

Zur Kenntnis des Wachstumsmechanismus der pflanzlichen Zelle.

(I. Vorläufige Mitteilung.)

Von

Dr. W. W. Lepeschkin

St. Petersburg, Technolog. Institut, Botan. Laboratorium.

Einleitung.

Da ich in einer später zu publizierenden Abhandlung eine ausführliche kritische Besprechung der vorhandenen Wachstumstheorien der pflanzlichen Zelle zu bringen beabsichtige, möchte ich hier nur eine skizzenhafte Darlegung der Prinzipien dieser Theorien anführen. Da die pflanzliche Zelle gewöhnlich das ganze Leben hindurch in einer festen Haut eingekapselt ist, so laufen natürlich auch alle die Wachstumstheorien zunächst noch immer auf die Theorien des Zellwandwachstums hinaus. Die Vorgänge, die sich im Innern des Protoplasmas abspielen und zur Vermehrung der lebendigen Substanz bestimmt sind, blieben bis jetzt nur morphologisch und auch nach dieser Seite hin selbstverständlich nicht bis zur völligen Klarheit untersucht.

Über den Mechanismus des Zellhautwachstums werden bekanntlich zweierlei Hypothesen ausgesprochen. Entweder soll die Kraft für die Flächenvergrößerung durch den Turgor oder durch die Einlagerung von festen resp. flüssigen Stoffen in die Zellwand geliefert werden. Während die letztere Wachstumsart an Polenkörnern¹⁾ und einigen Algenarten (*Gloeocapsa* u. dergl.)²⁾ mit Sicherheit bewiesen wurde, konnte die erstere mit Ausnahme von *Oedogonium* in keinem Falle einleuchtend festgestellt werden. Es wurde nämlich niemals gefunden, daß die Zellwände bis zur Elastizitätsgrenze gespannt sind, um durch den Turgordruck plastisch gedehnt werden zu können.³⁾ Ich unterlasse es, hier auf die Besprechung der Möglichkeit des Zellwandwachstums ohne eine Dehnung bis zur Elastizitätsgrenze einzugehen, möchte aber darauf aufmerksam machen, daß die wachsenden Regionen der höheren Pflanzen und die Thallophyten in Bezug auf die Wandspannung kritisch und experimentell noch nicht in genügender Weise geprüft wurden.

¹⁾ Straßburger, Jahrb. f. wiss. Botan. 1898. S. 590.

²⁾ Correns, Flora. 1889. S. 298.

³⁾ Pfeffer, Pflanzenphysiologie. II. Aufl. Bd. II. 1901. S. 31.

In der vorliegenden Mitteilung möchte ich nun über meine Versuche, die sich zunächst auf *Spirogyra* beziehen und die erwähnte Frage zu beantworten bestimmt sind, berichten.

Methodisches.

Da die *Spirogyra*-Zellen nur eine dünne Wandschicht des Protoplasmas enthalten, kann der innere Druck in denselben als osmotischer Druck, welcher der Konzentration des Saftes und der Außenlösung entspricht, aufgefaßt werden. Dieser Druck kann begreiflicher Weise durch Variation der Außenkonzentration geändert und ziemlich genau berechnet werden. Wenn wir nun die Dimensionen der Zellen bei völliger Entspannung der Wände (also bei der Plasmolyse) und nachher bei einer gewissen kleineren Konzentration der Außenlösung bestimmen, würden wir auch die absolute und relative Dehnung der Zellwände, die dem für diese Konzentration berechneten inneren Drucke entspricht, erhalten können.

Beobachten wir die Plasmolyse einer *Spirogyra*-Zelle unter dem Mikroskope, so bemerken wir, daß, während sich die Länge der Zelle allmählich verkleinert, die Zellenbreite unverändert bleibt und manchmal sogar etwas zunimmt. Im letztern Falle sind die Zellen nach der Plasmolyse etwas faßförmig angeschwollen.

Unter der Einwirkung des inneren Druckes werden also die Zellen der untersuchten Alge nur in der Längsrichtung gedehnt. Ohne auf die Ursache der erwähnten Erscheinung einzugehen, mache ich hier darauf aufmerksam, daß wir nur die Zellenlänge abzumessen brauchen, um die Größe der Dehnung der Wände abschätzen zu können.

