf- bis Sechsfache der Länge der noch nicht umgestülpten Haare beträgt. Während die Hautschicht des Haares sich umstülpt, läßt die Füllmasse die Korklamelle los und kommt in der Form einer schraubenförmigen Masse nach außen (Fig. 9). Manchmal bleibt beim Austreten die Füllmasse intakt (Fig. 11), meist aber reißt das Schraubengewinde ab, das in Form einer weiten Spirale (Fig. 7 und 9) um das umgestülpte Haar herumsitzen bleibt. Durch Rutheniumrot und Methylviolett wird die Füllmasse intensiv gefärbt. Das Schraubengewinde ist dann um das Haar herum leicht wahrnehmbar. Beim Austreten macht die Füllmasse rund um die Spitze des Haares eine rotierende Bewegung. Diese hängt mit dem spiraligen Bau zusammen. Sie ist ebensowenig, wie die Verlängerung des Haares, eine vollkommen gleichmäßige. Manchmal gibt es Augenblicke des Stillstandes. Dann und wann bricht die Füllmasse ab, die gewöhnlich in Form von schraubenförmigen Stücken an unbestimmten Stellen an dem Haar hängen bleibt (Fig. 9). Nicht immer sieht man Füllmasse hervortreten. Die Füllmasse ist oft mehr oder weniger verschleimt oder zerflossen, und dann beobachtet man keine schraubenförmigen rotierenden Stücke rund um die Spitze des Haares. Die schleimige Beschaffenheit der Füllmasse erteilt den Haaren eine schleimige Oberfläche. Deswegen hat man sie auch Schleimhaare genannt. An verschiedenen Körperchen, wie Erdklumpchen und Sandkörnern, heften sie sich an.

Wie ich schon oben erwähnt habe, ist die Verlängerung der Haare keine vollkommen gleichmäßige Bewegung und findet stoßweise statt. Überdies ist die mittlere Geschwindigkeit während der ganzen Umstülpung, d. h. die Längenzunahme während einer gewissen Zeitdauer, z. B. während einer Minute, verschieden. Oft habe ich feststellen können, daß die Geschwindigkeit per Minute zunimmt. Die Umstülpung der Spitze des Haares geht sehr schnell, wie mit einem Ruck vor sich. Unten folgen einige Angaben, welche sich auf die bei

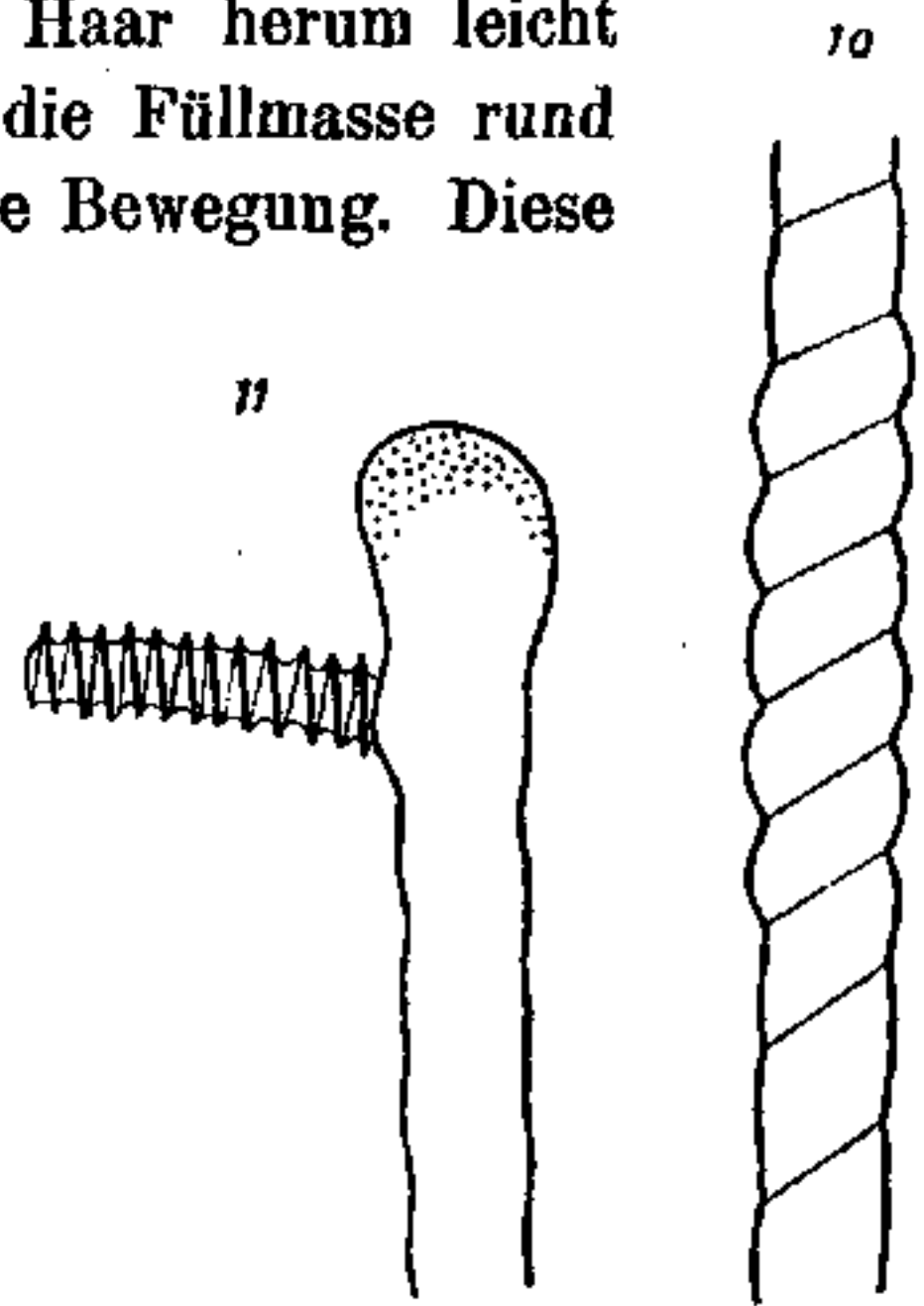


Fig. 10. Teil eines Haares, das nach der Umstülpung noch deutlich spiralige Wendung zeigt.

Fig. 11. Umgestülpte Spitze eines Haares.

vier Haaren von mir bestimmte Geschwindigkeit beziehen. Die Längenzunahme ist in μ per Minute angegeben. Ein Strich bedeutet eine kurze Unterbrechung der Beobachtungen, welche wegen notwendiger Verlegung des Präparates unumgänglich war.

1. Versuch (Länge des Haares beim Anfang des Versuches 80μ):

32, 24, 32, 28, 36, 48, 56, 64, 72, 76, 80, 84, 108, 116, 120, 140, 140, schließlich Umstülpung der Spitze.

2. Versuch (Länge des Haares beim Anfang des Versuches 200μ):

28, 32, 32, 32, 28, 16, 8, 20, 40, 40, 44, 72, 80, 100, 100, 128, schließlich Umstülpung der Spitze.

3. Versuch:

20, 20, 20, 20, 20, 20, 20, 16, 20, 24, 20, 16——16, 24, 32, 24, 32, 28, 20, 24, 32, 28——28, 44, 28, 36, 40, 28, 40, 44, 36, 48——60, 72, 64, 56, 56, 68, 52, 48, 56, 60, 52, 64, schließlich Umstülpung der Spitze.

4. Versuch:

6, 4, 4, 6, 8, 8, 8, 10, 8, 8, 8, 10, 8, 10, 14, 10, 6, 12, 6, 10, 10, 2, 2, 0, 2, 4, 6, 2, 6, 2, 2, 6, 4, 2, 0, 0, 0, 0, 2, 2, 0, 0, 2, 4, 2, 1, 1, 0, 2, 4, 2, 8, 6, 6, 2, 0, 0, 8, 4, 8, 6, 6, 8, 8, 8, 8, 14, 12, 11——4, 8, 14, 8, 12, 14——20, 24, 24, 20, 32——16, 24, 24, 28, 28, 28, 24, 28, 32, 32, 28, 20——20, 20, 16, 24, 20, 32, 32, 52——64, 68, 64, 72, 48, 44——44, 44, 32, 32, 12, 64, 60, schließlich Umstülpung der Spitze.

Die Spitzen der ganz umgestülpten Haare sind keulenförmig angeschwollen (Fig. 11). Von der Spitze nach der Basis nimmt die Dicke der Haare allmählich zu. Die Dicke beträgt im Durchschnitt unterhalb der keulenförmigen Spitze $7\frac{1}{2} \mu$ und bei der Basis $9\frac{1}{2} \mu$. Die Länge der ganz ausgestülpten Haare ist sehr bedeutend. Die Länge von zwölf von mir gemessenen Haaren wechselte von 1160 bis 2400 μ .

Während der Umstülpung bewegen sich Körnchen, welche sich im Zellsaft befinden, nach der Spitze des Haares zu und werden mit dem Teil, der sich noch umstülpfen muß, mitgeführt. Sie sammeln sich in der Spitze an. Wenn die Umstülpung beendet ist, sind sie dort in großer Zahl vereinigt.

Nach der Umstülpung konnte ich oft feststellen, daß die Haare sich noch etwas streckten. Es dauert aber nicht lange, bis die Haare sich wieder verkürzen. Diese Verkürzung geht sehr langsam vor sich. Allmählich wird der spiralige Bau der Haare wieder deutlicher wahrnehmbar. Beobachtet man nach einem Tage die langen, fast geraden, gestreckten Haare wieder, so sieht man, daß sie stark zusammengezogen und gebogen sind.

Für das Austreten der Haare aus den Epidermiszellen ist es nicht bestimmt nötig, daß die Samen oder die Durchschnitte der Samen sich in Wasser befinden. Auch in feuchter Luft tritt die Erscheinung

auf, aber die Umstülpung geht nicht so schnell vor sich wie im Wasser, was aus einigen Beobachtungen bei Haaren aus demselben Samen hervorgeht. Die untenstehenden Angaben beziehen sich auf diese Beobachtungen. Die Zahlen geben die Längenzunahme der Haare per Minute in μ an. Die Striche bedeuten kurze notwendige Unterbrechungen in den Beobachtungen.

1. **Versuch:** Haar in feuchter Luft, Länge beim Anfang des Versuches 120 μ :
45, 75, 60, 60, 75, 60, 90, 90——75, 55, 65, 105, 90——90, 120.
2. **Versuch:** Haar in feuchter Luft, Länge beim Anfang des Versuches 150 μ :
83, 60, 45, 53, 53, 38, 38, 45, 23——23, 19, 27, 27, 27, 53, 68, 23, 19,
34, 53, 38, 38, 23, 23, 30, 53, 90, 60. 30, 30.
3. **Versuch:** Haar im Wasser, Länge beim Anfang des Versuches 150 μ :
135, 195, 263.
4. **Versuch:** Haar im Wasser, Länge beim Anfang des Versuches 150 μ :
128, 195, 263, 285, 360.

Wenn man die Haare in feuchter Luft austreten läßt, kann man leicht feststellen, daß der Same und die Haare mit einer feuchten, schleimigen Substanz bedeckt sind.

An dieser Stelle will ich noch etwas über das Verhalten der durchgeschnittenen Haare im Wasser einschalten. Bringt man einen trockenen Durchschnitt eines Samens in Wasser, so kommen nach einiger Zeit aus den angeschnittenen Zellen Stücke der Haare hervor. Diese Stücke (Fig. 12) strecken sich, ohne daß sie sich umstülpen, bedeutend, aber durchaus nicht in solchem Grade, wie die Haare, welche aus unverletzten Zellen hervorgehen. Der spiralige Bau bleibt deutlich wahrnehmbar. Wenn man ein unverletztes, auf normale Weise aus einer Epidermiszelle ausgetretenes und noch gestrecktes Haar durchschneidet, so ziehen die Teile sich sofort zusammen, so daß der spiralige Bau wieder sehr deutlich wahrnehmbar wird. Die spiralige Windung ist ungefähr so stark wie die bei den Stücken von Haaren aus angeschnittenen Zellen, wenn diese während einiger Zeit in Wasser gelegen haben.

Die obige Beschreibung der Umstülpung der Haare im Wasser bezieht sich auf den normalen Verlauf der Erscheinung. Es gibt aber auch Abweichungen. Es kann geschehen, daß die Umstülpung gestört wird und das noch

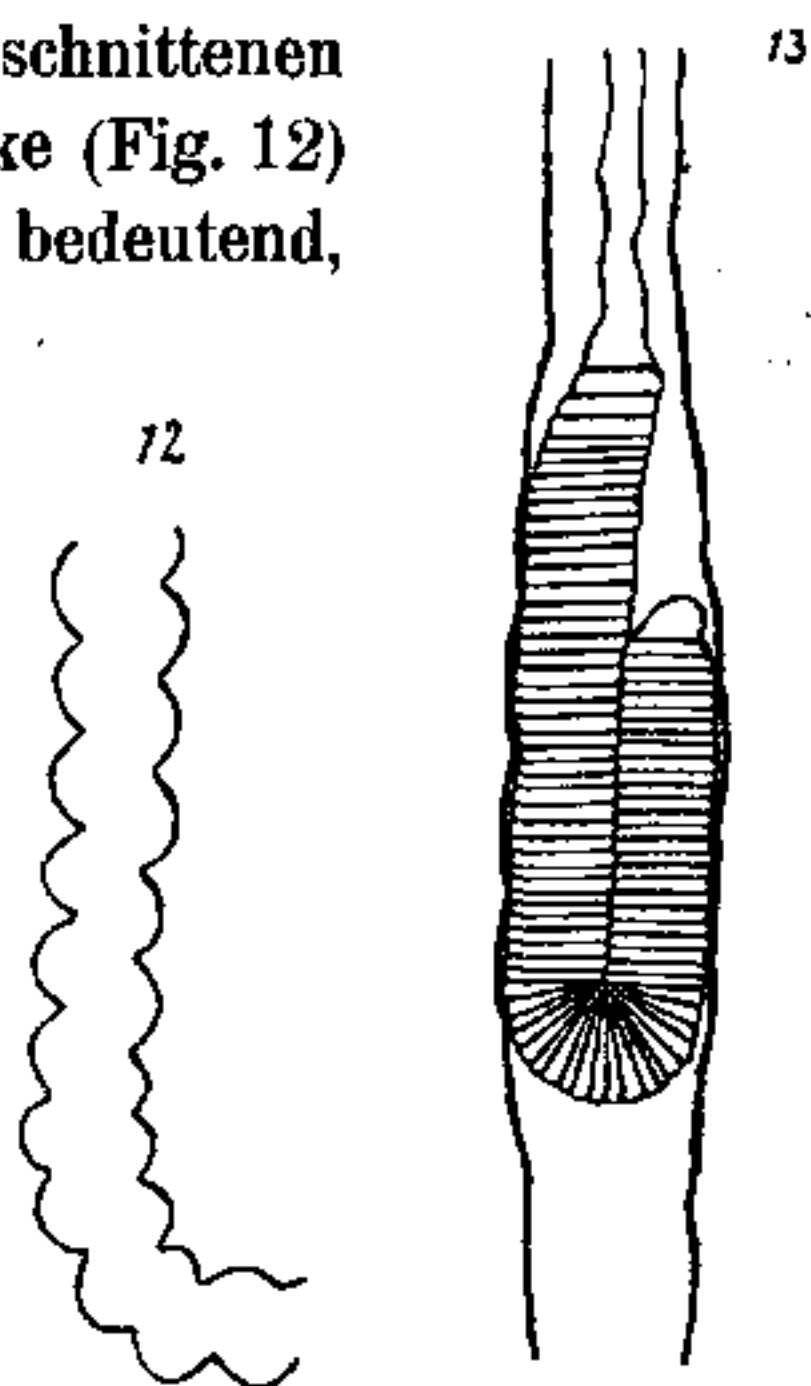


Fig. 12. Stück eines Haares aus einer angeschnittenen Zelle.
Fig. 13. Gestörte Umstülpung.

nicht umgestülpte Ende des Haares festsitzen bleibt. Dies hat zur Folge, daß der vordere Teil des noch nicht umgestülpten Haares ausgereckt wird und das Ende des Haares sich beugt. Kommt der noch nicht umgestülpte Teil wieder los, so stellt der normale Verlauf sich schnell wieder her. Die Störung ist bleibend, wenn das Ende des Haares umbogen ist und doppelt gefaltet in dem umgestülpten Teil, der nach der Spitze zu enger wird, dauernd festsitzen bleibt (Fig. 13).

Die Erklärung der Umstülpung.

Wie in der historischen Übersicht erwähnt ist, haben frühere Forscher verschiedene Gründe angeführt, um zu beweisen, daß das Austreten der Haare aus den Epidermiszellen nicht vom Leben abhängig sei. Auf Grund einer großen Anzahl Versuche bin ich zu der entgegengesetzten Meinung gekommen. Bevor ich diese darlege, will ich erst nachweisen, daß die von anderen Forschern angeführten Gründe, nach welchen das Leben keine Rolle bei der Erscheinung spiele, nicht beweisend sind.

