© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

5. Arthur Meyer: Die Plasmabewegung verursacht durch eine geordnete Wärmebewegung von Molekülen.

(Mit 1 Abb. im Text.)

(Eingegangen am 17. Januar 1920.)

Seit der Entdeckung der Plasmabewegung durch CORTI im Jahre 1774 sind die mannigfaltigsten Versuche gemacht worden, ihre Entstehung zu erklären. Anfangs des 19. Jahrhunderts wurden vorzüglich elektrische Vorgänge als Quelle der Bewegung angesehen, dann war von der Mitte des 19. Jahrhunderts die „Kontraktilität" die Grundlage aller Erklärungsversuche, bis seit 1886 die Theorien hauptsächlich mit Oberflächenkräften operierten. Die „Oberflächenspannungstheorie" herrscht heute noch fast unumschränkt. Im Zusammenhang mit meiner Anschauung von dem Bau des Protoplasten bin ich nun zu einer ganz anderen Vorstellung von der Mechanik der Zytoplasmabewegung gelangt.

Wie ich (1920, S. 406) zeigte, ist das Zytoplasma eine optisch homogene wässerige Lösung von Molekülen, Partikeln kolloidal gelöster Stoffe und von Vitülen. Da, wo sich Zytoplasmabewegung einstellt, wird nun die ungeordnete Wärmebewegung einer Anzahl von Molekülen einer Zytoplasmaregion in eine geordnete Bewegung umgewandelt, bei in Rotation befindlichem Zytoplasma ist in einem großen Bereich des Zytoplasmas die Richtung aller dem Zytoplasma zu diesem Zweck zur Verfügung stehenden Moleküle gleichsinnig, parallel geordnet.

Ist meine Vorstellung richtig, so ist zu erwarten, daß in einem Falle, in welchem der Protoplast in möglichst vorteilhafter Weise nur die rein molekular-physikalischen Kräfte zum Betriebe der Rotation benutzt, und diese Arbeit nicht durch vorteilhaft dirigierende Maschinenkräfte gestört wird, eine ungefähre Uebereinstimmung zwischen der Abhängigkeit der Molekularbewegung von der Temperatur und der Abhängigkeit der Rotationsgeschwindigkeit von der Temperatur herrsche. Die Vergleichung dieser Abhängigkeiten haben ich und Herr Professor F. A. SCHULZE, welcher die Liebenswürdigkeit hatte die Berechnungen auszuführen, vorgenommen. Die Pflanzen, deren Zellen den genannten Voraus-

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

setzungen voraussichtlich am meisten entsprechen konnten, waren die Charazeen. Leider haben wir über die Abhängigkeit der Rotation des Zytoplasmas dieser Gewächse bisher nur eine brauchbare Beobachtungsreihe, das ist die von NÄGELI.

NÄGELI ließ sich „eine Vorrichtung machen, welche es ermöglichte, auf die gleiche Charazelle unter dem Mikroskop beliebige Temperaturgrade einwirken zu lassen". Er untersuchte mit dieser Vorrichtung die Endzelle einer Kurzachse von *Nitella syncarpa* bei allmählich gesteigerter Temperatur und fand, daß bei 0° Stillstand eintrat, weiter aber 0,1 mm von den Inhaltsgebilden des Zytoplasmastroms durchlaufen wurde: bei 1° in 60 Sek., bei 2° in 47 Sek., bei 3,5° in 33 Sek., bei 5° in 24 Sek., bei 6° in 19 Sek., bei 7° in 15 Sek., bei 8° in 11,5 Sek., bei 9° in 9,5 Sek., bei 10° in 8 Sek., bei 11° in 7 Sek., bei 12° in 6,4 Sek., bei 14° in 5,4 Sek., bei 15° in 5 Sek., bei 16° in 4,6 Sek., bei 17° in 4,3 Sek., bei 18° in 4 Sek., bei 19° in 3,8 Sek., bei 20° in 3,6 Sek., bei 22° in 3,2 Sek., bei 24° in 2,8 Sek., bei 26° in 2,4 Sek., bei 28° in 2 Sek, bei 31° in 1,5 Sek., bei 34° in 1 Sek., bei 37° in 0,6 Sek.