Um eine größere Genauigkeit der Messung der Zellwände zu erreichen und auch individuelle Variationen auszuschließen, wurden in meinen Versuchen nicht einzelne Zellen, sondern ganze Zellfäden gemessen. Einige Tage vor dem Versuche wurden die *Spirogyra*-Fäden stets in Stücke von der Länge 6—9 mm geschnitten. Die durchgeschnittenen Zellen waren gewöhnlich schon in einer Nacht von der übrigen Zellenreihe abgestoßen und die äußeren Querwände der Endzellen konvex geworden, so daß jetzt die einzelnen Stücke wie kleine intakte Fäden aussahen. Danach wurden die auf solche Weise erhaltenen Fäden mittelst eines kleinen Pinsels in einen Wassertropfen auf einen geteilten Objektträger gebracht und dort zwischen zwei festgeklebten (mit schwarzem Siegelack) parallelen Glashaaren eingesetzt. Der geringste Abstand der Haare war gewöhnlich nur etwas kleiner als die Dicke der *Spirogyra*-Fäden, so daß die letzteren zwischen dem Objektträger und den Glashaaren ganz zart gehalten und genau geradlinig gemacht wurden. Auf dem Objektträger waren in der ganzen Ausdehnung eines Zentimeters die Teilungen von $\frac{1}{75}$ cm aufgetragen, so daß die beiden Fadenspitzen genau markiert werden konnten. Die Messung fand in der Weise statt, daß man eine Fadenspitze und die zwei nächst anliegenden Teilungsstriche mittelst eines Zeichenokulars (Leitz) unter starker Vergrößerung abzeichnete und den Abstand der Spitze von den Strichen mit einem genauen Maßstabe bemaß. Aus den Zahlen,

die bei der Messung der beiden Fadenspitzen erhalten wurden, berechnete man alsdann die Länge des Fadens. Die Ätzfiguren der Striche erlaubten eine so genaue Einstellung des mikroskopischen Bildes auf die Zeichnung, daß sich die nacheinander folgenden Messungen der Fadenlänge nur um 0,005 der Teilung, d. h. um 0,012 mm unterschieden. (Der Zeichentisch und das Zeichenokular waren selbstverständlich ganz unbeweglich befestigt.) Auf die beschriebene Weise konnte also schon eine Änderung der Fadenlänge um 0,01 %—0,03 % bemerkt und die Längsdehnung der Zellenwände unter dem inneren Druck aufs genaueste ermittelt werden.

Wie Vorversuche zeigten, mußte bei der Ermittlung der Verkürzung der Fäden in Zuckerlösungen das Wachstum berücksichtigt werden. Dasselbe wurde während 2 Stunden vor dem Versuche an denselben Fäden beobachtet und konnte, da es gewöhnlich nur 12—24 μ pro Stunde betrug, nur einen kleinen Einfluß auf den $\frac{1}{2}$ — $\frac{3}{4}$ Stunde dauernden Versuch haben.

Nachdem die Länge des intakten Fadens ermittelt war, wurde auf dem Objektträger das Wasser durch eine beliebige Zuckerlösung ersetzt (das Zusetzen und Entfernen der Lösung wurde mehrmals wiederholt). Um bei dieser Operation den Faden nicht von den ihn haltenden Glashaaren hinwegzuspülen, wurde derselbe gewöhnlich mit 4—5 senkrecht zu den letzteren gelegten Glashärchen befestigt. Alle Glashaare wurden mittelst Siegelack auf den Objektträger geklebt. Nach dem Ersetzen des Wassers durch eine Zuckerlösung wurde das Ganze mit einem Deckgläschen bedeckt und, um die Verdunstung an den Rändern zu vermeiden, mit Paraffin begossen. Der Faden blieb in der Zuckerlösung je nach der Konzentration derselben $\frac{1}{2}$ —1 Stunde, weil die Beobachtung zeigte, daß die Endfigur der Plasmolyse der *Spirogyra*-Zellen spätestens in $\frac{3}{4}$ Stunde erreicht wird. Nach dem Messen des Fadens wurde gewöhnlich das Deckgläschen und das Paraffin weggenommen und die Zuckerlösung durch die Lösung einer anderen Konzentration ersetzt. Diese Änderung der Konzentrationen wurde oft bis zu 10 mal (gewöhnlich 3—5 mal) vorgenommen. Danach wurde der Faden stets mit J + KJ getötet und nach der Kontraktion des Zellinhalts wieder gemessen.