Zuerst will ich die von Köhne gemachte Beobachtung besprechen, nach welcher das Austreten der Haare auch in siedendem Wasser stattfindet. Bei *Cuphea lanceolata* habe ich mich von der Richtigkeit dieser Beobachtung überzeugen können, aber meiner Meinung nach beweist sie nicht, daß das Protoplasma der Epidermiszellen schon getötet ist, sobald das Wasser, in welchem sich die Samen oder Durchschnitte befinden, siedet, was offenbar von Köhne angenommen wird. Beim Erwärmen bis auf die Siedetemperatur geht die Ausstülpung sehr schnell vor sich, und die Epidermiszellen brauchen dann nur noch sehr kurze Zeit zu leben, um die Erscheinung zu völliger Entwicklung kommen zu lassen. Es gibt viele Beispiele von Protoplasten, die einer Temperatur von 100° C und höher während längerer oder kürzerer Zeit Widerstand leisten können. Die Epidermiszellen der Samen von *Cuphea lanceolata* können dies ebenfalls, wie ich an einer anderen Stelle in dieser Publikation nachweisen werde. Werden sie jedoch so lange einer höheren Temperatur ausgesetzt, daß die Protoplasten absterben, so findet das Austreten der Haare im Wasser nicht mehr statt. Nur kommt es nach Befeuchten mit Wasser nach einiger Zeit manchmal vor, daß die Außenwand zerreißt und ein kleines Stückchen des Haares hervortritt, was durch Quellung verursacht wird. Weiter geht die Umstülpung aber nicht. Dazu müssen die Epidermiszellen lebend sein.

Nach Correns kann die Erscheinung nicht vom Leben abhängig sein, weil bei Samen, die tagelang in Alkohol gelegen haben, das Aus-

treten der Haare im Wasser ebensowohl stattfindet, wie bei nicht mit Alkohol behandelten Samen. Auf Grund von Versuchen über den Einfluß von Alkohol auf die Epidermiszellen, welche ich nachher beschreiben werde, nehme ich aber an, daß die Resistenz der Epidermiszellen gegen Alkohol bedeutend größer ist als Correns gemeint hat.

Grütter hat die Abwesenheit von Protoplasma in den Epidermiszellen als Argument gegen die Möglichkeit angeführt, daß das Austreten der Haare ein Lebensprozeß sein sollte. Mit Hilfe von Reagenzien habe ich aber nachgewiesen, daß die Wand der Epidermiszellen und Haare mit einem Plasmaschichtchen bedeckt ist.

Correns und Grütter meinen, daß in den Epidermiszellen ein Schleimstoff vorkommt, der durch Anschwellung im Wasser die Umstülpung der Haare verursacht. Ich selbst habe in den Haaren keinen Schleimstoff beobachten können. Der Inhalt der Epidermiszellen gibt mit Wasser eine Lösung, aus welcher man wie oben erwähnt, verschiedene Stoffe präzipitieren kann.

Jetzt werde ich die Resultate meiner Versuche erwähnen, die dartun, daß das Austreten der Haare eine Erscheinung ist, für welche Leben Bedingung ist. Zuerst will ich mitteilen, was ich bei der Einwirkung von Giften beobachtete. Stark wirkende Gifte, z. B. eine Jodjodkaliumlösung oder eine Lösung von Bromium oder Osmiumsäure verursachen, daß die Erscheinung sofort aufhört. Auch wenn man ziemlich verdünnte Lösungen benutzt, ist das der Fall. Studiert man die Einwirkung schwächerer Gifte auf die Epidermiszellen vor und während der Umstülpung der Haare, z. B. einer $\frac{1}{10}$ Normal-Sublimatlösung, so bemerkt man, daß die Erscheinung durch verdünnte Lösungen nicht zum Stillstand gebracht wird. Eine lange Einwirkung ist aber schädlich. Bringt man trockene Durchschnitte der Samen in eine $\frac{1}{10}$ Normal-Sublimatlösung, so wird das Austreten der Haare verhindert, oder man bemerkt, daß die Bewegung bedeutend langsamer ist als unter normalen Verhältnissen, und daß halbwegs Stillstand eintritt.

Nicht weniger als die Einwirkung von Giften beweist das Verhalten höheren Temperaturen gegenüber, daß das Austreten der Haare vom Leben abhängig ist. Wie oben erwähnt, schießen die Haare in siedendem Wasser mit großer Geschwindigkeit aus den Epidermiszellen hervor und vollzieht sich die Umstülpung schnell. Dies hat man als Beweis angeführt, daß das Austreten der Haare nicht mit dem Leben zusammenhänge. Ich bin aber zu dem Resultat gekommen, daß das Austreten darum auch in siedendem Wasser stattfindet, weil die Epi-

dermiszellen ziemlich hohe Temperaturen vertragen können. War aber vor der Überführung in Wasser die Temperatur hoch genug und blieb ihr Einfluß lange genug wirksam um die Epidermiszellen zu töten, dann kann man die Erscheinung, nämlich das Austreten der Haare oder die Verlängerung der schon ausgetretenen, nicht mehr beobachten.

Unten werde ich einige Versuche mitteilen, welche sich auf den Einfluß höherer Temperaturen beziehen. Trockene Samen, die während einer Stunde auf gut 120°C erwärmt worden waren, zeigten im Wasser nach einiger Zeit das Austreten der Haare auf vollkommen normale Weise. Werden die Samen aber in trockenem Zustand während einer Stunde auf gut 150°C erwärmt, so kommen nach langem Liegen oder Kochen im Wasser wohl aus einigen Epidermiszellen kleine Stückchen der Haare hervor, aber die eigentliche Erscheinung, d. h. die anhaltende Umstülpung und Verlängerung der Haare, kann man nicht beobachten.

Ich wünschte den Einfluß höherer Temperatur auch bei den Epidermiszellen in feuchtem Zustand zu studieren und nahm darum meine Zuflucht zu Lösungen von Saccharose. Wie oben erwähnt, stülpen die Haare sich beim Erwärmen im Wasser bald um und dies habe ich durch die Anwendung konzentrierter Zuckerlösungen verhindert.

Einen trockenen Samen brachte ich in 60%ige Zuckerlösung, kochte während fünf Minuten und brachte ihn darnach in Wasser. Nach einiger Zeit traten die Haare auf normale Weise aus den Epidermiszellen hervor. Einen anderen trockenen Samen behandelte ich auf dieselbe Weise mit 25%iger Zuckerlösung. Sehr viel Haare waren damals halbwegs ausgetreten, wurden aber in der Zuckerlösung nicht länger. Darnach kochte ich den Samen hintereinander nochmals während 5, 10 und 30 Minuten mit 25%iger Zuckerlösung. Die Haare stülpten sich aber nicht weiter um. Als ich jetzt den Samen in Wasser brachte, stülpten die Haare sich völlig um. Jodjodkaliumlösung brachte die Erscheinung sofort zum Stehen. Nach Erwärmen während einer halben Stunde auf 110°C in Zuckerlösung von 25 oder 60% konnte ich nach Überführung der Samen in Wasser völlige Umstülpung der Haare beobachten. Nach Erwärmen während einer Stunde auf 105°C in 25%iger Zuckerlösung konnte ich feststellen, daß viele halbwegs umgestülpte Haare im Wasser sich weiter umstülpten; dies ging aber sehr langsam vor sich und oft war die Umstülpung unvollkommen. Erhitzte ich Samen während $\frac{3}{4}$ Stunden in 25%iger Zuckerlösung auf 130°C oder während einer Stunde in 25- oder 60%iger Zuckerlösung auf 120°C , so konnte ich nach Überführung in Wasser keine Umstülpungen mehr bei den Haaren bemerken.

Die oben erwähnten Resultate kann man nur durch die Annahme erklären, daß das Austreten der Haare mit dem Leben der Epidermiszellen zusammenhängt und daß diese während einiger Zeit Temperaturen von 100° und etwas mehr Widerstand leisten können, ohne daß sie getötet werden. Werden sie noch höheren Temperaturen ausgesetzt, so wird das Leben ausgelöscht und kann die Erscheinung nicht mehr eintreten.

Interessant ist es, den Einfluß von Alkohol auf die Epidermiszellen zu studieren. Ich stellte erst einige Versuche an mit Spiritus von 10, 30, 50, 70 und 90 Volumenprozenten und mit absolutem Alkohol und darnach mit Spiritus von 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80 und 90 Vol.-Proz. und absolutem Alkohol. In schwachem Spiritus, z. B. von 10, 20 und 30 %, treten die Haare aus den Epidermiszellen und ist zuletzt die Umstülpung vollkommen. In stärkerem Alkohol, z. B. von 50 % und darüber findet keine Umstülpung statt, aber wenn die Einwirkung nicht zu lange gedauert hat, tritt nach Überführung der Samen oder Durchschnitte in Wasser die Erscheinung ein. Der Alkohol wirkt offenbar nachteilig. Sehr bemerkenswert ist hierbei noch, daß Spiritus von 70 und 80 % am meisten nachteilig ist, mehr als schwächerer und stärkerer Spiritus und viel schädlicher als absoluter Alkohol. Wenn die Samen oder Durchschnitte 12 oder 14 Tage in absolutem Alkohol gelegen haben, findet nach Überführung in Wasser die Umstülpung noch auf normale Weise statt. Wenn sie aber 2 oder 3 Tage in Spiritus von 70 % verweilt haben, tritt nach Überführung in Wasser die Erscheinung nicht mehr auf. Ehe die Erscheinung ganz ausbleibt, findet man Zustände, bei denen sie abgeschwächt ist, d. h. bei denen die Bewegung langsamer ist als unter normalen Verhältnissen.

Die oben erwähnten Resultate entsprechen den Resultaten, welche die Bakteriologen beim Studium der desinfizierenden Eigenschaften des Alkohols erzielt haben. Sie haben festgestellt, daß absoluter Alkohol in geringerem Maße Bakterien tötet als Spiritus von 70 %, bei welcher Konzentration die bakterientötende Wirkung das Maximum erreicht¹⁾.

Dieses Resultat hat mich nicht wenig in der Überzeugung bestärkt, daß das Austreten der Haare vom Leben abhängig ist. Wie erwähnt, konnte Grütter nicht erklären, warum Samen, die sehr lange in ab-

1) Beyer, Zeitschr. f. Hyg. u. Inf.-Krankh. 1911, Bd. LXX, pag. 225.

S. Tijmstra, Pourquoi l'action bactéricide de l'alcool est portée à son plus haut degré d'intensité par une concentration de 70 %. Folia microbiologica II, pag. 162. Referat, Pharm. Weekblad 1914, p. 1534.

solutem Alkohol gelegen hatten, nach Überführung in Wasser die Erscheinung nicht mehr zeigten. Darüber braucht man sich nicht mehr zu wundern, wenn man annimmt, daß die Erscheinung vom Leben abhängig ist und das Protoplasma der Epidermiszellen durch sehr lange Einwirkung von Alkohol getötet wird. Daß nach nicht zu langer Behandlung mit absolutem Alkohol die Erscheinung nach Überführung der Samen in Wasser noch auftritt, beweist nicht, wie Correns meint, daß die Umstülpung kein Lebensprozeß ist, sondern nur, daß es lange dauert, bis das Protoplasma getötet worden ist.

Während durch die obenerwähnten Untersuchungen festgestellt ist, daß das Austreten der Haare vom Leben abhängig ist, wird durch nachstehende Versuche die Natur der Erscheinung klargelegt. Aus einer großen Anzahl Versuchen mit Lösungen verschiedener Stoffe von verschiedener Konzentration, nämlich mit Lösungen von Saccharose, Salzen, organischen Säuren, Glyzerin, Alkohol, Ureum, Antipyrin, Tannin usw. und aus Versuchen bei verschiedenen Temperaturen, hat sich nämlich ergeben, daß das Phänomen der Hauptsache nach eine osmotische, mit dem Leben zusammenhängende Erscheinung ist, die wichtige Anknüpfungspunkte mit anderen osmotischen Erscheinungen darbietet, wie sie Hugo de Vries, was das Pflanzenreich betrifft, ausführlich beschrieben hat.

Zuerst untersuchte ich die austretenden Haare mit Saccharoselösungen verschiedener Konzentration. Ich brachte sukzessive die Durchschnitte der Samen in stärkere Lösungen. Bei den Beobachtungen beschränkte ich mich jedesmal auf ein Haar. Je nachdem die Konzentration stärker wird, werden die Bewegungen langsamer, bis die Konzentration so stark ist, daß alle Bewegungen und die Verlängerung des Haares aufhören. Mit Hilfe eines Okularmikrometers kann man diesen Punkt leicht feststellen. Überführung in eine Lösung stärkerer Konzentration hatte zur Folge, daß das Haar sich etwas zusammenzog. Wurde danach das Präparat in eine schwächere Lösung oder in Wasser gebracht, so trat die Erscheinung wieder auf.

Die Konzentrationen der Saccharoselösungen, welche ausreichen, um die Verlängerung der Haare zum Stillstand zu bringen, sind nicht nur bei verschiedenen Samen, sondern auch bei verschiedenen Haaren desselben Samens verschieden und während der Dauer des Prozesses auch bei einem und demselben Haar.

In ungefähr 25 Fällen habe ich bestimmt, welche Konzentrationen nötig waren, um die Bewegung zum Stillstand zu bringen. Die schwächste Lösung enthielt auf 100 g Wasser 14,6 g Zucker, die stärkste 36 g,

welche Konzentrationen 0,427 und 1,052 Mol Zucker auf 1 l Wasser entsprechen.

Mit Lösungen von Salzen und anderen Stoffen wurden ähnliche Resultate erzielt, aber von den Salzlösungen genügten schwächere Konzentrationen, um die Erscheinung zum Stillstand zu bringen. Dies gilt, wenn man die Menge der Substanz, die in einer bestimmten Menge Wasser aufgelöst worden ist, in Grammen angibt und auch, wenn man sie in Molen angibt. In 45 Fällen habe ich bestimmt, wie stark die benutzte Chlornatriumlösung war, welche ausreichte, um die Erscheinung zum Stillstand zu bringen. Die schwächste Chlornatriumlösung enthielt auf 100 g Wasser 1,469 g Chlornatrium, die stärkste 4,746 g, welche Konzentrationen 0,251 und 0,8 Mol Chlornatrium auf 1 l Wasser entsprechen. Die Untersuchung von 18 Haaren mit Kaliumnitratlösungen ergab 1,911 und 9,897 g Kaliumnitrat auf 100 g Wasser oder 0,188 und 0,942 Mol auf 1 l, und die Untersuchung von 9 Haaren mit Kaliumsulfatlösungen 4,1 und 9,6 g Kaliumsulfat auf 100 g Wasser oder 0,235 und 0,550 Mol Kaliumsulfat auf 1 l. Daß die Salzlösungen, deren Konzentrationen ausreichen, dem Phänomen Einhalt zu tun, also die Lösungen von Elektrolyten, weniger Mol gelöster Substanz enthalten als die Saccharoselösungen, die dazu imstande sind, stimmt mit der Ansicht, daß die Umstülpung der Haare eine osmotische Erscheinung ist, überein.

Stellt man Versuche mit Stoffen an, für welche das Protoplasma einigermaßen permeabel ist, z. B. mit Glyzerin, so kann man mit einer hyperisotonischen Lösung das Fortschreiten des Phänomens wohl verhindern und selbst geringe Zusammenziehung der Haare verursachen, aber nach einiger Zeit treten die Bewegungen der Haare wieder ein und verlängern diese sich wieder, obschon langsamer als im Wasser.

Wendet man Stoffe an, die das Protoplasma sehr leicht durchgehen läßt, z. B. Alkohol oder Ureum, so müssen die Durchschnitte direkt in sehr starke Lösungen gebracht werden, um die Erscheinung zum Stillstand zu bringen und Zusammenziehung der Haare zu verursachen. Nachstehend finden sich Angaben über die Verlängerung einiger Haare, die abwechselnd in Wasser und Spiritus verschiedener Stärke untersucht wurden. Die Verlängerung ist per Minute und in μ angegeben.

1. Versuch:

in Wasser: 68,

in Spiritus von 10 Vol.-Proz.: 46, 54, 88,

in Wasser: 136, 120, 148.

2. Versuch:

in Wasser: 24, 28.

in Spiritus von 20 Vol.-Proz.: 6, 2, 4, 8, 16, 16, 34, 40, 34, 44, 60, 72,

in Wasser: 140, 140, 140

in Spiritus von 20 Vol.-Proz.: 140, 140 } ungefähr.

3. Versuch:

in Wasser: 20, 28, 28,

in Spiritus von 30 Vol.-Proz.: 2, 2, 2, 4, 4, 6, 7, 1, 4, 0, 0, 0, 1, 1, 1, 1, 0,

in Spiritus von 20 Vol.-Proz.: 40, 48, 40, 56,

in Spiritus von 30 Vol.-Proz.: 20, 20, 28, 32, 28,

in Spiritus von 40 Vol.-Proz.: Zusammenziehung,

in Spiritus von 30 Vol.-Proz.: 8, 2, 6, 8.

4. Versuch:

in Spiritus von 10 Vol.-Proz.: 18, 26, 24,

in Spiritus von 20 Vol.-Proz.: 12, 24, 20, 14,

in Spiritus von 30 Vol.-Proz.: 8, 0, 2, 2, 0,

in Spiritus von 40 Vol.-Proz.: 0, 0, 0, 0,

in Spiritus von 50 Vol.-Proz.: Zusammenziehung.

5. Versuch:

in Wasser: 28, 28,

in Spiritus von 10 Vol.-Proz.: 8, 12, 12, 16,

in Spiritus von 20 Vol.-Proz.: 20, 12, 20,

in Spiritus von 30 Vol.-Proz.: 44, 40,

in Spiritus von 40 Vol.-Proz.: 0, 2, 0,

in Spiritus von 50 Vol.-Proz.: 0.