Über 37° erlosch die Bewegung plötzlich. NÄGELI sagt dann weiter: „Die mitgeteilten Zahlen sind Durchschnittswerte aus mehreren Messungen. Sie sollen bloß im allgemeinen ein Bild der Zunahme der Geschwindigkeit bei Steigerung der Temperatur geben, und machen durchaus nicht den Anspruch darauf, eine mathematisch richtige Progression darzustellen." Trotz dieser Salvierung können wir bei NÄGELI doch annehmen, daß die mitgeteilten Zahlen die Abhängigkeit der Geschwindigkeit der Zytoplasmarotation einer Zelle von der Temperatur im großen und ganzen genügend genau angeben. Dabei müssen wir festhalten, daß nach NÄGELIs Beobachtung die Geschwindigkeit der Rotation in den verschiedenen Internodialzellen einer Pflanze verschieden ist. „Sieben sukzessive Stammglieder von *Nitella hyalina* (F, G, H, I, K, L, M) zeigten folgende Verhältnisse:

	Länge in Mill.	Durchmesser in Mill.	Umfang in Mill.	Umlaufszeit in Sekunden	$^1/_{10}$ Mill. wird durchlaufen in Sekunden
F	14	0,27	28,8	2880	10
G	9	0,3	19	1330	7
H	7,5	0,27	15,7	628	4
I	6	0,24	12,6	315	2,5
K	3	0,2	6,4	173	2,7
L	0,8	0,18	2	88	4,4
M	0,3	0,17	0,94	66	7

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Rechnen wir die Zahlen NÄGELIs, welche wir oben mitteilten, so um, daß für jeden Grad die Strecke in Millimetern ersichtlich ist, welche in einer Sekunde durchlaufen wird, so erhalten wir:

In 1 Sekunde werden durchlaufen bei Grad Celsius	Mikromillimeter	In 1 Sekunde werden durchlaufen bei Grad Celsius	Mikromillimeter
1	1,67	16	21,74
2	2,13	17	23,25
3,5	3,03	18	25,00
5	4,17	19	26,31
6	5,26	20	27,77
7	6,33	22	31,25
8	8,65	24	35,71
9,5	10,53	26	41,66
10	12,50	28	50,00
11	14,28	31	66,66
12	15,62	34	100,00
14	18,44	37	166,66
15	20,00		

Zwischen 5° und 20°, den Temperaturgraden, von welchen man annehmen kann, daß sich bei ihnen die Zelle der Wasserpflanze in Temperaturverhältnissen befindet, an welche sie gut angepaßt ist, wächst bei Erhöhung der Temperatur um 1° der in 1 Sek. zurückgelegte Weg um ungefähr 1,65 μ; später wird die Steigerung der Geschwindigkeit bedeutend größer.

Aus den Gesetzen der BROWNschen Bewegung läßt sich nun folgende Formel für die Strömungsgeschwindigkeit ableiten, wenn wir annehmen, daß auf der einen Seite des kugelförmigen Teilchens die ungeordnete Wärmebewegung der Moleküle der Flüssigkeit in gleichgerichtete, senkrecht auf den ganzen Querschnitt der Kugel auftreffende Bewegung umgesetzt wird, und zuletzt die Moleküle der Flüssigkeit bei dem Stoß ganz gehemmt werden. Sie gilt ferner dann, wenn alle Moleküle als stoßend angenommen werden.

$$v = 129 \cdot 10^5 \cdot \frac{s}{M} \, r \, \frac{\vartheta}{\varrho} \quad \text{Zentimeter in Sekunde}$$

In dieser Formel bedeutet:

s Dichte der Flüssigkeit.

r Radius des kugelförmigen Teilchens.

ϑ Temperatur vom absoluten Nullpunkte gemessen (Zentigrade + 273).

ϱ Koeffizient der inneren Reibung der Flüssigkeit.

M Molekulargewicht der Substanz, deren Teilchen stoßen.

Alles in Zentimeter, Gramm, Sekunde gemessen.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

1. Wir ersehen also aus dieser Formel:
   a) Je größer ϑ ist, je größer wird v.
   b) Da ferner ϱ mit steigender Temperatur abnimmt, so wird die Strömungsgeschwindigkeit (v) mit steigender Temperatur nochmals zunehmen.
2. Die Geschwindigkeit, mit welcher sich die Kugel vom Radius r in der strömenden Flüssigkeit bewegt, ist proportional dem Radius der Kugel, daher würden größere Kugeln schneller wandern.
3. Die Geschwindigkeit ist unabhängig von der Substanz (also auch Masse), aus welcher die Kugeln bestehen.
4. Je größer das Molekulargewicht der stoßenden Substanz ist, je kleiner wird v.