Versuche.

Wenn die Länge des Fadens, der sich in einer Zuckerlösung von der Konzentration c befindet, L und diejenige des toten Fadens L_0 ist, so ist offenbar $\frac{L-L_0}{L_0}$ die relative Verlängerung des Fadens bei der Erhöhung des inneren Zellendrucks von 0 bis zu einem Drucke p , der die Differenz zwischen dem osmotischen Drucke des Zellsafts p_0 und demjenigen der Außenlösung P_c darstellt. Die Plasmolyse zeigte, daß die Konzentration des Zellsaftes bei der Entspannung der Wände einer 19,3 % Zuckerlösung isotonisch ist. (Die in einem gleichen Wachstumsstadium befindlichen Zellen der von mir untersuchten *Spirogyra*-Art wurden durch diese Lösung gleich stark plasmolysiert.) Weiter wurde gefunden, daß sich das Zellenvolumen bei der Plasmolyse entsprechend der Längenabnahme

ungefähr um 4,1% vermindert. Um die Konzentration des Zellsaftes bei einer beliebigen Außenkonzentration zu berechnen, muß man also die angeführte Saftkonzentration bei der Plasmolyse um so viel Prozente vermindern, als die Berechnung für die Volumenvergrößerung der Zellen bei dieser Außenkonzentration ergibt.

Die nachfolgende Tabelle ist auf Grund von mehreren Versuchen aufgestellt. Hier bedeuten c Außenkonzentration (in %), p_c osmot. Druck der Außenlösung, p derjenige des Zellsaftes bei dem entsprechenden Zellenvolumen, L die Länge des Zellenfadens bei der Konzentration c der Außenlösung, $\frac{L-L_0}{L_0}$ die relative Verlängerung des Fadens bei dieser Konzentration. Die Versuche wurden bei 18° C ausgeführt.

Tabelle I.

c Zuckerkontr. in %	p_c in Atm.	p in Atm.	$p-p_c$	$\frac{L-L_0}{L_0}$	Die Erhöhung von $\frac{L-L_0}{L_0}$ bei der Vergröße- rung des inneren Zellen- drucks um 1 Atm.
19,3	13,3	13,3	0	0	0,0053
16,8	11,6	13,2	1,6	0,0085	0,0056
14	9,6	13	3,4	0,0187	0,0054
12,2	8,4	13	4,6	0,0252	0,0052
10,7	7,4	12,9	5,5	0,0299	0,0035
9,2	6,4	12,9	6,5	0,0344	0,0021
7,7	5,3	12,9	7,6	0,0369	0,0022
6,2	4,3	12,9	8,6	0,0392	0,0012
4,7	3,2	12,8	9,6	0,0404	0,0009
3,2	2,2	12,8	10,6	0,0413	0,0008
1,7	1,2	12,8	11,6	0,0421	0,0005
0,8	0,6	12,8	12,2	0,0424	0,0001
0	0	12,8	12,8	0,0425	

Aus der angeführten Tabelle ersieht man, daß die Verlängerung der Zellen zunächst fast proportional der Erhöhung des inneren Druckes ist; wenn aber die Zellenwände bis zu einem Grade gedehnt werden (bei dem Druck 5,5 Atm. und der Dehnung um 3%), fangen sie an, dem Drucke einen sich mehr und mehr vergrößernden Widerstand entgegenzusetzen, bis endlich die Erhöhung des inneren Druckes nur eine kaum merkliche Vergrößerung der Dehnung hervorruft (bei dem Druck 12,2 Atm. und der Dehnung um 4,2%).