6. Versuch: Haar in Spiritus von 30 Vol.-Proz. ausgetreten:

in Spiritus von 30 Vol.-Proz.: 8, 12, 8, 8, 12, 4,

in Wasser: 148, 112, 120, 140, 160.

7. Versuch:

in Wasser: 36, 52,

in Spiritus von 30 Vol.-Proz.: 4, 16, 28, 60, 120, 100, 92, 120, 220.

8. Versuch:

in Spiritus von 30 Vol.-Proz.: 32, 56, 68,

in Spiritus von 40 Vol.-Proz.: 0, 4, 0,

in Spiritus von 50 Vol.-Proz.: Zusammenziehung.

9. Versuch:

in Spiritus von 30 Vol.-Proz.: 44, 40, 64, 92,

in Wasser: 260, 260 (ungefähr).

Aus obenstehenden Angaben geht hervor, daß Spiritus von 40 und 50 Vol.-Proz. die Erscheinung zum Stillstand bringt oder Zusammenziehung der Haare verursacht, während verdünnterer Spiritus die Bewegung verzögert. Die Schnelligkeit hält, wie aus den Angaben folgt, nicht immer mit der Konzentration gleichen Schritt. Man muß dabei aber beachten, daß im Wasser die Schnelligkeit manchmal auch Unregelmäßigkeiten zeigt, daß sie im allgemeinen genommen um so

größer wird, je weiter die Umstülpung fortschreitet. Als allgemeine Regel gilt, daß die Verzögerung um so bedeutender ist, je stärker die Konzentration ist.

Mit einer Ureumlösung, die 0,9 Mol Ureum auf 1 l der Lösung enthielt, konnte ich bei Haaren, bei welchen eine Chlornatriumlösung von 0,325 Mol Chlornatrium auf 1 l der Lösung Stillstand der Bewegungen und Zusammenziehung verursachte, die Erscheinung nicht zum Stehen bringen. Dies gelang wohl mit Lösungen, die 1, 1½ oder 2 Mol Ureum auf 1 l Lösung enthielten und mit stärkeren Lösungen, wenn die Durchschnitte aus Wasser direkt in die Ureumlösung übergeführt wurden. Aber bald, nämlich nach einer Minute oder einigen Minuten, wurden die Haare wieder länger und ging die Umstülpung wieder weiter. In einer sehr konzentrierten Ureumlösung, die 1 g Ureum auf 1 g Wasser enthielt, fand anfangs zwar starke Zusammenziehung der Haare statt, aber nach ¼ Stunde verlängerten diese sich wieder und nach einer Stunde schritt die Umstülpung wieder fort, bis die Haare sich ganz umgestülpt hatten, aber die Schnelligkeit war geringer als im Wasser.

Nachstehend erwähne ich die Verlängerung per Minute in μ von zwei Haaren desselben Samens in einer Ureumlösung von 1 g Ureum auf 1 g Wasser und zum Vergleich auch von zwei Haaren desselben Samens im Wasser.

1. Versuch: in Ureumlösung:

12, 16, 16, 16, 16, 16, 20, 16, 20, 20, 12, 24, 16, 24, 16, 16, 16, 20, 16, 16, im Durchschnitt 17,2.

2. Versuch: in Ureumlösung:

20, 20, 16, 16, 16, 24, 28, 20, im Durchschnitt 22,5.

3. Versuch: in Wasser:

84, 60, 60, 60, 68, im Durchschnitt 67,2.

4. Versuch: in Wasser:

84, 116, 96, 112, im Durchschnitt 102.

Interessant ist es, zu beobachten, wie die austretenden Haare sich in kolloidalen Lösungen verhalten. Ich brachte die Durchschnitte der Samen in Tanninlösungen verschiedener Konzentration und wie ich bei einer kolloidalen Lösung, die einen sehr geringen osmotischen Druck ausübt, erwarten konnte, ging die Umstülpung der Haare mit fast unverminderter Schnelligkeit weiter. Dies war sogar der Fall, wenn ich die Präparate in eine Tanninlösung von gleichen Gewichtsteilen Tannin und Wasser brachte.

Nachstehend folgen Angaben, die sich auf die Verlängerung der Haare in Wasser und in einer konzentrierten Tanninlösung beziehen.

Diese war aus gleichen Gewichtsteilen Tannin und Wasser zusammengesetzt. Jeder Versuch bezieht sich auf ein Haar. In den meisten Fällen wurde die Verlängerung des Haares abwechselnd in Wasser und in Tanninlösung bestimmt. Die Längenzunahme ist per Minute und in μ angegeben.

1. Versuch: in Wasser:

30, 22, 24, 20, 36, 24, 14, 18, 56, 44, 48——48, 40, 48, 40 (im Durchschnitt 34).

2. Versuch: in Tanninlösung (aus Wasser übergeführt in Tanninlösung):

44, 84, 92, 76, 80, 92, 76, 80 (im Durchschnitt 78).

3. Versuch: in Tanninlösung (in Tanninlösung ausgetreten):

12, 14, 14, 24, 12, 14, 14, 20, 20——20, 20, 16, 20 (im Durchschnitt 17).

4. Versuch:

in Wasser: 28, 28, 32, 28, im Durchschnitt 29,

in Tanninlösung: 64, 84, 64, 76, 92, im Durchschnitt 76,

in Wasser: 72, 84, 80, 72, 72, im Durchschnitt 76.

5. Versuch:

in Wasser: 20, 20, 20, 24, 26, 22, im Durchschnitt 22,

in Tanninlösung: 18, 20, 28, 24, 24, 28, 52, 48, 52, im Durchschnitt 33,

in Wasser: 64, 52, 40, 40, im Durchschnitt 49.

6. Versuch:

in Wasser: 20, 26, 20, 26, im Durchschnitt 23,

in Tanninlösung: 28, 20, 52, 48, 64, 36, im Durchschnitt 41,

in Wasser: 76, 80, 70, im Durchschnitt 75.

7. Versuch:

in Wasser: 10, 14, 16, 14, 10, 8, im Durchschnitt 12,

in Tanninlösung: 8, 12, 16, 16, 16, im Durchschnitt 14,

in Wasser: 24, 28, 40, 32, im Durchschnitt 31,

in Tanninlösung: 40, 40, 40, 40, 56, 40, im Durchschnitt 53,

in Wasser: 26, 22, 28, im Durchschnitt 25,

in Tanninlösung: 28, 32, 40, 64, 48, im Durchschnitt 42.

8. Versuch:

in Wasser: 22, 22, 24, 32, 32, im Durchschnitt 26,

in Tanninlösung: 32, 44, 44, 52, 60, 56, 60, 52 (im Durchschnitt 50)——40,

56, 32, 48, 36, 60, 60, 48 (im Durchschnitt 48)——56, 64, 80, 80, 80,

40, 44, 36, 24, 8, 12, 4, 4, die Umstülpung geht nicht weiter.

9. Versuch:

in Tanninlösung: 22, 22, 36, 32, im Durchschnitt 28,

in Wasser: 48, 58, 50, im Durchschnitt 51,

in Tanninlösung: 40, 36, 52, 56, 40, 60, 76 (im Durchschnitt 51), 64, 64,

52, 60, 52 (im Durchschnitt 58), 32, 16, 20, 52, 28, 20, 24, 20, 4, 16, 12,

4——4, 4, 6, 16, 8, die Umstülpung geht nicht weiter.

Bei der Beurteilung der Zahlen muß man beachten, daß die Erscheinung im allgemeinen um so intensiver wird, je weiter sie fortschreitet. Bei den meisten der obenerwähnten Versuche konnte ich

dies konstatieren, wobei es gleichgültig war, ob das Präparat sich in Wasser oder in Tanninlösung befand. Vergleicht man die Versuche 1 und 2, so könnte man sogar zu der Meinung kommen, daß die Schnelligkeit in der Tanninlösung größer wäre als in Wasser, aber die Versuche beziehen sich auf zwei verschiedene Haare und gestatten deshalb nicht, einen derartigen Schluß zu ziehen. Größeren Wert muß man den Versuchen 4 bis einschl. 9 beilegen, weil ich in diesen Fällen dasselbe Haar in Tanninlösung und in Wasser untersuchte. Aus dem Ergebnis dieser Versuche darf man schließen, daß das gelöste Tannin keinen bedeutenden Einfluß auf die Schnelligkeit der Umstülpung ausübt.

Gewöhnlich ist in der Tanninlösung die Umstülpung vollkommen, manchmal aber, wie bei Versuch 8 und 9, ist dies nicht der Fall. Vielleicht übt eine lange Einwirkung der Tanninlösung einen dem Leben nachteiligen Einfluß aus, was ich aber nicht näher untersucht habe.

Über den Einfluß der Temperatur auf das Phänomen bemerke ich, daß in Übereinstimmung mit dem osmotischen Charakter der Erscheinung die Intensität der Bewegungen und folglich die Längenzunahme der Haare bei Erhöhung der Temperatur zunimmt. Oben habe ich schon das schnelle Austreten der Haare in siedendem Wasser erwähnt. Nachstehend werde ich noch einige Mitteilungen über die Schnelligkeit der Umstülpung bei verschiedenen Temperaturen machen. Ich bestimmte die Schnelligkeit bei der herrschenden und bei erhöhter Temperatur. In letzterem Fall lag der Objektträger, auf dem das Präparat sich befand, auf einem erwärmten Objektisch, durch welche mit Hilfe eines heißen Luftmotors Wasser hindurchgeführt wurde, das fortwährend auf derselben Temperatur gehalten wurde. Jeder Versuch bezieht sich auf ein Haar, das der herrschenden oder der erhöhten Temperatur oder abwechselnd beiden ausgesetzt wurde. Die Längenzunahme der Haare in Wasser bei verschiedener Temperatur ist per Minute und in μ angegeben.

1. Versuch: Temperatur 19° C:

20, 20, 20, 20, 20, 20, 20, 16, 20, 24, 20, 16 (im Durchschnitt 20)——16,
24, 32, 24, 32, 28, 20, 24, 32, 28 (im Durchschnitt 26)——28, 44, 28,
36, 40, 28, 40, 44, 36, 48 (im Durchschnitt 37)——60, 72, 64, 56, 56,
68, 52, 48, 56, 60, 52, 64 (im Durchschnitt 59).

2. Versuch: Temperatur 35° C:

56, 48, 68, 64, 72——152, 192.

3. Versuch:

19°: 8, 8, 16, 16, 8, 12, 12, 8 (im Durchschnitt 11),
35°: 56, 84, 88, 100 (im Durchschnitt 82),
19°: 40, 32, 36, 32 (im Durchschnitt 35),
35°: 168, 140 (im Durchschnitt 154).

4. Versuch:

35°: 68, 80, 80 (im Durchschnitt 76),
19°: 8, 8, 12, 8, 16, 4 (im Durchschnitt 9),
35°: 148, 208, 220 (im Durchschnitt 192).

5. Versuch:

35°: 56, 88, 92 (im Durchschnitt 79),
19°: 44, 52, 52 (im Durchschnitt 49),
35°: 196, 308 (im Durchschnitt 252).

Aus obigen Angaben geht hervor, daß Temperaturerhöhung einen großen Einfluß auf die Schnelligkeit der Umstülpung der Haare ausübt und, wie schon früher erwähnt, daß die Intensität der Erscheinung um so größer ist, je weiter der Prozeß fortgeschritten ist.

Durch einen Versuch von Overton kam ich auf den Gedanken, bei den Haaren der *Cuphea*-Samen einen Versuch anzustellen, dessen Resultat wieder deutlich zeigte, daß die Umstülpung der Haare eine osmotische Erscheinung ist. Zu den Verbindungen, welche ziemlich langsam in die Zellen eindringen, gehört das Glycerin. Overton¹⁾ brachte Algen in eine bestimmte hypotonische oder isotonische Glycerinlösung, deren Konzentration er ganz allmählich durch langsames Verdunsten des Wassers anwachsen ließ. Niemals trat Plasmolyse ein, selbst nicht, wenn der Gehalt an Glycerin allmählich auf 50 % stieg, weil offenbar jede entstehende kleine Konzentrationsdifferenz Zeit hatte, sich auszugleichen. Als er darauf die Zellen mit einem Male in reines Wasser überführte, vermochte das Glycerin, welches bis dahin im Zellinnern in derselben Konzentration wie außerhalb desselben vorhanden war, nicht so rasch durch die Plasmahaut nach außen zu diffundieren, daß nicht durch den kolossalen osmotischen Überdruck die Zellhaut gesprengt würde.

Ich legte Durchschnitte der *Cuphea*-Samen mit teils umgestülpten Haaren auf einen Objektträger in eine hyperisotonische Glycerinlösung, die 1 Mol Glycerin auf 1 l Lösung enthielt, und ließ durch Verdunsten des Wassers die Konzentration an Glycerin allmählich anwachsen, wodurch weiterer Umstülpung vorgebeugt wurde. Nach einem Tage wurden die Präparate plötzlich in Wasser gebracht. Durch den osmotischen Überdruck in den Epidermiszellen stülpten die Haare sich sehr rasch um. Die keulenförmig angeschwollenen Spitzen, in denen die Zellwand am dünnsten und am schwächsten ist, konnten dem Druck nicht widerstehen und platzten, worauf die Haare sich plötzlich zusammenzogen.

1) E. Overton, Über die osmotischen Eigenschaften der lebenden Pflanzen- und Tierzelle. Vierteljahrsschr. der Naturf. Gesellsch. in Zürich 1895, 40. Jahrg., pag. 159.

Nachdem ich in den vorhergehenden Seiten dargelegt habe, daß das Austreten der Haare eine osmotische Erscheinung ist, welche von dem Leben abhängig ist, werde ich jetzt eine bis in Details vollständige Erklärung des Phänomens geben.

Wenn man gesunde Samen oder Durchschnitte derselben, welche unverletzte Oberhautzellen enthalten, in Wasser legt oder in feuchte Luft bringt, so zieht sowohl die Zellwand als der Zellinhalt Wasser an. Der Druck, den das stark gebogene innere Haar gegen die Zellwand ausübt, wird durch die infolge der Wasseranziehung entstandene Schwellung stärker. Schließlich zerreißt die Außenwand der Oberhautzellen und springt plötzlich ein Stückchen des Haares an der Stelle, wo es fest sitzt, aus der Oberhautzelle hervor, was mit Umstülpung seiner Hautschicht verbunden ist. Hiermit fängt das Phänomen an. Eine gewöhnliche Schwellung verursacht den Anfang des Phänomens. Dabei ist es kein Erfordernis, daß das Protoplasma am Leben ist. Diese Ansicht gründet sich auf die folgenden Erwägungen und Beobachtungen.

Wenn man die stark gekrümmten Haare in den Epidermiszellen liegen sieht, dann drängt sich die Annahme auf, daß die Haare einen Druck gegen die Wand ausüben, und wenn man dabei die bedeutende Längenzunahme der durchgeschnittenen Haare in Wasser berücksichtigt, so wird es klar, daß der durch die Schwellung entstandene Druck sehr bedeutend sein muß. Daß dieser das Durchbohren der Außenwand verursachen kann, schließe ich daraus, daß bei Epidermiszellen, die durch höhere Temperatur, durch Behandlung mit Alkohol oder auf andere Weise getötet worden sind, nach liegen in Wasser die Außenwand auch oft durchbohrt und das Haar ein wenig ausgetreten ist.

Der weitere Verlauf des Prozesses kommt durch den osmotischen Druck der in den Epidermiszellen entstandenen Lösung zustande; dazu ist erforderlich, daß das Protoplasma der Epidermiszellen am Leben ist. Wenn das Protoplasma getötet worden ist, so kommen, wie oben erwähnt, manchmal einige Haare nur ein wenig aus der Epidermiszellen zum Vorschein, während die meisten überhaupt nicht austreten. Daß Osmose den weiteren Verlauf des Phänomens beherrscht, ist oben schon genügend bewiesen. An dieser Stelle will ich einige Einzelheiten des osmotischen Prozesses näher betrachten. Der osmotische Druck, der die Umstülpung der Haare zustande bringt, muß einen ziemlich bedeutenden Widerstand überwinden. Der noch nicht umgestülpte Teil des Haares ist vom umgestülpten eng umgeben und dabei einigermaßen hin und her gebogen. Dadurch entsteht zwischen beiden Teilen Reibung, welche während der Umstülpung überwunden werden muß. Die Füll-

masse des Haares muß während der Umstülpung von seiner Hautschicht losgerissen werden, was ebenfalls Arbeit erfordert. Der Prozeß schreitet zufolge des Widerstandes, der nicht immer gleich groß ist, nicht vollkommen gleichmäßig fort, sondern vollzieht sich stoßweise. Wenn der Widerstand abnorm groß ist, z. B. weil ein Teil des Haares doppelt gefaltet ist, so wird der nicht umgestülpte Teil des Haares auf eine abnormale Weise ausgereckt und bleibt die Umstülpung unvollkommen. Während der Ausstülpung muß der osmotische Druck innerhalb der Zelle größer sein als die Summe des osmotischen Druckes außerhalb der Zelle und des Widerstandes.