Vergleichen wir diese Resultate mit den bei der Zytoplasmabewegung von Chara vorliegenden Verhältnissen:

1. a) und b) treffen durchaus für die Zytoplasmabewegung zu.

Was den Satz 2 betrifft, so ist zu bemerken, daß er nur für kugelförmige Teile gilt. Ist das eine Teilchen eine Kugel, das andere ein Zylinder von kleinerem Querschnitt als die Kugel, so kann der Zylinder sich langsamer bewegen als die Kugel. In der Zelle liegt die Sache so:

NÄGELI (1860, S. 64) sagt, große und kleine Körper strömten mit gleicher Geschwindigkeit, wenn sie sich in gleich schnell strömendem Zytoplasma befänden. In den Charazeenzellen ist aber die Zytoplasmaströmung in den verschiedenen Regionen einer Zelle nicht gleichartig. NÄGELI beschreibt (S. 63) das Verhältnis und zeigt, daß die Rotationsströmung unter der chloroplastenführenden Wandschicht am schnellsten ist, und daß ihre Geschwindigkeit nach der Zellsaftvakuole zu mehr und mehr abnimmt, so daß z. B. in einem Falle die äußere Strömung $2^1/_2$ mal schneller als die innere war. Es ist nun selbstverständlich, daß größere Körper tiefer in langsamer strömende Regionen hineinragen können, als ganz kleine, und daß dann die großen Körper im Nachteil sind gegenüber den kleinen. Dasselbe wird dadurch bewirkt, daß große Körper schneller absinken als kleine von gleichem spezifischen Gewicht. So mag es kommen, daß große und kleine Körper dem Beobachter sich gleichschnell zu bewegen scheinen. Jedenfalls muß die ganze Frage noch untersucht werden, denn es könnten in der Zelle noch andere Verhältnisse das Resultat trüben.

Was die absolute Geschwindigkeit der sich im strömenden Zytoplasma bewegenden Teile betrifft, so hängt diese also ab:

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

1. von der Größe der Zahl der gleichsinnig bewegten Moleküle gegenüber der Zahl der in unregelmäßiger Bewegung befindlichen Vitüle, Moleküle, besonders auch kolloid gelöster Partikel;
2. von der Größe der inneren Reibung des Zytoplasmas;
3. von der Größe des Molekulargewichtes der stoßenden Substanz und dem entsprechenden relativen Gewichte der kolloid gelösten Partikel und der Vitüle;
4. wachsende Dichte der Flüssigkeit erhöht die Geschwindigkeit.

Zu 1. Daß durchaus nicht alle Partikel des optisch homogenen Zytoplasmas in gerichteter Bewegung sind, ist bei der großen Verschiedenartigkeit der gelösten Stoffe wahrscheinlich; es werden nur bestimmte Arten der sehr mannigfaltigen kleinsten Teilchen in gerichtete Bewegung geraten. Die Momente, welche die Richtung der Teilchen bewirken, sind ja ebenso von dem Verdacht befreit, selbst gerichtet zu sein. Es wird also die Geschwindigkeit der Zytoplasmaströme dadurch eine relativ geringere werden.

Zu 2. Die innere Reibung des Zytoplasmas wird meist eine nicht unerhebliche sein, unter allen Umständen ist sie größer als die des Wassers. Wir wissen ja, daß durch hydrophilkolloide Substanzen die innere Reibung absolut und relativ sehr gesteigert wird. 1 % Gelatine erhöht z. B. die Viskosität des Wassers um etwa 29 %, während 1 % Rohrzucker nur um 2,45 % und 1 % Kochsalz nur um 1,6 % erhöhen (HÖBER 1914, S. 307). Es rührt das anscheinend daher, daß die Partikel der hydrophilkolloidalen Lösung aus Lyosoltröpfchen bestehen. Daß die innere Reibung v sehr stark beeinflußt, zeigen folgende Tatsachen. Für Wasser und $r = 1\ \mu$ ist z. B. v bei $20^0 = 2{,}8$ Kilometer in 1 Sekunde. Berechnet man v für Rizinusöl (Koeffizient der inneren Reibung = 10,6, Molekulargewicht als 200 angenommen), so erhält man bei 20^0 $v = 19$ cm in 1 Sekunde.

Die Viskosität des strömenden Zytoplasmas wird aber wohl noch etwas höher sein als die des Rizinusöls.