Betrachtet man die Angaben, welche für die Dehnbarkeit der Metalle bekannt sind, so sieht man ein, daß die Gesetze, nach denen die Verlängerung derselben unter der Dehnung stattfindet, denjenigen der Verlängerung der Zellwände sehr ähnlich sind. Die Verlängerung ist auch in diesem Falle zunächst der Erhöhung der Belastung proportional, später verkleinert sie sich aber, um alsdann nur kaum merklich zu werden; von diesem Momente an verwandelt sich die elastische Verlängerung in die bleibende.

Diese Verhältnisse veranlassen uns zunächst auf eine Möglichkeit der bleibenden Dehnung der Zellwände von *Spirogyra* bei weiterer Erhöhung des inneren Druckes, welcher in den Zellen der

in reinem Wasser befindlichen Alge herrscht, zu schließen. Um diese Voraussetzung zu prüfen, habe ich vor allem die Erhöhung des Druckes durch Temperaturerhöhung gewählt. Bekanntlich vergrößert sich der osmotische Druck (hier haben wir es nur mit diesem Drucke zu tun) proportional der absoluten Temperatur; wenn z. B. die Temperatur von 17° — 18° C (Zimmertemperatur) auf 22° — 23° C steigt, vergrößert sich der innere Zellendruck von *Spirogyra* von 12,8 Atm. auf $12,8 \times \frac{295}{290} = 13$ Atm. Die Steigerung der Temperatur um 1° C ruft also eine Erhöhung des Druckes um ungefähr 0,04 Atm. hervor.

Wenden wir uns dem Versuche zu.

Zum Temperaturwechsel wurde ein gläsernes mittelst Siegelack zusammengeklebtes Wasserbad benutzt; dasselbe wurde auf den beweglichen Objektisch des Mikroskops gestellt und befestigt. Die kurzen Objektträger kamen in ein gläsernes Schälchen, das ins Bad getaucht und von oben mit einem Kartondeckel und Watte bedeckt wurde. Wasser von beliebiger Temperatur wurde während des ganzen Versuches durch das Bad geleitet. Die beschriebene Einrichtung gestattete eine Änderung der Temperatur ohne ein Wegnehmen der Objekte aus dem Gesichtsfeld des Mikroskopes.

In den Tabellen (II—VIII) bedeuten L die Länge eines im betreffenden Versuche benutzten *Spirogyra*-Fadens in Teilungen des

Tabelle II.

C T	Atm. p	Minut. Z	Teil. d. Objtr. L
19,5 ⁰	12,9	120	58,68
23,5 ⁰	13,1	15	58,72
19,5 ⁰	12,9	17	58,68
23,5 ⁰	13,1	15	58,72
26 ⁰	13,2	15	58,72
31 ⁰	13,4	5	58,73
—	—	15	58,74
19,5 ⁰	12,9	15	58,71
—	—	30	58,71

Tabelle III.

C T	Atm. p	Minut. Z	Teil. d. Objtr. L
19 ⁰	12,9	120	66,82
26 ⁰	13,2	15	66,84
19 ⁰	12,9	20	66,82
31 ⁰	13,3	15	66,88
19 ⁰	12,9	20	66,82
36 ⁰	13,5	15	66,93
19 ⁰	12,9	25	66,92
—	—	50	66,92

Tabelle IV.

C T	Atm. p	Minut. Z	Teil. d. Objtr. L
19 ⁰	12,9	120	59,69
26 ⁰	13,1	18	59,71
31 ⁰	13,3	25	59,73
19 ⁰	12,9	115	59,69
36 ⁰	13,5	25	59,86
19 ⁰	12,9	80	59,85

Tabelle V.

C T	Atm. p	Minut. Z	Teil. d. Objtr. L
17 ⁰	12,8	120	67,70
25 ⁰	13,1	35	67,78
17 ⁰	12,8	30	67,73
25 ⁰	13,1	25	67,78
30 ⁰	13,3	15	67,81
35 ⁰	13,5	15	67,85
17 ⁰	12,8	55	67,81

Tabelle VI.

C T	Atm. p	Minut. Z	Teil. d. Objtr. L
21°	13,1	120	67,73
26°	13,3	30	67,75
31°	13,5	15	67,75
35°	13,7	20	67,80
41°	13,9	15	67,85
21°	13,1	25	67,83
—	—	65	67,83

Tabelle VII.