Je weiter der Prozeß fortschreitet, desto geringer wird der osmotische Druck. Dies hängt mit der Vergrößerung des Zellumens während der Umstülpung des Haares zusammen. Bei sieben Epidermiszellen bestimmte ich Länge, Breite und Höhe und die Länge und Dicke der Haare bei ihrer Spitze und Basis und berechnete den durchschnittlichen Inhalt der Zellen und der Haare. Nach angestellten Messungen werden, wie schon erwähnt, die Haare zufolge der Umstülpung fünf- bis sechsmal länger. Man kann deshalb annehmen, daß die Haare in den Zellen ungefähr $\frac{1}{6}$ bis $\frac{1}{5}$ des Raumes einnehmen, den sie in umgestülptem Zustande einnehmen. Zieht man den Betrag des Raumes, welchen ein Haar in der Zelle einnimmt, von dem Betrag des Zellinhaltes ab und addiert man den Betrag des Raumes des umgestülpten Haares zu dem Betrag des Zellinhaltes, so kann man aus beiden Ergebnissen annähernd berechnen, wieviel Mal das Zellumen zufolge der Umstülpung größer geworden ist. Ich kam dabei zu dem Resultat, daß das Zellumen wohl viermal größer werden kann. Es versteht sich, daß diese Vergrößerung mit der Verdünnung des Zellsaftes durch das eindringende Wasser zusammenhängt, die den osmotischen Druck in der Zelle verringert. Diese Abnahme kann mittels eines Experimentes nachgewiesen werden. Bei einigen Haaren habe ich mit großen Intervallen bestimmt, wie konzentriert eine Chlornatriumlösung sein muß, um die Umstülpung zum Stillstand zu bringen und eine geringe Zusammenziehung der Haare zu verursachen. Die nachstehenden Angaben beziehen sich auf zwei Epidermiszellen, bei welchen während der Umstülpung des Haares drei- resp. viermal der osmotische Druck bestimmt wurde. Die Konzentrationen der Chlornatriumlösungen sind in Mol auf 1 l Lösung angegeben.

1. Versuch: 0,525, 0,250, 0,200.
2. Versuch: 0,375, 0,250, 0,175, 0,125.

Bemerkenswert ist es, daß im allgemeinen die Schnelligkeit der Umstülpung um so größer wird, je weiter die Umstülpung fortschreitet, während der osmotische Druck in der Zelle abnimmt. Dieser Schluß wird durch nachstehende Angaben begründet. Sie beziehen sich auf zwei Haare, bei welchen während der Umstülpung mit großen Intervallen mit Chlornatriumlösungen der osmotische Druck, oder richtiger gesagt, die Konzentration der Chlornatriumlösung, welche Stillstand und geringe Zusammenziehung des Haares verursachte, bestimmt wurde. Die Konzentration der Chlornatriumlösungen ist in Mol auf 1 l Lösung, die Länge des Haares und die Längenzunahme per Minute in μ angegeben.

1. Versuch.

Länge des Haares	Mol NaCl	Längenzunahme per Minute
84	0,525	24, 30, 26, 32, 32, im Durchschnitt 29
236	0,250	36, 36, 36, 40, 44, „ „ 38
436	0,200	72, 72, 80, 72, 80, „ „ 75

2. Versuch.

Länge des Haares	Mol NaCl	Längenzunahme per Minute
136	0,375	10, 8, 2, 2, 6, 6, 10, 4, 4, 8, 8, 6, 14, 4, 12, 14, 9, 7, 14, 16, 16, 16, im Durchschnitt 9
340	0,250	30, 22, 20, 28, 24, 28, 28, 16, im Durchschnitt 25
536	0,175	20, 16, 12, 20, 8, 16, 18, 18, 28, 24, 24, im Durchschnitt 19
736	0,125	10, 14, 14, 22, 20, 32, 28, 20, 28, 20, 20, 20, 36, 24, 32, 28, 28, 16, 20, 36, 64, im Durchschnitt 25

Diese Versuche zeigen, daß während der Umstülpung der osmotische Druck fortwährend abnimmt und die Schnelligkeit, die besonders im Anfang bedeutend geringer ist als am Ende, im allgemeinen zunimmt. Die Zunahme der Schnelligkeit wird dadurch verursacht, daß der Widerstand, den die Umstülpung erfährt, allmählich geringer wird. Daß die Schnelligkeit nicht ganz regelmäßig größer wird, kommt dadurch, daß der Widerstand in dem einen Augenblick größer ist als in dem andern, was von der Lage des noch nicht umgestülpten Teiles des Haares in der Zelle und im umgestülpten Teil des Haares abhängt. Im allgemeinen nimmt aber während der Umstülpung der Widerstand allmählich ab, weil der nicht umgestülpte Teil des Haares, der längs der Innenseite des umgestülpten reibt, fortwährend kürzer, die Reibung

also geringer wird. Hiermit hängt es zusammen, daß die Umstülpung der Spitze des Haares mit einem Ruck stattfindet.

Wenn Haare sich ganz umgestülpt haben, kann man oft mit einem Okular-Mikrometer feststellen, daß sie sich noch etwas strecken, was eine Folge des in den Haaren herrschenden osmotischen Druckes ist. Die langen dünnen Haare sind dann faßt gerade, wenn sie nämlich nicht auf ein Hindernis gestoßen sind. Nach einiger Zeit verkürzen die Haare sich. Diese Verkürzung geht langsam, aber ständig vor sich; die spiralige Struktur der Haare wird immer deutlicher; nach ein paar Tagen haben die Haare sich stark zusammengezogen und gekrümmt.

Correns hat diese Erscheinung zu erklären versucht. Dieser Forscher meint, daß der innere Druck, der nach der Umstülpung in den Haaren herrscht, später, wenn die Haare kollabieren, aufgehoben wird. Er nimmt an, daß die gequollene Substanz in den Haaren in lösliche übergeht und, an der Spitze des Haares die Wand passiert.

Wie schon erwähnt, füllen die Haare sich vom Anfang der Umstülpung an mit einer Lösung. Die Oberhautzellen enthalten lösliche Substanz und das von außen durch die Wand eindringende Wasser bildet das Lösungsmittel. Die Lösung verursacht einen starken osmotischen Druck. Mit Correns nehme ich an, daß, wenn nach der Umstülpung die Haare sich zusammenziehen, der innere Druck allmählich abnimmt, aber ich meine, daß man die Erscheinung auf eine andere Weise erklären muß. Ein Anzeichen, daß speziell an der Spitze gelöster Stoff die Wand passiert, habe ich nicht entdecken können. Die Wand ist an der Spitze wohl dünner als an anderen Stellen; aber einen prinzipiellen Unterschied gibt es nicht. Ich habe darum nach einer anderen Erklärung gesucht und eine gefunden, die mit der Natur des Cuphea-Phänomens übereinstimmt.

Ich nehme an, daß das Protoplasma der Oberhautzellen für die im Zellsaft gelöste Substanz in sehr geringem Maße permeabel ist, und daß demzufolge nach der Umstülpung der osmotische Druck allmählich abnimmt und demzufolge Zusammenziehung der Haare stattfindet.

Noch eine Erscheinung, auf welche Correns aufmerksam gemacht hat, will ich an dieser Stelle erwähnen, nämlich die Körnchen im Zellsaft, die sich während der Umstülpung nach der Spitze des Haares bewegen und sich dort ansammeln. Da Correns nie ein Körnchen den Rückweg einschlagen sah, auch nicht nach der Umstülpung, meinte er, daß die Ansammlung der Körnchen in der Spitze des Haares aus dem Durchgang von gelöster Substanz zu erklären wäre. Ich glaube, daß man die Erscheinung auf folgende Weise erklären muß.

Während der Umstülpung strömt der in den Epidermiszellen anwesende Zellsaft zum Teil in die Haare und führt Körnchen mit sich. Es entsteht daher eine Strömung nach der Spitze des Haares. Demzufolge bewegen sich die im Haar anwesenden Körnchen nach der Spitze. Man kann beobachten, daß sie sich schneller bewegen als die noch nicht ausgestülpte Spitze, die sie einholen. Dies wird dadurch verursacht, daß das Haar sich nicht nur umstülpt, sondern sich auch streckt, was besonders dazu beiträgt, die Strömung zu beschleunigen. Die Bewegung der Körnchen nach der Spitze ist keine gleichmäßige, sondern sie geht mit der Umstülpung stoßweise vor sich. Wenn die Spitze sich mit einem Ruck umstülpt, eilen noch einige Körnchen der Spitze zu.

Die Füllmasse des Haares wird während der Umstülpung ausgestoßen und ragt hervor. Die Körnchen können aber nicht ausgestoßen werden, weil sie innerhalb der Wand liegen. Demzufolge und infolge der Strömung im Haar, die nach der Spitze gerichtet ist, sammeln sie sich in der Spitze des Haares an.

An dieser Stelle will ich noch eine Nebenerscheinung behandeln, die ich in vielen Fällen beobachtet habe und die zur genaueren Kenntnis der Einzelheiten des normalen Prozesses beiträgt. In verschiedenen Fällen, in denen die Haare sich unter abnormalen Verhältnissen befanden, sah ich, daß der noch nicht umgestülpte Teil des Haares, statt stark zusammengepreßt zu sein, ganz oder zum Teil mehr oder weniger gestreckt war und statt der Form einer Schraube mit sehr kurzen Windungen die Form einer spiralig gedrehten Schlauches mit weiten Windungen besaß (Fig. 14). Beim Studium dieser abnormalen Abweichung bin ich zu dem Resultat gekommen, daß man sie auf verschiedene Weise hervorrufen kann, und daß bei derselben verschiedene Faktoren im Spiel sein können, wie aus den folgenden Beobachtungen hervorgeht.

Ich konnte diese abnormale Erscheinung manchmal in Lösungen von Salzen, von Chlornatrium und Kaliumnitrat, von Säuren, von Weinsäure und Oxalsäure, in konzentrierter Ureumlösung beobachten, weiter bei Präparaten, die während einiger Tage in Spiritus von 50—90 Vol. Proz. gelegen hatten und nach Überführung in Wasser die Umstülpung zeigten, sowie bei Präparaten, die in 25%ige Saccharoselösung erwärmt und danach in Wasser gebracht worden waren. Besonders

14



Fig. 14. Teil eines Haares, von dem das noch nicht umgestülpte Teil sich gestreckt hat.

deutlich sah ich die Erscheinung bei Präparaten, die aus Glyzerinlösungen in Wasser übergeführt worden waren.

Wie schon erwähnt, strecken durchgeschnittene noch nicht umgestülpte Haare sich im Wasser, während ganze noch nicht umgestülpte Haare und der noch nicht umgestülpte Teil derselben unter normalen Verhältnissen stark zusammengepreßt sind. Diese Zusammenpressung ist namentlich eine Folge des osmotischen Druckes in den Epidermiszellen. Daher kommt es, daß Haare aus verletzten Zellen sich strecken, und das häufig Streckung von noch nicht ausgestülpten Teilen stattfindet, wenn das Austreten der Haare unter abnormalen Verhältnissen verläuft, durch welche der osmotische Druck in den Zellen abgenommen hat oder die Differenz zwischen dem Druck innerhalb und außerhalb der Zelle kleiner geworden ist.

Lösungen von Chemikalien verkleinern die Differenz zwischen dem Druck innerhalb und außerhalb der Zelle und könnten daher auch die Streckung verursachen. Wenn man austretende Haare in eine isotonische oder hypertonische Salzlösung bringt, bemerkt man jedoch nichts von der obenerwähnten Streckung. Nur unter bestimmten Verhältnissen tritt sie ein. Die Präparate müssen nämlich lange Zeit, wenigstens während einiger Stunden, in der Salzlösung liegen und die Salzlösung muß in das Innere des Haares hineingedrungen sein, um den Effekt des osmotischen Druckes aufzuheben und die Streckung hervortreten zu lassen.

Einige Chemikalien üben einen dem Leben nachteiligen Einfluß aus, der mit einer Abnahme des osmotischen Druckes in der Zelle verbunden ist, wahrscheinlich zufolge einer Zunahme der Permeabilität des Protoplasmas für die im Zellsaft gelösten Stoffe. Dies kann auch eine Streckung des noch nicht umgestülpten Teiles des Haares in der noch lebenden Zelle veranlassen. Ich beobachtete dies u. a. bei Haaren, welche in einer in geringem Maße hypertonischen Kupfersulfatlösung gelegen hatten. Die Abnahme des osmotischen Druckes zeigte sich nicht nur in der Streckung des nicht umgestülpten Teiles des Haares, sondern auch in einer Verkürzung oder Zusammenziehung des Haares und bei Versuchen mit Chlornatriumlösungen vor und nach dem Liegen in der Kupfersulfatlösung.

Das Eintreten der Abweichung nach Behandlung mit Alkohol und nach Einwirkung höherer Temperatur muß auch dem nachteiligen Einfluß der Behandlung zugeschrieben werden, welche eine Abnahme des osmotischen Druckes zur Folge hat, die wahrscheinlich durch Zunahme

der Permeabilität für die im Zellsaft gelösten Stoffe verursacht wird, deshalb durch Exosmose.

Die Versuche mit Glyzerin zeigten, daß die Abweichung unter bestimmten Verhältnissen auch eintreten kann, wenn der osmotische Druck in den Epidermiszellen erhöht ist. Ich brachte Durchschnitte der Samen in eine Glyzerinlösung, die 1 Mol Glyzerin auf 1 l Lösung enthielt und ließ sie während eines oder mehrerer Tage in dieser liegen, während durch freiwilliges Verdunsten des Wassers die Konzentration des Glyzerins einige Male stärker wurde. Das Glyzerin, das das Protoplasma langsam durchgehen läßt, war dann in die Zellwand, in den Zellinhalt und in das Haar eingedrungen. Danach brachte ich die Präparate in Wasser. Die Haare kamen darauf bald aus den Epidermiszellen zum Vorschein und stülpten sich mit großer Schnelligkeit um. Dabei konnte ich feststellen, daß der noch nicht umgestülpte Teil des Haares sich bedeutend streckte. Gewöhnlich konnte ich das bei dem vorderen Teil zuerst beobachten und bald darauf bei dem ganzen noch nicht umgestülpten Teil des Haares. Daß in diesem Fall keine Abnahme, sondern vielmehr eine Steigerung des osmotischen Druckes stattgefunden hat, geht daraus hervor, daß die stark gespannte Zellwand des Haares an seiner Spitze reißt, worauf das Haar sich plötzlich zusammenzieht.

Daß der nicht ausgestülpte Teil des Haares sich trotz der Steigerung des osmotischen Druckes im Zellsaft so bedeutend streckt, muß man der Anwesenheit des Glyzerins in dem nicht umgestülpten Teil des Haares zuschreiben. Bei der Überführung in Wasser streckt sich der noch nicht umgestülpte Teil zufolge stärkerer Wasseranziehung. Diese Erklärung stützt sich auf die folgenden Beobachtungen. Abgeschnittene Haare aus durchgeschnittenen Oberhautzellen, die aus der Glyzerinlösung in Wasser gebracht worden sind, strecken sich so bedeutend, daß die spiralige Windung manchmal nicht mehr wahrnehmbar ist, also in höherem Maße als abgeschnittene Haare, die sich nicht zuvor in Glyzerinlösung befanden. Wenn die Durchschnitte des Samens aus der Glyzerinlösung nicht direkt in Wasser übergeführt werden, sondern erst während einiger Stunden zur Entfernung des Glyzerins in absolutem Alkohol liegen, so tritt nach Überführung in Wasser die Abweichung nicht mehr ein. Dieses beweist, daß man im vorliegenden Fall das Eintreten der Abweichung speziell der Anwesenheit des Glyzerins zuschreiben muß, welche verursacht, daß nach Überführung in Wasser der noch nicht umgestülpte Teil des Haares viel mehr Wasser aufnimmt als unter normalen Verhältnissen der Fall ist.

Da das Protoplasma für Alkohol sehr permeabel ist, ist der osmotische Druck während der Umstülpung im Wasser bedeutend schwächer als wenn das Glyzerin nicht durch absoluten Alkohol ersetzt ist. Im Zusammenhang hiermit geht die Umstülpung viel langsamer vor sich und reißt das Haar nicht. Nach der Überführung aus Glyzerin in Wasser belief die Verlängerung der Haare sich im Anfang schon auf 400 bis 700 μ per Minute und nach dem Ersatz des Glyzerins durch absoluten Alkohol war bei vier Haaren desselben Samens nach Überführung in Wasser die Verlängerung in μ per Minute wie folgt:

1. Versuch: 112, 140, 204, 280, 360,
2. „ 104, 156, 180, 260,
3. „ 60, 104, 128, 140, 240, 200, 380,
4. „ 76, 80, 92, 104, 100, 160, 172, 248, 220.

Im Anschluß an die oben erwähnten Versuche mit Glyzerinlösungen will ich noch auf eine interessante Erscheinung aufmerksam machen. Wie oben erwähnt, befindet sich in den noch nicht umgestülpten Haaren eine Füllmasse. Diese ist manchmal verflüssigt oder verschleimt. Während der Umstülpung wird in diesem Fall keine schraubenförmige Füllmasse ausgestoßen. Nur das spiralförmige Schraubengewinde ist nach der Umstülpung wahrnehmbar. Die Verflüssigung oder Verschleimung der Füllmasse erleichtert gewiß die Umstülpung. Sehr wahrscheinlich ist es, daß die Verschleimung oder Verflüssigung der Füllmasse durch Enzymwirkung verursacht wird. Auch in Glyzerinlösungen kann die Verschleimung und Verflüssigung weiter gehen. Nachdem Durchschnitte der Samen während einiger Tage in einer Glyzerinlösung von 1 Mol gelegen hatten, deren Konzentration durch freiwillige Verdunstung des Wassers allmählich zunahm, wurde nach Überführung in Wasser während der Umstülpung keine Füllmasse ausgestoßen, obschon die Durchschnitte von einem Samen herrührten, dessen Haare reichlich Füllmasse enthielten. Es kommt mir wahrscheinlich vor, daß die Verschleimung und Verflüssigung der Füllmasse dem Eintreten der Streckung des noch nicht umgestülpten Teiles des Haares förderlich ist.