3. Das Molekulargewicht vieler im Zytoplasma vorkommender Substanzen, vorzüglich der in hydrophilkolloidaler Lösung befindlichen, z. B. der Eiweißkörper, ist ein ungeheuer großes. Für die Eiweißkörper des Zytoplasmas darf man die Größe des Moleküls ungefähr auf 14000 ansetzen. Würden wir bei unserer Berechnung der Geschwindigkeit statt M = 200, M = 14000 setzen, so würde die Geschwindigkeit = 2,7 mm in 1 Sek. werden. Wir wissen aber nicht, die Bewegung welcher Moleküle die gerichtete ist und können deshalb nicht sagen, wie die Molekulargröße auf v in der Zelle wirkt.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

4. Die Dichte des Zytoplasmas wird nicht erheblich größer sein als die des Wassers. Wir können also nur sagen, daß es nicht unverständlich ist, wenn die Geschwindigkeit der Zytoplasmaströmung eine verhältnismäßig geringe ist. Da es uns wesentlich auf die Beziehung zwischen Zytoplasmabewegung und Temperatur ankommt und der Wert $= \frac{s}{M}$ nicht merklich von der Temperatur abhängen kann, so können wir den Einfluß der Dichte auf das Ergebnis der Berechnung außer Acht lassen.

Aus dem Gesagten geht hervor, daß wir nicht erwarten können, daß die absolute Geschwindigkeit, welche wir mittels unserer Formel errechnen, mit der an Chara beobachteten übereinstimme. Wohl aber wird, wenn meine Hypothese richtig ist, der Verlauf der Kurven, welche 1. die Beziehung zwischen Temperatur und Geschwindigkeit der Zytoplasmaströmung von Chara und 2. der Temperatur und der errechneten Geschwindigkeit darstellen, übereinstimmen.

Maßgebend für den Verlauf der berechneten Kurve ist allein $\frac{\vartheta}{\varrho}$ unserer Formel, also auch die Abhängigkeit des Koeffizienten der inneren Reibung der unserer Berechnung zugrunde gelegten Flüssigkeit von der Temperatur.

Wir mußten nun eine Flüssigkeit wählen, welche annähernd die Zähigkeit des flüssigen Zytoplasmas hat und konnten nur eine solche gebrauchen, von welcher der Koeffizient für die innere Reibung bei genügend verschiedenen Temperaturgraden bekannt ist. Eine solche Flüssigkeit ist das Rizinusöl (LANDOLT-BÖRNSTEIN 1912). Übrigens würden wahrscheinlich ähnliche Kurven bei Benutzung anderer zähflüssiger Flüssigkeiten resultieren; für Glyzerin ist z. B. die Zähigkeit bei $2{,}8^0 = 42{,}2$, bei $20{,}9^0 = 7{,}8$

ϱ besitzt nun für Rizinusöl bei den verschiedenen Temperaturen folgende Werte:

6,5 Grad = 32,95, 8,7 = 27,14, 9,9 = 24,46, 12,8 = 18,64, 13,6 = 17,15, 16,1 = 13,70, 19,6 = 10,27, 22,6 = 7,908, 24,8 = 6,592, 26,4 = 6,003, 28,4 = 5,026, 29,8 = 4,505, 31,9 = 3,940, 33,0 = 3,686, 35,8 = 3,010, 36,5 = 2,862, 38,3 = 2,549, 40,6 = 2,245.

Rizinusöl würde danach die folgenden Zahlen für den Ausdruck $\frac{\vartheta}{\varrho}$ liefern:

8,452, 10,38, 11,57, 15,44, 16,71, 21,10, 28,49, 37,38, 45,18, 49,88, 59,97, 67,21, 77,34, 83,02, 102,6, 109,5, 122,1, 139,7.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Tragen wir als Abszissen die Celsiustemperatur und als Ordinaten die Werte $\frac{\vartheta}{\varrho}$ ein, so erhalten wir eine Kurve (R Textfigur), welche, wie man sieht, in ihrem Verlauf sehr ähnlich ist der Kurve C, die man erhält, wenn man die Zahlen der Messungen NÄGELIs in