C T	Atm. p	Minut. Z	Teil. d. Objtr. L
20°	13,1	120	66,56
23°	13,2	10	66,57
26°	13,3	2	66,58
—	—	10	66,65
21°	13,1	10	66,61
19°	13,1	10	66,61
21°	13,1	10	66,61
23°	13,2	10	66,64
26°	13,3	18	66,65
34°	13,5	10	66,65
21°	13,1	16	66,62
20°	13,1	80	66,62

Tabelle VIII.

C T	Atm. p	Minut. Z	Teil. d. Objtr. L
18°	12,8	120	57,81
26°	13,1	25	57,82
31°	13,3	15	57,84
18°	12,8	20	57,84
31°	13,3	15	57,84
36°	13,4	20	57,85
41°	13,7	20	57,87
18°	12,8	20	57,86

Objektträgers (also $\frac{1}{75}$ cm) ausgedrückt, T die Temperatur in Grad Celsius, p der innere Zellendruck bei dieser Temperatur in Atmosphären, Z die Zeit des Verweilens des Fadens bei dieser Temperatur vor der Beobachtung in Minuten. Bei dem Aufstellen der Zahlen wurde das durch Vorversuche bei der betreffenden Temperatur bestimmte Wachstum berücksichtigt.

Aus den angeführten Tabellen (II—VIII) ersieht man zunächst, daß sich die einzelnen Fäden in Bezug auf die Erhöhung des Drucks verschieden verhalten. Während der Faden der Tabelle VII schon bei einer Druckerhöhung um 0,2 Atm. eine bleibende Dehnung der Wände aufwies, wurde dieselbe in den Tabellen II, V, VIII erst bei der Erhöhung des Druckes um 0,3—0,4 Atm. und in den Tabellen III, IV, VI um 0,6 Atm. erhalten. Jedenfalls zeigen die angeführten Versuche, daß die Zellwände gewöhnlich fast bis zur Elastizitätsgrenze gespannt sind. Da die Erhöhung des inneren Zellendrucks um 0,2—0,4 Atm. auch im normalen Zustand stattfinden kann (wie es die Beobachtung der Plasmolyse zeigt, schwankt der osmotische Druck der Zellen in verschiedenen Wachstumsstadien gewöhnlich zwischen 12,8 und 13,3 Atm.), ist die Möglichkeit der Dehnung der Wände über die Elastizitätsgrenze auch beim normalen Wachstum der *Spirogyra*-Zellen gegeben. Wenn aber eine solche

Dehnung stattgefunden hat, gewinnen die Wände die Eigenschaft, wieder etwas elastisch gedehnt werden zu können, bis eine neue Elastizitätsgrenze überschritten wird (s. Tabellen IV, V, VII und VIII). Ähnliche Verhältnisse wurden auch bei der Dehnung der Metalle beobachtet.

Schluß.

Auf Grund der mitgeteilten Versuche kommen wir zum Schlusse, daß die Zellwände von *Spirogyra* normal stets beinahe bis zur Elastizitätsgrenze gedehnt werden. Zur Ausführung des Wachstums (d. h. der bleibenden Dehnung) genügt schon die Neubildung derjenigen Quantität der osmotischen Substanzen, welche den osmotischen Druck des Zellsaftes um 0,2—0,6 Atm. (entsprechend dem Wachstumsstadium) vergrößert. Daß solche Erhöhung des Druckes bei *Spirogyra* auch normal stattfinden kann, zeigt die Plasmolyse der Zellen in verschiedenen Wachstumsstadien.

Über die Tatsachen, welche diesen Schluß nochmals bestätigen und auch einige bei der Beobachtung des Wachstums bemerkten Erscheinungen erklären, möchte ich in einer weiteren Mitteilung berichten.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Botanisches Centralblatt](#)

Jahr/Year: 1907

Band/Volume: [BH_21_1](#)

Autor(en)/Author(s): Lepeschkin W.Wladimir

Artikel/Article: [Zur Kenntnis des Wachstumsmechanismus der pflanzlichen Zelle 60-66](#)