Ich habe jetzt das Austreten der Haare des Cuphea-Samens in seinen Einzelheiten behandelt und nach meiner Meinung für das Phänomen eine sehr befriedigende Erklärung gegeben. Auf Grund meiner Untersuchungen nehme ich an, daß die Durchbohrung der Zellwand durch Schwellung verursacht wird, daß die Umstülpung der Haare eine vom Leben abhängige osmotische Erscheinung ist und die nachherige Zusammenziehung auf eine geringe Permeabilität des Plasmas für den im Zellsaft gelösten Stoff zurückgeführt werden muß.

Bestimmung des Molekulargewichtes und des Dissoziationsgrades von Elektrolyten.

Nachdem ich zu der Überzeugung gekommen war, daß die Umstülpung der Haare eine osmotische Erscheinung ist, erhob sich die Frage, ob es möglich sein würde mit Hilfe der Haare annähernd das Molekulargewicht chemischer Körper und den Dissoziationsgrad von Elektrolyten zu bestimmen, wie dies de Vries mit großem Erfolg mit Hilfe seiner plasmolytischen Methode getan hat. Es ist mir gelungen, für solche Bestimmungen eine Methode zu finden, mit welcher ich sehr befriedigende Resultate erzielt habe.

Meine Methode ist von den von Hugo de Vries ausfindig gemachten Methoden, der plasmolytischen und der der Gewebespannung, verschieden. Sie ist keine plasmolytische Methode; sie stützt sich nicht auf das Zurückziehen des Protoplasmas von der Wand, sondern auf den Eintritt des Stillstandes des osmotischen Phänomens, das die Haare der *Cuphea*-Samen zeigen.

Die erste Schwierigkeit, die ich bei dem Ausarbeiten meiner Methode überwinden mußte, bestand in dem ungleichmäßig großen osmotischen Druck, der in den Epidermiszellen verschiedener Samen, auch in den Epidermiszellen eines und desselben Samens und während der Umstülpung selbst in einer und derselben Epidermiszelle herrscht.

De Vries hat für die Anwendung seiner plasmolytischen Methode zunächst von seinen Indikatorpflanzen gefordert, daß die Plasmolyse in sämtlichen Zellen des für die Untersuchung dienenden Gewebes bei genau derselben Konzentration der angewendeten Lösungen anfängt. Er bedauert es sehr, daß es ihm trotz vielfacher Bemühungen in 4 Jahren nicht gelungen ist, mehr als drei Indikatorpflanzen ausfindig zu machen.

Es würde gewiß von großem Vorteil gewesen sein, wenn der osmotische Druck in allen Epidermiszellen gleich groß gewesen wäre. Die Aussicht, bei dem Geschlecht *Cuphea* oder anderen Geschlechtern der *Lythraceae* ein derartiges Objekt zu entdecken, war auf Grund der von de Vries im Pflanzenreich gemachten Erfahrungen äußerst gering. Darum habe ich einen anderen Weg eingeschlagen, um die Schwierigkeit zu beseitigen. Ich habe mir die Frage gestellt, ob es bei einer und derselben in einem gewissen Stadium sich befindenden Epidermiszelle nicht möglich sein würde, die Konzentrationen verschiedener Lösungen zu bestimmen, die eben genügten, um das Phänomen zum Stillstand zu bringen.

Ich ging darauf auf die folgende Weise an die Arbeit. Ich machte Durchschnitte der Samen, ließ die Haare in Wasser ein wenig austreten, wählte für die Untersuchung ein geeignetes Haar aus, von dem ich, um Verwechslung mit anderen Haaren vorzubeugen, die Stelle im Präparat bestimmte. Danach brachte ich das Präparat in Lösungen verschiedener Konzentration; z. B. Saccharoselösungen, zuerst in eine schwache Lösung und darauf hintereinander jedesmal in eine stärkere, bis die Umstülpung des Haares zum Stillstand kam. Wenn ich während einer Minute mit Hilfe eines Okularmikrometers keine Verlängerung des Haares mehr beobachten konnte, so nahm ich an, daß die beabsichtigte Konzentration ermittelt war. Manchmal beobachtet man nach der Überführung eines Präparates in eine stärkere Lösung eine sehr geringe Zusammenziehung. Bei späteren Versuchen habe ich das Überführen in stärkere Lösungen solange fortgesetzt bis ich mit Hilfe des Okularmikrometers eine sehr geringe Verkürzung des Haares feststellen konnte und die Konzentrationen der Lösungen berücksichtigt, die eine derartige Verkürzung hervorriefen.

Nachdem die Konzentration der Lösung, die Stillstand oder sehr geringe Zusammenziehung verursachte, bestimmt worden war, wurde bei demselben Haar der Versuch mit einer Reihe Lösungen eines anderen Stoffes wiederholt, um wieder die Konzentration der Lösung zu ermitteln, welche die Erscheinung zum stehen brachte oder eine sehr geringe Verkürzung des Haares verursachte. Auf diese Weise konnte ich die Konzentrationen von zwei isotonischen Lösungen von zwei verschiedenen Stoffen ausfindig machen und aus den Konzentrationen der Lösungen und dem Molekulargewicht des einen Stoffes das des anderen berechnen. Falls ich mit Lösungen von Elektrolyten Versuche anstellte, konnte ich, wenn die Konzentrationen der Lösungen, die Molekulargewichte der Stoffe und der Dissoziationsgrad des einen Elektrolyts bekannt waren, den Dissoziationsgrad des anderen berechnen.

Da der osmotische Druck in den Epidermiszellen und der Widerstand in den Haaren sich während der Umstülpung ändern, müssen die Bestimmungen der Konzentrationen der isotonischen Lösungen schnell nacheinander ausgeführt werden. Das Haar muß während der beiden Bestimmungen ungefähr dieselbe Länge beibehalten. Selbstverständlich hat, wenn man die zweite Bestimmung ausführt, die Länge des Haares ein wenig zugenommen, aber man muß auf eine derartige Weise arbeiten, daß die Verlängerung sich bis auf ein Minimum beschränkt. Darum bringt man das Präparat nach Bestimmung der ersten Konzentration

nicht in Wasser, sondern direkt in eine Lösung des zweiten Stoffes, und zwar vorzugsweise in eine Lösung, deren Konzentration nur wenig geringer ist als die jener isotonischen Lösung, welche man ausfindig machen will. Das Überführen des Präparates in die Lösung eines anderen Stoffes macht keine Schwierigkeit, wenn die beiden Stoffe nicht chemisch aufeinander einwirken. Der eine Stoff wird durch Überführung in die Lösungen des anderen Stoffes gewaschen und wenn ein wenig der ersten Lösung zurückbleiben würde, so würde das doch keinen Fehler in die Rechnung bringen, weil die Summe der osmotischen Partialdrucke dem ganzen osmotischen Druck gleich ist.

Um genauere Ergebnisse zu erzielen, habe ich mich bei jedem Versuch nicht auf zwei Bestimmungen, jede mit einer Reihe der Lösungen, beschränkt, sondern machte wenigstens drei Bestimmungen, gewöhnlich fünf und oft noch mehr, vorzugsweise eine ungerade Anzahl, und zwar auf solche Weise, daß ich abwechselnd eine Bestimmung mit den Lösungen des einen Stoffes und eine mit denen des anderen ausführte. Aus den erhaltenen Zahlen berechnete ich die durchschnittlichen Werte, welche die Konzentrationen der beiden isotonischen Lösungen angaben.

So lange ich mit Stoffen arbeitete, für welche das Protoplasma nicht oder nur in geringem Maße permeabel ist, führte die Methode zu guten Resultaten. Dies ändert sich, wenn man mit Stoffen operiert, welche das Protoplasma durchgehen läßt. Stoffe, für welche das Protoplasma sehr permeabel ist, sind für die erwähnten Versuche überhaupt nicht geeignet. Die Resultate sind nicht zuverlässig oder die Umstülpung hört überhaupt nicht auf. Mit Stoffen, welche das Protoplasma sehr langsam durchgehen läßt, kann man zwar noch verwendbare Resultate erzielen, wenn man die Methode etwas modifiziert. Wenn man in der oben angegebenen Weise operiert, so kann es geschehen, daß weder ein Stillstand noch eine Zusammenziehung eintritt, und im anderen Fall sind die erhaltenen Zahlen zu hoch. Ich wusch die Präparate jedesmal mit Wasser aus, ehe ich sie in eine stärkere Lösung brachte, um den Stoff, den das Protoplasma durchgehen läßt und der demzufolge den Druck in der Zelle erhöht, wieder zu entfernen. Wenn Zusammenziehung erzielt worden war, so wurde mit Lösungen eines anderen Stoffes der vergleichende Versuch angestellt. Wie gewöhnlich wurden beide Versuche einige Male wiederholt.

Nachstehend teile ich mit, auf welche Weise ich die Lösungen dargestellt habe und wie stark ihre Konzentrationen sind. Sie können auf zweierlei Weise angefertigt werden. Man kann eine gewisse ge-

wogene Menge Stoff in einer gewissen gewogenen Menge Wasser lösen, und man kann eine gewisse gewogene Menge Stoff in soviel Wasser lösen, daß die Lösung ein bestimmtes Volumen einnimmt. Wenn die Lösungen nach der ersten Methode hergestellt worden sind, so ist das Verhältnis zwischen den Mengen des gelösten Stoffes in den isotonischen Lösungen und den Molekulargewichten ein besseres, als wenn die Lösungen nach der zweiten Methode angefertigt worden sind.

Bei Untersuchungen über das elektrolytische Leitvermögen werden die Lösungen meist nach letzterer Methode dargestellt, während bei Bestimmung der Gefrierpunktserniedrigung und Siedepunktserhöhung meist die erste Methode angewendet wird. Ich habe beide Methoden benutzt. Anfangs wog ich das Lösungsmittel; später verdünnte ich die Lösungen bis zu einem bestimmten Volumen. Wie man aber auch arbeitet, will man die erzielten Resultate sowohl mit den Resultaten der Berechnung des Dissoziationsgrades aus dem Wert des elektrolytischen Leitvermögens als auch mit denen, zu welchen der Wert der Gefrierpunktserniedrigung und der Siedepunktserhöhung führt, vergleichen, nie wird man zeitraubende Umrechnungen vermeiden können.

Die Konzentrationen der zuerst angewendeten Saccharose- und Chlornatriumlösungen betrugen 14—36 g Saccharose auf 100 g Wasser, aufsteigend mit 2 g und 1,4—3,8 g Chlornatrium auf 100 g Wasser, aufsteigend mit 0,2 g. Die später benutzten Konzentrationen stiegen mit $\frac{1}{40}$ Mol per Liter Lösung, so daß von jedem Stoff ungefähr 35 Lösungen zu meiner Verfügung standen. Man muß über soviel Lösungen verschiedener Konzentration verfügen, weil der osmotische Druck in den Epidermiszellen besonders bei verschiedenen Samen sehr verschieden ist.

Ehe ich die Resultate erwähne, die ich bei der Bestimmung des Molekulargewichtes und des Dissoziationsgrades erzielte, werde ich eine Reihe von Versuchen besprechen, die ich mit Chlornatriumlösungen verschiedener Konzentration anstellte und durch die ich die Methode besser kennen zu lernen beabsichtigte.

Wenn man ein Präparat mit einem austretenden Haar nacheinander mit Chlornatriumlösungen von aufsteigender Konzentration behandelt, so wird schließlich Stillstand und bald darauf eine geringe Zusammenziehung des Haares eintreten. Wenn man danach das Präparat wieder in eine schwächere, hypotonische Lösung bringt, so wird das Haar wieder länger und nach Überführung in aufsteigend stärkere Lösungen wird wieder Stillstand und darauf geringe Zusammenziehung eintreten. Auch kommt es vor, daß man keinen Stillstand konstatieren kann, d. h., daß das

Haar nicht während einer Minute seine Länge beibehält, sondern daß es nach Überführung in eine stärkere Lösung direkt eine geringe Zusammenziehung zeigt. Den Versuch kann man bei einem und demselben Haar wohl 10 mal wiederholen. Die Lösungen, welche Stillstand oder eine geringe Zusammenziehung verursachen, haben selbstverständlich nicht alle dieselbe Konzentration. Dies ist auch der Fall, wenn die Versuche unmittelbar nacheinander angestellt werden. Die innere Reibung in dem sich umstülpenden Haar ist natürlich nicht immer dieselbe. Während der Versuche wird das Haar länger, das Lumen der Zelle deshalb größer, der Zellsaft demzufolge verdünnter und der osmotische Druck in der Zelle kleiner. Auch muß man die Möglichkeit berücksichtigen, daß, während man experimentiert, etwas Chlornatrium durch die Plasmawand in die Zelle eindringen kann, wodurch der osmotische Druck etwas zunehmen würde. Wenn man nun die Durchschnittskonzentration von 3 oder 5 Bestimmungen nimmt, wobei man jedesmal eine Bestimmung überschlägt, sowie auch die Durchschnittskonzentration der 2 oder 4 dazwischen gelegenen Bestimmungen, dann kann man erwarten, daß die beiden Durchschnittswerte nur wenig voneinander abweichen. Es zeigte sich, daß dies auch der Fall war.

Im Zusammenhang hiermit habe ich denn auch, wenn ich mit zwei Reihen Lösungen von zwei verschiedenen Stoffen operierte, abwechselnd jedes Haar mit den Lösungen des einen und mit den Lösungen des anderen Stoffes untersucht und die beiden Durchschnittswerte einiger Bestimmungen verwendet. Nachstehend werde ich die Resultate derjenigen Versuche erwähnen, die ich ausschließlich mit Chlornatriumlösungen anstellte. Die Zahlen deuten die Konzentrationen der Lösungen an, in welche das Präparat hintereinander gebracht wurde, in Mol Chlornatrium per Liter Lösung. Die Konzentrationen steigen mit $\frac{1}{40}$ Mol per Liter auf. V bedeutet, daß Verlängerung, S daß Stillstand während einer Minute und Z daß eine geringe Zusammenziehung beobachtet worden ist.

1. Versuch.

0,400 V	0,750 Z	0,675 V	0,750 Z	0,775 V
0,450 V	0,700 V	0,700 V	0,700 V	0,800 V
0,475 V	0,725 V	0,725 V	0,725 V	0,825 Z
0,500 V	0,750 Z	0,750 Z	0,750 V	0,725 V
0,550 V	0,700 V	0,700 V	0,775 V	0,750 V
0,600 V	0,725 V	0,725 V	0,800 Z	0,775 V
0,650 V	0,750 Z	0,750 Z	0,700 V	0,800 V
0,700 V	0,700 V	0,700 V	0,725 V	0,825 Z
0,725 V	0,725 Z	0,725 V	0,750 V	

2. Versuch.

0,300 V	0,500 V	0,475 V	0,500 Z	0,450 V
0,350 V	0,525 Z	0,500 Z	0,450 V	0,475 V
0,400 V	0,400 V	0,450 V	0,475 V	0,500 Z
0,450 V	0,450 V	0,475 V	0,500 Z	

3. Versuch.

0,250 V	0,425 V	0,425 V	0,425 V	0,400 V
0,300 V	0,450 S	0,450 S	0,450 V	0,425 V
0,350 V	0,475 Z	0,475 Z	0,475 S	0,450 V
0,400 V	0,400 V	0,400 V	0,500 Z	0,475 S
0,425 V	0,425 V	0,425 V	0,400 V	0,500 Z
0,450 S	0,450 S	0,450 S	0,425 V	0,425 V
0,475 S	0,475 S	0,475 S	0,450 V	0,450 S
0,500 Z	0,500 Z	0,500 Z	0,475 S	0,475 S
0,400 V	0,400 V	0,400 V	0,500 Z	0,500 Z

4. Versuch.

0,350 V	0,375 Z	0,400 S	0,400 S	0,425 Z
0,375 Z	0,325 V	0,425 Z	0,425 Z	
0,325 V	0,350 V	0,350 V	0,375 V	
0,350 S	0,375 S	0,375 V	0,400 S	

Hier unten sind in Prozenten die Differenzen zwischen den Durchschnittswerten von zwei, drei, vier und fünf Konzentrationen angegeben, die Zusammenziehung oder Stillstand verursachten, und die der zwischengelegenen Konzentrationen, die sich ebenso verhielten.

Die Zahlen beziehen sich auf die obenerwähnten Versuche.

(S. Tabelle pag. 403 oben.)

Aus vorstehenden Zahlen geht hervor, daß die Differenzen oder Fehler im allgemeinen kleiner sind, je größer die Anzahl der Konzentrationen ist, aus welcher die durchschnittliche Konzentration berechnet wird, und ferner, daß die Differenzen oder Fehler im allgemeinen kleiner erscheinen, wenn Stillstand als wenn Zusammenziehung als Richtschnur angenommen wird.

Die obenerwähnten Versuche habe ich angestellt, als ich schon die meisten Bestimmungen des Dissoziationsgrades und des Molekulargewichtes ausgeführt hatte, bei denen ich in den meisten Fällen geringe Zusammenziehung als Richtschnur gewählt hatte. Die erzielten Resultate, welche ich hier unten erwähnen werde, zeigen trotzdem die Brauchbarkeit der Methode. An einem Beispiel will ich die Methode erläutern. Die Bedeutung der Buchstaben V, S und Z ist dieselbe, wie oben erwähnt. Die Konzentrationen der Lösungen, die $\frac{1}{40}$ Mol per Liter Lösung differieren, sind wieder in Mol per Liter Lösung angegeben.