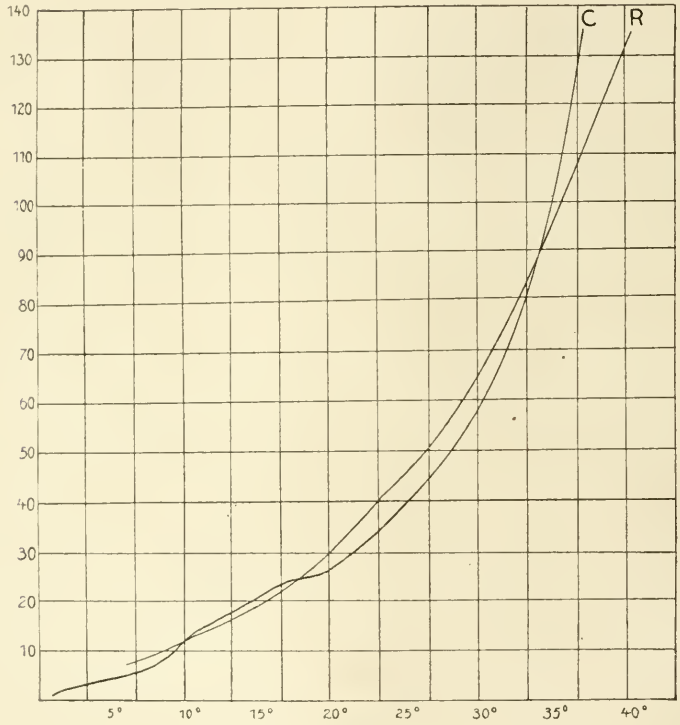

Abb. 1.

Mikromillimetern pro sc. ebenfalls als Funktion der Temperatur einträgt.

Die Kurve C drückt die Beziehung zwischen Temperatur und Geschwindigkeit der Zytoplasmabewegung von Chara, die Kurve R die Beziehung zwischen Temperatur und der Geschwindigkeit der gerichteten Wärmebewegung der Moleküle aus. Dieses Resultat muß immerhin dazu anregen, meine Hypothese weiteren Forschungen zugrunde zu legen.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Literatur.

NÄGELI, CARL, Beiträge zur wissenschaftlichen Botanik, 2. Heft, Leipzig 1860.
OSTWALD, W., Grundriß der Kolloidchemie, Dresden 1909.
HÖBER, Physikalische Chemie der Zelle und der Gewebe, 1914, 4. Aufl., WILH. ENGELMANN.
MEYER, ARTH., Morphologische und physiologische Analyse der Zelle der Pflanzen und Tiere, I. Teil, 1920, Jena.
LANDOLT-BÖRNSTEIN, Physikalisch-chemische Tabellen, Berlin 1912, 4. Auflage.

6. F. Laibach: Die Bedeutung der Narbe und des Griffels für die Blütenentwicklung von Origanum vulgare.

(Eingegangen am 27. Januar 1920.)

I. Einleitung.

Bei seinen entwicklungsphysiologischen Untersuchungen an Orchideenblüten machte FITTING (1909 a u. b, 1910) die interessante Entdeckung, daß der Narbe dieser Blüten neben ihrer altbekannten Rolle, die sie bei den Befruchtungsvorgängen spielt als Aufnahme- und Keimstätte des Pollens, eine neue, höchst wichtige Bedeutung zukommt: als einem Organ, „das über das Schicksal der ganzen Blüte entscheidet". Er fand nämlich, daß eine Reizung der Narbe durch einen aus den Pollinien extrahierbaren, den Pollenkörnern äußerlich anhaftenden chemischen Körper (daher auch durch toten oder ungekeimten Pollen) oder durch Verwundung die Entwicklung fast sämtlicher Blütenteile weitgehend beeinflußt, insbesondere das vorzeitige Abblühen der Blüten induziert. Die normalerweise infolge der Bestäubung eintretende Abkürzung der Blütendauer ist also nicht nur unabhängig von der Befruchtung und der Schwellung des Fruchtknotens, was schon früher bekannt war, sondern ist auch nicht einmal an eine Keimung des Pollens und die Wirkung der Pollenschläuche gebunden.

Daraus, daß zur Auslösung der vorzeitigen Postfloration nur die obersten Teile der Narbe verwundet zu werden brauchen, wodurch die übrige Narbe kaum in Mitleidenschaft gezogen wird, jedenfalls normal weiterfunktionieren kann, daß aber auf Abschneiden der Gynostemiumspitze samt Narbe die Blüte nicht

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Berichte der Deutschen Botanischen Gesellschaft

Jahr/Year: 1920

Band/Volume: 38

Autor(en)/Author(s): Meyer Arthur

Artikel/Article: Die Plasmabewegung verursacht durch eine geordnete Wärmebewegung von Molekühlen. 36-43