(S. Tabelle pag. 403 unten.)

	Anzahl der berücksichtigten Konzentrationen	Größte Differenz in Prozenten	Durchschnittliche Differenz in Prozenten
1. Versuch. Zusammenziehung als Richtschnur	1 und 2 2 „ 3 3 „ 4 4 „ 5	3,4 1,7 1,4 1,2	1,6 1 0,8 0,7
2. Versuch. Zusammenziehung als Richtschnur	1 und 2 2 „ 3	2,5 1,7	0,8
3. Versuch. Zusammenziehung als Richtschnur	1 und 2 2 „ 3 3 „ 4 4 „ 5	5,3 5,3 3,4 2,6	2,6 2,6 2,6
Stillstand als Richtschnur	1 und 2 2 „ 3 3 „ 4 4 „ 5	2,8 3,6 2,3 1,6	1,2 1,5 1,2
4. Versuch. Zusammenziehung als Richtschnur	1 und 2 2 „ 3	6,7 2,1	4,3
Stillstand als Richtschnur	1 und 2	3,2	1,6

Die Konzentration, welche Zusammenziehung hervorrief, betrug im Durchschnitt 0,708 Mol bei den Saccharoselösungen und 0,437 Mol. bei den Chlornatriumlösungen. Nach dem Experiment ist deshalb eine Saccharoselösung von 0,708 Mol isotonisch mit einer Chlornatriumlösung von 0,437 Mol.

Aus diesen Angaben habe ich den Dissoziationsgrad der Chlornatriumlösung berechnet. Dies kann auf zweierlei Weise geschehen. Man kann nämlich annehmen, daß in gleichen Volumina der iso-

Chlornatrium	Saccharose	0,425 S	0,425 V
0,200 V	0,600 V	0,450 Z	0,450 Z
0,225 V	0,625 V	Saccharose	Saccharose
0,250 V	0,650 V	0,650 V	0,650 V
0,275 V	0,675 S	0,675 V	0,675 S
0,300 V	0,700 Z	0,700 V	0,700 Z
0,325 V	Chlornatrium	0,725 Z	Chlornatrium
0,350 V	0,350 V	Chlornatrium	0,400 V
0,375 S	0,375 V	0,375 V	0,425 V
0,400 Z	0,400 V	0,400 V	0,450 Z

tonischen Lösungen gleichviel Moleküle und Ionen anwesend sind oder daß in gleichen Mengen Wasser sich gleichviel Moleküle und Ionen befinden. Auf beiderlei Weise habe ich die Berechnungen ausgeführt, was mit zeitraubenden Umrechnungen verbunden ist. Wenn man, wie oben, von Lösungen ausgeht, in welchen auf 1 l Lösung bestimmte Mengen Stoff vorkommen, so muß man das spezifische Gewicht der isotonischen Lösungen berücksichtigen oder den Raum, den der gelöste Stoff in der Lösung einnimmt, berechnen, um bestimmen zu können, wieviel Stoff in 1000 g Wasser gelöst ist. Wenn man dagegen von Lösungen ausgeht, in welchen bestimmte Mengen Stoff in einer bestimmten Menge Wasser, z. B. 1 l, gelöst sind, so muß man berechnen, wieviel Stoff in 1 l Lösung gelöst ist.

Mit Hilfe der Tabellen von Kohlrausch und Holborn¹⁾ habe ich den Dissoziationsgrad α des Chlornatriums nach der Gleichung $\alpha = \frac{\Lambda}{\Lambda_{\infty}}$ aus dem elektrolytischen Leitvermögen berechnet. Mit Hilfe der Tabellen von Landolt und Börnstein²⁾ habe ich das scheinbare Molekulargewicht und den Dissoziationsgrad des Chlornatriums nach den Gleichungen $M = \frac{100 p}{d g} c$ und $M = \frac{100 p}{D g} C$ aus der Gefrierpunktserniedrigung und der Siedepunktserhöhung berechnet. In diesen Gleichungen bedeutet M das Molekulargewicht oder bei Elektrolyten das scheinbare Molekulargewicht, p das Gewicht des gelösten Stoffes, g das Gewicht des Lösungsmittels, d die Gefrierpunktserniedrigung, D die Siedepunktserhöhung, c die molekulare Gefrierpunktserniedrigung (für Wasser 18,5) und C die molekulare Siedepunktserhöhung (für Wasser 5,1).

Hiernach konnte ich den Wert des Dissoziationsgrades, den ich mit Hilfe der Cuphea-Samen für Chlornatrium bestimmt hatte, mit den Werten, die ich aus den Ergebnissen der drei obengenannten physikalischen Methoden berechnet hatte, miteinander vergleichen.

Außer Saccharose- und Chlornatriumlösungen habe ich noch Lösungen von anderen Stoffen benutzt, um die Haare der Cuphea-Samen nach der oben dargelegten Methode zu studieren. Aus den Konzentrationen der isotonisch sich zeigenden Chlornatrium- und Saccharoselösungen und Chlornatrium- und Glyzerinlösungen habe ich unter Berücksichtigung

1) F. Kohlrausch und L. Holborn, Das Leitvermögen der Elektrolyte, insbesondere der Lösungen. Leipzig 1898, B. G. Teubner.

2) H. Landolt und R. Börnstein und A. Roth, Physikalisch-chemische Tabellen, 4. Aufl. Berlin 1912, Julius Springer.

des Dissoziationsgrades des Chlornatriums das Molekulargewicht der Saccharose und des Glyzerins berechnet. Die erzielten Resultate habe ich in den folgenden Tabellen zusammengefaßt.

(S. Tabellen pag. 406—411.)

Vergleicht man die in den Tabellen angegebenen mit den Cuphea-Samenhaaren bestimmten Werte für die Molekulargewichte von Nicht-elektrolyten und die Dissoziationsgrade von Elektrolyten mit den Werten, die nach chemischen und physikalischen Methoden erzielt worden sind, so muß man bei näherer Überlegung gestehen, daß im allgemeinen die Ergebnisse sehr befriedigend sind. Dieselben geben zu einigen Bemerkungen Anlaß.

Was die Bestimmung des Molekulargewichts der Saccharose und des Glyzerins betrifft, so bemerke ich, daß man zu den besten Resultaten gelangt, wenn man annimmt, daß in isotonischen Lösungen bei gleichen Mengen Wasser gleichviel Moleküle oder Moleküle und Ionen anwesend sind und nicht in gleichen Volumina solcher Lösungen. Bei der Bestimmung des Dissoziationsgrades erhielt ich im allgemeinen bessere Resultate, wenn ich von der Annahme ausging, daß in den isotonischen Lösungen gleichviel Moleküle oder Moleküle und Ionen bei gleichen Mengen Wasser vorhanden sind. Besonders bei Anwendung von Saccharoselösungen gingen die Resultate auseinander, weil Saccharose ein hohes Molekulargewicht hat, und ich deshalb mit konzentrierten Lösungen arbeiten mußte, bei denen es nicht gleichgültig ist, ob eine gewisse Menge Saccharose in 100 g Wasser gelöst wird oder die Lösung bis auf 100 ccm verdünnt wird.

Von Seiten der Chemiker ist schon darauf hingewiesen worden, daß bei Anwendung konzentrierter Lösungen die Resultate genauer sind, wenn man die Menge Stoff, die in 1 l Wasser gelöst ist, berücksichtigt statt der in 1 l Lösung anwesenden Menge, woran man früher im Anschluß an die kinetische Theorie der Gase den Vorzug gab.

Weiter bemerke ich, daß meine Resultate im allgemeinen besser mit den Werten übereinstimmen, die man aus dem elektrolytischen Leitvermögen, als mit denen, die man aus der Gefrierpunktserniedrigung oder Siedepunktserhöhung herleiten kann. Besonders zeigte sich dies bei den Molekulargewichtsbestimmungen. Nach 10 Bestimmungen erzielte ich im Durchschnitt für das Molekulargewicht der Saccharose 342,1, wenn ich nämlich den Dissoziationsgrad des Chlornatriums aus dem Wert des elektrolytischen Leitvermögens berechnete und annahm, daß in isotonischen Lösungen bei gleichen Mengen Wasser ebensoviel

Bestimmung des Dissoziationsgrades des Chlornatriums

Versuchsnummer	Isotonische Lösungen					
	Gramm des gelösten Stoffes in 100 g Wasser		Mol des gelösten Stoffes in 1000 g Wasser		Mol des gelösten Stoffes in 1000 ccm Lösung	
	$C_{12}H_{22}O_{11}$	NaCl	$C_{12}H_{22}O_{11}$	NaCl	$C_{12}H_{22}O_{11}$	NaCl
1	29	2,8	0,847	0,479	0,719	0,475
2	30	2,9	0,877	0,496	0,740	0,489
3	30	3,05	0,877	0,521	0,740	0,516
4	36	3,7	1,052	0,633	0,861	0,626
5	14,600	1,469	0,427	0,251	0,392	im Durchschnitt: 0,250
6	16,475	1,617	0,481	0,276	0,437	0,275
7	28,528	2,579	0,834	0,441	0,708	0,437
8	13,922	1,395	0,407	0,238	0,375	im Durchschnitt: 0,2375
9	16,475	1,617	0,481	0,276	0,437	0,275
10	27,715	2,505	0,810	0,428	0,692	0,425
						im Durchschnitt:

Bestimmung des Dissoziationsgrades des Kaliumnitrats

Versuchsnummer	Isotonische Lösungen					
	Gramm des gelösten Stoffes in 100 g Wasser		Mol des gelösten Stoffes in 1000 g Wasser		Mol des gelösten Stoffes in 1000 ccm Lösung	
	$C_{12}H_{22}O_{11}$	KNO_3	$C_{12}H_{22}O_{11}$	KNO_3	$C_{12}H_{22}O_{11}$	KNO_3
1	18,057	3,070	0,528	0,304	0,475	0,300
2	20,193	3,765	0,590	0,372	0,525	0,367
3	22,386	3,849	0,654	0,381	0,575	0,375
4	24,064	4,503	0,703	0,445	0,6125	0,4375
5	25,774	5,158	0,753	0,510	0,650	0,500
						im Durchschnitt:

Bestimmung des Dissoziationsgrades des Kaliumsulfats (eines Elektro-

Versuchsnummer	Isotonische Lösungen					
	Gramm des gelösten Stoffes in 100 g Wasser		Mol des gelösten Stoffes in 1000 g Wasser		Mol des gelösten Stoffes in 1000 ccm Lösung	
	$C_{12}H_{22}O_{11}$	K_2SO_4	$C_{12}H_{22}O_{11}$	K_2SO_4	$C_{12}H_{22}O_{11}$	K_2SO_4
1	19,122	4,406	0,559	0,253	0,500	0,250
2	19,836	4,852	0,580	0,278	0,517	0,275
						im Durchschnitt:

in wässriger Lösung mit Saccharoselösungen.

Dissoziationsgrad von NaCl berechnet			Dissoziationsgrad von NaCl mit Cuphea-Haaren bestimmt		
aus dem elektrolitischen Leitvermögen	aus der Gefrierpunkts-erniedrigung	aus der Siedepunkts-erhöhung	berechnet nach dem Volumen der Lösung	berechnet nach dem Gewicht des Lösungsmittels	Richtschnur: S Stillstand Z Zusammenziehung
0,74	0,80	0,87	0,51	0,77	S
0,74	0,80	0,87	0,51	0,77	S
0,73	0,80	0,87	0,43	0,68	S
0,72	0,80	0,87	0,38	0,66	S
0,73	0,80	0,87	0,46	0,72	
0,79	0,84	0,86	0,57	0,70	Z
0,78	0,83	0,86	0,59	0,74	Z
0,75	0,81	0,86	0,62	0,89	Z
0,77	0,83	0,86	0,59	0,78	
0,79	0,85	0,87	0,58	0,71	S
0,78	0,83	0,86	0,59	0,74	S
0,75	0,81	0,85	0,63	0,90	S
0,77	0,83	0,86	0,60	0,78	

in wässriger Lösung mit Saccharoselösungen.

Dissoziationsgrad von KNO ₃ berechnet			Dissoziationsgrad von KNO ₃ mit Cuphea-Haaren bestimmt		
aus dem elektrolitischen Leitvermögen	aus der Gefrierpunkts-erniedrigung	aus der Siedepunkts-erhöhung	berechnet nach dem Volumen der Lösung	berechnet nach dem Gewicht des Lösungsmittels	Richtschnur: S Stillstand Z Zusammenziehung
0,77	0,64	0,76	0,58	0,74	S
0,74	0,59	0,74	0,43	0,59	Z
0,73	0,58	0,74	0,53	0,72	Z
0,72	0,53	0,73	0,40	0,58	Z
0,71	0,50	0,73	0,30	0,48	Z
0,73	0,57	0,74	0,45	0,62	

lyten mit ein- und zweiwertigen Ionen) mit Saccharoselösungen.

Dissoziationsgrad von K ₂ SO ₄ berechnet		Dissoziationsgrad von K ₂ SO ₄ mit Cuphea-Haaren bestimmt		
aus dem elektrolitischen Leitvermögen	aus der Gefrierpunkts-erniedrigung	berechnet nach dem Volumen der Lösung	berechnet nach dem Gewicht des Lösungsmittels	Richtschnur: S Stillstand Z Zusammenziehung
0,58	0,56	0,50	0,60	Z
0,58	0,55	0,44	0,54	Z
0,58	0,555	0,47	0,57	

Bestimmung des Dissoziationsgrades des Kaliumnitrats

Versuchsnummer	Isotonische Lösungen						Dissoziationsgrad	
	Gramm des gelösten Stoffes in 100 g Wasser		Mol des gelösten Stoffes in 1000 g Wasser		Mol des gelösten Stoffes in 1000 ccm Lösung		dem elektrolytischen Leitvermögen	
	NaCl	KNO ₃	NaCl	KNO ₃	NaCl	KNO ₃	NaCl	KNO ₃
1	1,101	1,911	0,188	0,189	0,188	0,188	0,80	0,79
2	1,359	2,725	0,232	0,270	0,231	0,267	0,79	0,76
3	1,764	3,155	0,302	0,312	0,300	0,308	0,77	0,75
4	1,803	3,330	0,308	0,329	0,307	0,325	0,77	0,75
5	1,949	3,244	0,333	0,321	0,331	0,317	0,77	0,75
6	1,962	3,850	0,335	0,381	0,333	0,375	0,77	0,74
7	2,061	3,720	0,352	0,368	0,350	0,363	0,76	0,74
8	2,283	4,285	0,390	0,424	0,388	0,417	0,76	0,72
9	2,579	4,634	0,441	0,458	0,438	0,450	0,75	0,72
10	2,852	5,555	0,488	0,549	0,483	0,538	0,74	0,71
11	2,901	5,423	0,496	0,536	0,492	0,525	0,74	0,71
12	3,040	5,952	0,520	0,589	0,515	0,575	0,73	0,70
13	4,746	9,897	0,811	0,979	0,800	0,942	0,70	0,65
					im Durchschnitt:		0,76	0,73

Bestimmung des Dissoziationsgrades des Kaliumsulfats

Versuchsnummer	Isotonische Lösungen					
	Gramm des gelösten Stoffes in 100 g Wasser		Mol des gelösten Stoffes in 1000 g Wasser		Mol des gelösten Stoffes in 1000 ccm Lösung	
	NaCl	K ₂ SO ₄	NaCl	K ₂ SO ₄	NaCl	K ₂ SO ₄
1	1,321	3,518	0,226	0,202	0,225	0,200
2	1,8	4,4	0,308	0,252	0,306	0,249
3	1,9	4,1	0,325	0,235	0,323	0,233
4	1,9	4,2	0,325	0,241	0,323	0,238
5	3,15	8,4	0,538	0,482	0,533	0,472
6	3,2	8,7	0,547	0,499	0,542	0,489
7	3,5	9,33	0,598	0,535	0,592	0,523
8	3,6	9,6	0,615	0,550	0,608	0,538
					im Durchschnitt:	

in wässriger Lösung mit Chlornatriumlösungen.

berechnet aus				Dissoziationsgrad von KNO_3 mit den Cuphea-Haaren bestimmt				
der Gefrierpunkts- erniedrigung		der Siedepunkts- erhöhung		Dissoziationsgrad von NaCl berechnet aus				Stillstand oder Zusammen- ziehung
NaCl	KNO_3	NaCl	KNO_3	dem elektrolytischen Leitvermögen		der Gefrier- punkts- erniedrigung	der Siede- punkts- erhöhung	
				nach dem Volumen der Lösung	nach dem Ge- wicht d. Lö- sungsmittels			
0,85	0,71	0,85	0,78	0,80	0,79	0,84	0,84	Z
0,85	0,66	0,85	0,76	0,55	0,54	0,59	0,59	Z
0,83	0,64	0,86	0,75	0,72	0,71	0,77	0,80	Z
0,83	0,63	0,86	0,75	0,67	0,66	0,71	0,74	Z
0,82	0,63	0,86	0,75	0,85	0,84	0,89	0,93	Z
0,82	0,58	0,86	0,74	0,57	0,56	0,60	0,64	Z
0,81	0,59	0,86	0,74	0,70	0,68	0,73	0,78	Z
0,81	0,55	0,86	0,73	0,64	0,62	0,66	0,71	S
0,81	0,53	0,87	0,73	0,70	0,69	0,74	0,80	Z
0,80	0,48	0,87	0,72	0,56	0,55	0,60	0,66	Z
0,80	0,49	0,87	0,73	0,63	0,61	0,67	0,73	Z
0,80	0,47	0,87	0,72	0,55	0,53	0,59	0,65	Z
0,80	0,39	0,89	0,70	0,44	0,41	0,49	0,56	Z
0,82	0,57	0,86	0,74	0,64	0,63	0,68	0,73	

in wässriger Lösung mit Chlornatriumlösungen.

Dissoziationsgrad berechnet aus				Dissoziationsgrad von K_2SO_4 mit den Cuphea-Haaren bestimmt			
dem elektro- lytischen Leit- vermögen		der Gefrierpunkts- erniedrigung		Dissoziationsgrad von NaCl berechnet aus			Stillstand oder Zu- sammenziehung
				dem elektrolytischen Leitvermögen		der Gefrierpunkts- erniedrigung	
NaCl	K_2SO_4	NaCl	K_2SO_4	nach dem Volumen der Lösung	nach dem Gewicht des Lösungs- mittels		
0,79	0,60	0,85	0,59	0,51	0,50	0,53	Z
0,77	0,58	0,83	0,56	0,59	0,58	0,62	S
0,77	0,59	0,82	0,57	0,73	0,72	0,76	S
0,77	0,59	0,82	0,56	0,70	0,69	0,73	S
0,73	0,54	0,80	0,48	0,48	0,47	0,50	S
0,73	0,53	0,80	0,48	0,46	0,45	0,49	S
0,72	0,53	0,80	0,47	0,47	0,46	0,51	S
0,72	0,52	0,80	0,46	0,47	0,46	0,51	S
	0,56		0,52	0,55	0,54	0,58	

Bestimmung des Molekulargewichts von

Versuchsnummer	Isotonische Lösungen					
	Gramm des gelösten Stoffes in 100 g Wasser		Mol des gelösten Stoffes in 1000 g Wasser		Mol des gelösten Stoffes in 1000 ccm Lösung	
	$C_{12}H_{22}O_{11}$	NaCl	$C_{12}H_{22}O_{11}$	NaCl	$C_{12}H_{22}O_{11}$	NaCl
1	29	2,8	0,847	0,479	0,719	0,475
2	30	2,9	0,877	0,496	0,740	0,489
3	30	3,05	0,877	0,521	0,740	0,516
4	36	3,7	1,052	0,633	0,861	0,626
5	14,600	1,469	0,427	0,251	0,392	0,250
6	16,475	1,617	0,481	0,276	0,437	0,275
7	28,528	2,579	0,834	0,441	0,708	0,437
8	13,922	1,395	0,407	0,238	0,375	0,2375
9	16,475	1,617	0,481	0,276	0,437	0,275
10	27,715	2,505	0,810	0,428	0,692	0,425

Bestimmung des Molekulargewichts von

Versuchsnummer	Isotonische Lösungen					
	Gramm des gelösten Stoffes in 100 g Wasser		Mol des gelösten Stoffes in 1000 g Wasser		Mol des gelösten Stoffes in 1000 ccm Lösung	
	$C_3H_8O_3$	NaCl	$C_3H_8O_3$	NaCl	$C_3H_8O_3$	NaCl
1	4,162	1,395	0,452	0,238	0,4375	0,2375
2	4,410	1,506	0,479	0,257	0,4625	0,256
3	4,286	1,617	0,465	0,276	0,450	0,275
4	4,534	1,617	0,492	0,276	0,475	0,275
5	8,487	3,099	0,922	0,530	0,8625	0,525
6	9,141	3,297	0,993	0,564	0,925	0,558

Saccharose mit Chlornatriumlösungen.

Dissoziationsgrad von NaCl berechnet aus			Molekulargewicht von Saccharose mit den Cuphea-Haaren bestimmt				
dem elektrolytischen Leitvermögen	der Gefrierpunkts- erniedrigung	der Siedepunkts- erhöhung	Dissoziationsgrad von NaCl berechnet aus			Stillstand oder Zusammenziehung	
			dem elektro- lytischen Leit- vermögen		der Gefrierpunkts- erniedrigung		der Siedepunkts- erhöhung
			nach dem Volumen der Lösung	nach dem Gewicht des Lösungs- mittels			
0,74	0,80	0,87	297,7	347,9	336,4	323,8	S
0,74	0,80	0,87	297,6	347,6	336,0	323,4	S
0,73	0,80	0,87	283,7	332,8	319,9	307,9	S
0,72	0,80	0,87	273,6	330,7	316,0	304,1	S
0,79	0,84	0,86	299,8	325,0	311,1	312,7	Z
0,78	0,83	0,86	305,5	335,3	326,2	320,9	Z
0,75	0,81	0,86	316,8	369,7	357,4	347,8	Z
0,79	0,85	0,87	301,8	326,8	316,2	312,8	S
0,78	0,83	0,86	305,5	335,3	326,2	320,9	S
0,75	0,81	0,85	318,4	370,0	357,8	350,3	S
im Durchschnitt:			300,0	342,1	330,3	322,5	

Glyzerin mit Chlornatriumlösungen.

Dissoziationsgrad von NaCl berechnet aus			Molekulargewicht von Glyzerin mit den Cuphea-Haaren bestimmt				
dem elektrolytischen Leitvermögen	der Gefrierpunkts- erniedrigung	der Siedepunkts- erhöhung	Dissoziationsgrad von NaCl berechnet aus			Stillstand oder Zusammenziehung	
			dem elektro- lytischen Leit- vermögen		der Gefrierpunkts- erniedrigung		der Siedepunkts- erhöhung
			nach dem Volumen der Lösung	nach dem Gewicht des Lösungs- mittels			
0,79	0,85	0,85	94,8	97,7	94,5	94,5	S
0,78	0,84	0,85	93,5	96,4	93,3	92,8	Z
0,78	0,83	0,86	84,7	87,2	84,9	83,5	S
0,78	0,83	0,86	89,4	92,3	89,8	88,3	Z
0,73	0,79	0,87	87,5	92,6	89,5	85,6	S
0,73	0,79	0,87	88,2	93,7	90,5	86,7	Z
	im Durchschnitt:		89,7	93,3	90,4	88,6	

Saccharosemoleküle wie Moleküle und Ionen .Chlornatrium vorhanden sind. Wenn man berücksichtigt, daß das Molekulargewicht der Saccharose 342,2 ist, so muß man gestehen, daß das oben erwähnte Resultat eigentlich über Erwarten günstig ist, und daß sehr wahrscheinlich das Resultat von 10 anderen Bestimmungen weniger genau sein würde. Berücksichtigt man jede Bestimmung an und für sich, so sieht man, daß einige einige Prozente, von 5—8, zu hoch oder zu niedrig sind, aber bei der Bestimmung des Durchschnittswertes heben die Fehler einander auf.

Bei der Bestimmung des Molekulargewichtes des Glycerins erzielte ich als Durchschnittswert von sechs Werten 93,3 anstatt 92,1, also auch ein sehr befriedigendes Ergebnis, besonders wenn man berücksichtigt, daß das Protoplasma Glycerin merklich durchgehen läßt und man deshalb ein zu hohes Ergebnis erwarten konnte. Unter letzteren Bestimmungen gibt es solche, die 5 oder 6 Prozent zu hoch oder zu niedrig sind, aber auch in diesem Fall heben die Fehler einander fast ganz auf.

Wenn man bei der Berechnung des Molekulargewichtes von der Annahme ausgeht, daß in gleichen Volumina isotonischer Lösungen gleichviel Moleküle oder Moleküle und Ionen sind, so weichen die Ergebnisse mehr von den wirklichen Molekulargewichten ab und das gleiche ist der Fall, wenn der Dissoziationsgrad aus der Gefrierpunkts-erniedrigung und der Siedepunktserhöhung berechnet wird (s. Tabellen). Bei der Bestimmung des Dissoziationsgrades von Elektrolyten kam ich im allgemeinen zu ähnlichen Resultaten; nur Kaliumnitrat macht eine Ausnahme (s. Tabellen).

Im allgemeinen kann man die mit den Cuphea-Samenhaaren erzielten Resultate sehr befriedigend nennen. Diese neue biologische Methode zur Bestimmung des Molekulargewichtes und des Dissoziationsgrades kann mit physikalischen Methoden in Genauigkeit wetteifern. Die Ergebnisse der physikalischen Methoden für die Bestimmung des Molekulargewichtes und des Dissoziationsgrades weichen manchmal bedeutend mehr voneinander ab als die Ergebnisse der oben beschriebenen biologischen Methode von denen, welche man aus den Werten des elektrolytischen Leitvermögens herleiten kann. Von den verschiedenen physikalischen Methoden ist letztere wohl die genaueste. Nach meiner Meinung kann die neue biologische Methode in zweifelhaften Fällen ebensowohl zur Kenntnis des Molekulargewichtes beitragen wie die plasmolytische Methode von Hugo de Vries zur Bestimmung des Molekulargewichtes der Raffinose beigetragen hat.

Vorteile der Methode mit den Cupheasamen sind erstens die geringe Zeit, welche sie beansprucht, zweitens ihre geringen technischen Schwierigkeiten und drittens die leichte Weise, auf welche man das Untersuchungsmaterial aufbewahren kann, so daß man es jederzeit zur Verfügung hat. Vorzugsweise bewahrte ich es in einer Konservierungsflasche unter ungelöschtem Kalk.

Versuche über Permeabilität.

Die Permeabilität des Protoplasmas für verschiedene Stoffe hat man bei den Pflanzenzellen besonders mittels der plasmolytischen Methode studiert. Aus der Tatsache, daß eine eingetretene Plasmolyse nach einiger Zeit wieder verschwindet, schloß man auf die Permeabilität des Protoplasmas für die in der Lösung sich befindenden Stoffe. Auch erklärt man mittels der Permeabilität, wie es kommt, daß die Lösungen vieler Stoffe, um Plasmolyse hervorzurufen, konzentrierter sein mußten als diejenigen anderer Stoffe, die das Protoplasma nicht durchgehen läßt. Von Overton, der besonders ausführliche Untersuchungen über die Permeabilität des Protoplasmas angestellt hat, rühren die sogenannten Permeabilitätsregeln her. Er bringt die Stoffe, je nachdem sie schneller oder langsamer durch das Protoplasma gehen, in verschiedene Kategorien. Alle erdenklichen Fälle kommen nach Overton vor. Es gibt Stoffe, die sehr schnell durch das Protoplasma gehen und Stoffe, die das Protoplasma nicht oder unmerkbar durchgehen läßt. Zu den letzteren rechnet Overton die neutralen Alkali- und Erdalkalisalze. Diese Stoffe scheinen wohl die größten Schwierigkeiten zu liefern und die meisten Meinungsverschiedenheiten veranlaßt zu haben, sofern es die Frage betrifft, ob sie durch das Protoplasma gehen können oder nicht¹⁾. Dies veranlaßte mich auch mit einigen dieser Salze Versuche anzustellen. Die Permeabilität der Protoplasmaschicht in den Epidermiszellen und Haaren der Cupheasamen zeigt sich dadurch, daß sich die Haare, nachdem man mit einer hypertonischen Lösung die Umstülpung derselben zum Stillstand gebracht und eine geringe Zusammenziehung hervorgerufen hat, nach kürzerer oder längerer Zeit wieder verlängern und die Umstülpung, sei es denn auch langsam, weiter geht.

Bei der verhältnismäßig kleinen Anzahl von Stoffen, mit welchen ich experimentiert habe, konnte ich alle erdenklichen Übergänge von sehr permeabel bis fast impermeabel auffinden. Für Alkohol, Ureum

1) R. Höber, Physikalische Chemie der Zelle und der Gewebe, 1914, 4. Auf., pag. 359 f.

und Antipyrin ist das Protoplasma der Epidermiszellen sehr permeabel. Erst mit Spiritus von 40 und 50 Vol.-Proz., was mit 6,9 und 8,6 Mol Alkohol in 1 l des Gemisches übereinstimmt, gelang es, die Umstülpung der Haare zum Stillstand zu bringen und Zusammenziehung hervorzurufen, während in anderen Fällen, wenn das Protoplasma für den gelösten Stoff nahezu impermeabel ist, gewöhnlich eine Konzentration von 1 Mol per Liter genügt. Nach einiger Zeit verlängerten die Haare sich wieder.

In Ureumlösungen von 1 und 2 Mol Ureum per Liter Lösung fand Zusammenziehung der Haare statt, aber nach einigen Minuten trat wieder Verlängerung und Umstülpung ein. In einer Ureumlösung von 1 g Ureum auf 1 g Wasser, deshalb gut 8,3 Mol auf 1000 g Lösung oder 16,6 Mol auf 1000 g Wasser, fand starke Zusammenziehung statt, aber nach einer Viertelstunde verlängerten die Haare sich wieder und nach einer Stunde ging die Umstülpung wieder regelmäßig weiter.

Nach Überführung von Präparaten mit austretenden Haaren in 50%ige Antipyrinlösung, also in eine Lösung von gut 2,65 Mol Antipyrin auf 1000 g Lösung oder 5,3 Mol auf 1000 g Wasser, konnte ich noch Umstülpung der Haare beobachten. Bald erschien ein Präzipitat im Zellsaft, das aus Kügelchen bestand, die sich zu größeren Kugeln vereinigten. Das baldige Entstehen dieses Präzipitates zeigt auch, daß das Protoplasma Antipyrin leicht durchgehen läßt.

Die Permeabilität der Plasmaschicht in den Epidermiszellen und Haaren für Glyzerin ist geringer als für die drei obengenannten Stoffe, aber sie kann doch leicht nachgewiesen werden. Wenn man Haare in hypertonische Glyzerinlösungen bringt, die gerade hinreichend konzentriert sind, um eine geringe Zusammenziehung hervorzurufen, so kann man nach einigen Minuten konstatieren, daß die Haare sich wieder verlängern. Wenn man die Haare sukzessive in stärkere Glyzerinlösungen überführt, deren Konzentrationen mit $\frac{1}{20}$ Mol per Liter Lösung aufsteigen, so kann man jedesmal bei den Haaren nach einer geringen Zusammenziehung wieder Verlängerung beobachten.

Hier unten folgt eine Angabe der Verlängerung von drei Haaren in hypertonischen Glyzerinlösungen. In der ersten Spalte sind diejenigen Konzentrationen in Mol per L Lösung angegeben, die eben genügten, um eine geringe Zusammenziehung der Haare zu verursachen, in der zweiten Spalte diejenigen Konzentrationen der Lösungen, in welchen die Präparate während einiger Zeit aufbewahrt wurden und in der dritten Spalte die Länge der Haare in μ zu verschiedenen Zeitpunkten.

Glyzerin.

1	1	11.55: 80, 1.5: 440, 2 Uhr: 1360, 2.10: ganz umgestülpt 1600.
0,950	1	11.55: 180, 1.15: 490, 2.30: ganz umgestülpt.
0,475	0,6	11.50: 264, 3.15: 336, 3.30: 404, 5.30: 580, 11.30: ganz umgestülpt 1320.

Zu den Stoffen, für welche das Protoplasma sehr wenig oder nicht permeabel ist, gehören auch die Salze der Alkalien. Besonders habe ich Versuche mit Chlornatrium und Kaliumnitrat angestellt, um die Frage zu lösen, ob das Protoplasma genannte Salze durchgehen läßt oder nicht. Die Präparate brachte ich in hypertonische Lösungen, deren Konzentrationen gerade genügten, um eine geringe Zusammenziehung der Haare zu verursachen. Um der Verdunstung vorzubeugen, brachte ich die Präparate mit der Lösung in Röhrchen, die mit einem Kork geschlossen wurden. In den folgenden Tabellen sind die erzielten Resultate zusammengefaßt. In der ersten Spalte sind die Konzentrationen der Lösungen in Mol per Liter Lösung angegeben, die noch eben eine geringe Zusammenziehung der Haare verursachten und in welchen die Präparate in den meisten Fällen aufbewahrt wurden. Wenn sie aber in eine konzentriertere Lösung übergeführt wurden, so ist solches in der zweiten Spalte angegeben. In der dritten Spalte ist die Länge der Haare zu verschiedenen Zeitpunkten in μ angegeben.

Chlornatrium.

0,400		9 $\frac{1}{2}$ Uhr: 277, 10 $\frac{1}{2}$ Uhr: 277, 2 Uhr: 315, 3 Uhr: 345, 3 $\frac{1}{2}$ Uhr: 352.
0,450		10 Uhr: 120, 10 $\frac{1}{2}$ Uhr: 127, 11 $\frac{1}{2}$ Uhr: 127, 2 Uhr: 180, 4 Uhr: 225.
0,450		5. Aug. 9.50: 367, 11.20: 367, 2 Uhr: 382, 3 $\frac{1}{2}$ Uhr: 389, 8 $\frac{3}{4}$ Uhr: 396, 6. Aug. abends 7 $\frac{3}{4}$ Uhr: 750, 11 $\frac{1}{4}$ Uhr: 885, 7. Aug. mittags 12 Uhr: 1185, 5 Uhr: 1230, 10 Uhr: 1305.
0,450		5. Aug. 9.50: 150, 11.20: 150, 2 Uhr: 165, 3 $\frac{1}{2}$ Uhr: 180, 8 $\frac{3}{4}$ Uhr: 240, 6. Aug. abends 7 $\frac{3}{4}$ Uhr: 660, 11 $\frac{1}{4}$ Uhr: 735, 7. Aug. mittags 12 Uhr: 990, 5 Uhr: 1095, 10 Uhr: 1290.
0,500		2 Uhr: 472, 7 Uhr: 630.
0,525		25. Sept. morgens: 124, 26. Sept. morgens: 220.
0,700		11 Uhr: 300, 2 Uhr: 300, 5 Uhr: 420.
0,600	0,700	4. Aug. 9 $\frac{1}{4}$ Uhr: 75, 11 $\frac{3}{4}$ Uhr: 127, danach übergeführt in stärkere Lösung, 4. Aug. 2 Uhr: 135, 5. Aug. 11 Uhr: 180, 2 Uhr: 180, 6. Aug. abends 11 Uhr: 202, 7. Aug. morgens 11 $\frac{1}{2}$ Uhr: 210.
0,550	0,650	26. Sept. 11 Uhr: 170, 27. Sept. 11 Uhr: 1160, 28. Sept. 2 Uhr: ganz umgestülpt 1848.
0,475	0,675	29. Sept. 11 $\frac{1}{2}$ Uhr: 152, 30. Sept. 1 Uhr: 640, 2. Okt.: ganz umgestülpt.
0,475	0,775	7. Okt. morgens 11 $\frac{1}{2}$ Uhr: 172, abends 11 $\frac{1}{2}$ Uhr: 164, 8. Okt. morgens 10 $\frac{1}{2}$ Uhr: 172, abends 11 $\frac{1}{2}$ Uhr: 176, 9. Okt. mittags 1 $\frac{1}{2}$ Uhr: 200, 10. Okt. morgens 9 Uhr: 260.

Kaliumnitrat.

0,350		10 Uhr: 375, 11 Uhr: 375, 2 Uhr: 900, 2½ Uhr: 1200, 3 Uhr: 1305.
0,400		1. Tag: 120, 2. Tag: 157, 3. Tag: 180.
0,475		10 Uhr: 247, 10½ Uhr: 270, 11½ Uhr: 277, 2 Uhr: 285, 3¾ Uhr: 285.
0,500		10.50: 300, 11.25: 315, 2 Uhr: 555, 5 Uhr: 855, 9 Uhr: 892, am folgenden Tage abends 8 Uhr: ganz umgestülpt.
0,575		Mittags 12 Uhr: 224, 5 Uhr: 500, am folgenden Tage nachmittags 4 Uhr: ganz umgestülpt 1440.
0,600		9½ Uhr: 142, 12 Uhr: 157, 2.20: 172, 3 Uhr: 232.
0,600		2¾ Uhr: 150, 4 Uhr: 292, 5 Uhr: 405, am folgenden Morgen: ganz umgestülpt.
0,775		10 Uhr: 165, 11½ Uhr: 195.
1		11½ Uhr: 375, 2 Uhr: 855, 3 Uhr: ganz umgestülpt.
1		11½ Uhr: 570, 2 Uhr: 1125.
0,575	0,775	5. Okt. 4 Uhr: 152, 6. Okt. 9½ Uhr: 836, 7. Okt. 4 Uhr: 1148, 9½ Uhr: ganz umgestülpt.
0,450	0,750	6. Okt. 11½ Uhr: 252, 4 Uhr: 368, 7. Okt. 9½ Uhr: 1044, 11½ Uhr: 1356.
0,550	0,850	9. Okt. 11 Uhr: 256, 4 Uhr: 440, 10. Okt. 9 Uhr: ganz umgestülpt.

Wie aus den beiden vorstehenden Tabellen ersichtlich ist, geht sowohl Chlornatrium als Kaliumnitrat durch das Protoplasma, was man im Zusammenhang mit der bedeutenden physiologischen Rolle, welche genannte Salze im Pflanzenreich spielen, erwarten konnte. Das Eindringen zeigt sich bei dem einen Versuch etwas eher und deutlicher als bei dem anderen, was wahrscheinlich auch damit zusammenhängt, daß die angewendete Salzlösung in dem einen Fall etwas mehr hypertonisch ist als im anderen. In einer Chlornatriumlösung, die in höherem Grade als die anderen Chlornatriumlösungen hypertonisch war, blieben die Haare während des ganzen ersten Tages verkürzt, später verlängerten sie sich wieder, erreichten ihre anfängliche Länge, und danach ging die Verlängerung weiter. Wenn ich einen Versuch lange Zeit fortsetzte, so konnte ich oft eine völlige Umstülpung des Haares konstatieren. Wenn die Präparate in Wasser übergeführt wurden, so fand bei den Haaren bald eine völlige, ganz normale Umstülpung statt.

Die Permeabilität der Protoplasten der Epidermiszellen ist für Saccharose weniger leicht nachzuweisen als für Chlornatrium und Kaliumnitrat, wie aus der folgenden Tabelle ersichtlich ist.

Saccharose.

0,450		1. Tag morgens 10 Uhr: 196, 10½ Uhr: 196, 11 Uhr: 196, nachts 12 Uhr: 200, 2. Tag abends 11½ Uhr: 200, 3. Tag abends 11½ Uhr: 200.
0,450		1. Tag 11½ Uhr: 260, nachts 12 Uhr: 268, 2. Tag abends 11½ Uhr: 260, 3. Tag abends 11½ Uhr: 260.
0,450		3 Uhr: 190, 11½ Uhr: 208.

0,475		3 Uhr: 296, 11 $\frac{1}{2}$ Uhr: 332, am folgenden Tage abends 11 $\frac{1}{2}$ Uhr: 340.
0,500		10. Nov. 3 Uhr: 252, 11. Nov. 1 $\frac{1}{2}$ Uhr: 256, 13. Nov. 2 $\frac{1}{2}$ Uhr: 252.
0,525		10. Nov. 3 $\frac{1}{2}$ Uhr: 396, 11. Nov. 1 $\frac{1}{2}$ Uhr: 400, 13. Nov. 2 $\frac{1}{2}$ Uhr: 392.
0,675		6. Nov. 3 Uhr: 190, 10. Nov. morgens 9 Uhr: 220, 13. Nov.: 220.
0,825		13. Nov. 3 $\frac{1}{2}$ Uhr: 352, 14. Nov. morgens 10 $\frac{3}{4}$ Uhr: 352.
0,400	0,500	1. Tag mittags 12 Uhr: 148, nachts 12 Uhr: 144, 2. Tag nachts 12 Uhr: 140, 3. Tag nachts 12 Uhr: 140.
0,675	0,775	6. Nov. 3 Uhr: 134, 10. Nov. morgens 9 Uhr: 130.
0,725	0,800	13. Nov. 4 Uhr: 112, 14. Nov. morgens 11 Uhr: 108, 15. Nov. 4 Uhr: 106.

Aus vorstehender Tabelle geht hervor, daß die Saccharoselösungen nur in sehr geringem Maße hypertonisch sein dürfen, will man noch eine Verlängerung der Haare beobachten. In stärkeren Lösungen tritt keine Verlängerung ein, dagegen wohl eine Zusammenziehung. In Lösungen, die in sehr geringem Maße hypertonisch sind, tritt die Verlängerung oft erst nach geraumer Zeit ein, worauf manchmal später eine geringe Zusammenziehung folgt. Oft habe ich konstatieren können, daß diese Zusammenziehung mit einer Streckung des noch nicht umgestülpten Teiles des Haares verbunden war, der sich z. B. von 266 μ bis auf 298 μ oder von 280 μ bis auf 336 μ verlängerte. Die Zusammenziehung des Haares und die Streckung des noch nicht umgestülpten Teiles zeigen beide, daß der Turgor abgenommen hat, was gewiß wohl mit einer geringen Permeabilität des Protoplasmas für die im Zellsaft gelöste Substanz zusammenhängt, von welcher mehr Moleküle aus dem Protoplast treten als Saccharosemoleküle in denselben eindringen.

Wenn die Präparate aus den Zuckerlösungen in Wasser übergeführt wurden, so fand immer eine völlige Umstülpung der Haare statt, welche ganz normal verlief. Während der Versuche hatten die Protoplasten offenbar nicht oder wenigstens nicht merkbar gelitten.

Aus den Versuchen mit Saccharoselösungen schließe ich, daß die Protoplasten der Epidermiszellen der Cupheasamen für Saccharose zwar einigermaßen permeabel sind, aber in geringerem Grade als für Chlor-natrium und Kaliumnitrat.

Außer mit den obenerwähnten Stoffen habe ich noch mit einigen anderen Versuche über Permeabilität angestellt, wobei infolge ihrer nachteiligen Wirkung Komplikationen eintraten.

Die nachstehende Tabelle bezieht sich auf die Ergebnisse, die ich mit Lösungen der Weinsäure erhielt.

Weinsäure.

0,575		20. Nov. 11 Uhr: 202, 21. Nov. 3 Uhr: 208, 23. Nov. 3 Uhr: 184, 24. Nov. 11 Uhr: 184.
0,650		20. Nov. 11 Uhr: 156, 21. Nov. 3 Uhr: 160, 23. Nov. 3 Uhr: 140, 24. Nov. 10 Uhr: 132.
0,750		27. Nov. 4 $\frac{1}{2}$ Uhr: 456, 28. Nov. 9 $\frac{1}{2}$ Uhr: 464, 29. Nov. 2 Uhr: 448.
0,650	0,700	20. Nov. 4 Uhr: 252, 21. Nov. 3 Uhr: 388, 23. Nov. 3 Uhr: 336, 24. Nov. 10 Uhr: 324.

Aus vorstehender Tabelle ist ersichtlich, daß die Haare in hypertonen Weinsäurelösungen sich mehr oder weniger verlängern können, woraus ich schließe, daß Weinsäure durch den Protoplast geht und den osmotischen Druck in der Zelle erhöht. Später ziehen die Haare sich zusammen. Bringt man sie danach in Wasser, so verlängern sie sich wieder, aber nur sehr langsam, und mittels Weinsäurelösungen verschiedener Konzentration kann man feststellen, daß der osmotische Druck abgenommen hat. Die Lösungen, mit welchen ich Zusammenziehung hervorrief, waren bedeutend schwächer als die, welche beim Anfang des Versuches Zusammenziehung verursachten. Statt einer Konzentration von 0,575 und 0,650 Mol Weinsäure per Liter Lösung genügte eine Konzentration von 0,400 Mol. Der noch nicht umgestülpte Teil des Haares hatte sich manchmal mehr oder weniger gestreckt und war oft von dem umgestülpten Teil straff umschlossen. Nie wurde nach Überführung in Wasser die Umstülpung vollkommen. Die Weinsäure scheint auf die Dauer nachteilig auf den Protoplast einzuwirken, der im Zellsaft gelösten Stoff durchgehen läßt, wodurch der osmotische Druck abnimmt.

Oxalsäure läßt der Protoplast schneller passieren als Weinsäure. Wenn bei einem Haar mittels einer in geringem Maße hypertonen Oxalsäurelösung eine geringe Zusammenziehung verursacht worden ist, so nimmt es bald wieder seine anfängliche Länge an, wonach die Verlängerung langsam weitergeht. Die Umstülpung wird jedoch oft nicht vollkommen, selbst nicht nach Überführung in Wasser. Ein langes Liegen in der Oxalsäurelösung führt selbst zu einer Zusammenziehung der Haare. Auch zeigen die Haare manchmal noch andere Abweichungen. Der nicht umgestülpte Teil hatte sich oft einigermaßen gestreckt. In der folgenden Tabelle sind einige der mit Oxalsäure erzielten Resultate angegeben.

Oxalsäure.

0,750		27. Nov. 3 $\frac{1}{2}$ Uhr: 152, 28. Nov. 2 $\frac{1}{2}$ Uhr: 760.
0,750		27. Nov. 4 $\frac{1}{2}$ Uhr: 312, 28. Nov. 3 Uhr: 408, 29. Nov. 3 Uhr: 384, 30. Nov. 3 Uhr: 376.
0,550	0,750	28. Nov. 5 Uhr: 210, 29. Nov. 2 $\frac{1}{2}$ Uhr: 808.

Nachteiliger als Weinsäure und Oxalsäure wirkt Kupfersulfat ein. Nur einmal habe ich in einer hypertonischen Lösung Zusammenziehung der Haare feststellen können. Gewöhnlich ziehen die Haare sich bald zusammen, was mit Abnahme des osmotischen Druckes verbunden ist.

Während ich im Anfang mit einer Kupfersulfatlösung von 0,825 Mol per Liter Lösung geringe Zusammenziehung hervorrufen konnte, gelang das später nach vorhergehender Überführung in Wasser schon mit Lösungen von 0,525 und 0,425 Mol. Oft konnte ich eine bedeutende Streckung des noch nicht umgestülpten Teiles des Haares beobachten, z. B. von $176\ \mu$ bis auf $220\ \mu$. Die umgestülpte Wand umschloß oft straff den nicht umgestülpten Teil des Haares. Wenn die Haare nicht länger als einige Stunden in hypertonischer Kupfersulfatlösung gelegen haben, so kann nach Überführung in Wasser noch vollständige Umstülpung stattfinden. Nach einem längeren Verweilen in der Kupfersulfatlösung kann man nach Überführung der Präparate in Wasser zwar noch eine langsame Verlängerung der Haare konstatieren, aber zu einer völligen Umstülpung kommt es nicht. Die folgende Tabelle bezieht sich auf die Versuche mit den Kupfersulfatlösungen.

Kupfersulfat.

0,750	0,900	11 Uhr: 160, 2½ Uhr: 148.
0,825		1. Tag 4 Uhr: 240, 2. Tag morgens 10 Uhr: 228.
0,850		1. Tag 4 Uhr: 712, 2. Tag morgens 11 Uhr: 636.
0,925		Mittags 12 Uhr: 260, abends 10 Uhr: 232.
0,875		1. Tag 5 Uhr: 200, 8 Uhr: 204, 2. Tag abends 11 Uhr: 160, 3. Tag nachts 12 Uhr: 140.

Aus den vorstehenden Mitteilungen über die Permeabilität des Protoplasmas der Epidermiszellen der Cupheasamen folgt, daß dasselbe alle geprüften Stoffe durchgehen läßt, aber in sehr verschiedenem Maße. Demzufolge ist die Permeabilität für den einen Stoff viel leichter nachweisbar als für den anderen. Giftig auf den Protoplast einwirkende Stoffe verursachen besondere Schwierigkeiten. Für alle geprüfte Stoffe gelang es aber die Permeabilität des Protoplasmas nachzuweisen, auch für Alkalisalze und Saccharose.

Lohnend ist es, die bei Cuphea erzielten Resultate mit denen Overtons zu vergleichen, was zu den folgenden Bemerkungen führt. Im allgemeinen stimmen meine Resultate mit denen von Overton überein. In einigen Punkten weichen beide voneinander ab, was ich dem Umstande zuschreibe, daß Overton mit anderen Objekten Versuche angestellt hat, als ich benutzte. Verschiedene Protoplasten zeigen deshalb Verschiedenheiten in ihrer Permeabilität.

Wie Overton fand ich, daß Äthylalkohol und Antipyrin sehr schnell das Protoplasma passieren. Nach Overton dringen Glyzerin und Ureum bedeutend langsamer in den Protoplast ein und Ureum langsamer als Glyzerin. Ich fand bei den Epidermiszellen der Cupheasamen auch, daß Glyzerin viel langsamer den Protoplast passiert als Alkohol und Antipyrin, was aber Ureum betrifft, so gelangte ich zu einem anderen Resultat. Dieser Stoff dringt bei der Samenepidermis von Cuphea auch sehr schnell in den Protoplast ein. Die Protoplasten verhalten sich deshalb nicht nur verschieden zu verschiedenen Stoffen, sondern sie zeigen überdies auch untereinander Verschiedenheiten.

Schon im Jahre 1888 hat Hugo de Vries¹⁾ auf eine derartige Verschiedenheit aufmerksam gemacht. In seiner Abhandlung „Osmotische Versuche mit lebenden Membranen“ erwähnt dieser Forscher: „Die einzige bis jetzt bekannte Ausnahme bildet bei *Tradescantia* das Glyzerin, welches aus unbekannten physiologischen Gründen von den Protoplasten leicht durchgelassen wird. In den roten Zellen der *Begonia* ist solches aber nicht der Fall; mit diesen Zellen gelang es mir denn auch den isotonischen Koeffizienten dieses Körpers genau zu ermitteln.“

Ich glaube, daß es empfehlenswert ist, bei dem Studium der Permeabilität noch mehr als es bis jetzt der Fall ist, die Verschiedenheiten der Protoplasten zu berücksichtigen. Wahrscheinlich wird dies neues Licht auf diese Erscheinung werfen, welche man auf verschiedene Weise zu erklären versucht hat, was zu dem Aufstellen verschiedener Theorien Veranlassung gegeben hat, welche Theorien die Verschiedenheiten der Protoplasten nicht berühren und in der Wissenschaft nebeneinander ihre Stelle einnehmen. Die Untersuchungen nach einer Erklärung der Permeabilität sind deshalb vorläufig durchaus noch nicht abgeschlossen.

1) l. c. pag. 418.

Inhalt.

	Seite
Einleitung	359
Unsere gegenwärtige Kenntnis der Epidermiszellen der Samen der Lythraceen	364
Der Bau der Epidermiszellen der Samen von <i>Cuphea lanceolata</i>	365
Die Umstülpung der Haare	374
Die Erklärung der Umstülpung	378
Bestimmung des Molekulargewichts und des Dissociationsgrades von Elektrolyten	397
Versuche über Permeabilität	413