

Botany. — *Über den Einfluss der Plasmarotation auf den Stofftransport.*
Von ALI C. A. KOK. (Communicated by Prof. J. C. SCHOUTE.)

(Communicated at the meeting of June 27, 1931).

Einleitung :

Als DE VRIES (1) 1885 auf Grund theoretischer Erwägungen glaubte annehmen zu dürfen, dass Plasmaströmung die Transportgeschwindigkeit von allerlei Stoffen erhöhen müsse, fand das bei vielen Anklang. Es wurden zwar noch einige Einwände dagegen erhoben, aber diese beruhten gleichfalls auf rein theoretischer Grundlage. Das veranlasste eine 1913 erschienene Veröffentlichung von BIERBERG (2), worin er, auf Experimente gestützt, den beschleunigenden Einfluss der Plasmaströmung bewies. Die Auffassung von DE VRIES hat hierdurch ein festes Fundament erhalten, und man schrieb dem beschleunigenden Einfluss des strömenden Protoplasmas jeden Transport zu, der schneller vor sich ging als, wie man annahm, infolge reiner Diffusion durch das Plasma stattfinden konnte. So ist F. WENT (3) geneigt, den schnellen basipetalen Transport von Wuchsstoffen, $200 \times$ so schnell wie bei Diffusion, der Plasmaströmung zuzuschreiben.

BIERBERG weist aber schon darauf hin, dass Plasmarotation im Pflanzenreich nicht so allgemein ist wie man manchmal annimmt, dachten doch DE VRIES und viele andere, die Rotation, die man nach dem Anbringen eines Schnittes bemerkte, sei eine Primärererscheinung, während das Fehlen der Rotation lediglich eine Folge des Präparierens sei. BIERBERG nennt aber eine Anzahl Pflanzen, deren Protoplast sich in normalem Zustand in Ruhe befindet, jedoch unter dem Einfluss eines Reizes (z. B. abschneiden) zu strömen anfängt.

Der Wert, den man dem Einfluss der Rotation beilegen muss, scheint durch diese Veröffentlichung sehr stark gestiegen zu sein. Es erschienen aber im Jahre 1925 die Untersuchungen von FITTING (4) über Stoffe, die Plasmaströmung auslösen, wobei sich gezeigt hatte, dass bei *Vallisneria* Rotation nur *in Gegenwart bestimmter Stoffe* auftritt. Durch diese Untersuchungen war es möglich geworden, BIERBERGS Versuche in einer andern Weise zu wiederholen. BIERBERG hatte nämlich den Transport einiger anorganischer Salze durch Blätter mit strömendem Plasma verglichen mit Blättern, deren Rotation durch Aether zur Ruhe gebracht worden war. Da Aether auch einen andern Einfluss ausüben kann, z. B. auf die Durchlässigkeit, war also von BIERBERG nicht exakt nachgewiesen worden, dass im ruhenden Protoplasma der Stofftransport immer langsamer vor sich gehen muss als im rotierenden Protoplasma.

In der nun folgenden Untersuchung habe ich bei verschiedenen Temperaturen den Transport von LiNO_3 und Kaffein durch *Vallisneria*blättchen verfolgt, wobei die bei Objekten mit strömendem Protoplasma erzielten Resultate mit den Ergebnissen bei Objekten mit ruhigem Plasma

verglichen wurden. Letzteres wurde entweder nach FITTINGS oder nach BIERBERGS Verfahren zur Ruhe gebracht.

Material :

Bei den Versuchen wurden Blattstücke der ♀ *Vallisneria spiralis* verwendet, die zu diesem Zweck in den Treibhäusern des Botanischen Laboratoriums in Groningen gezüchtet worden waren. Die Aquarien standen hier an einem schattigen Ort, und die Temperatur des Wassers betrug durchschnittlich 20° C. Wie sich zeigte, besass diese Pflanze die Eigenschaft, dass in normalem Zustand das Protoplasma ruhte, jedoch unter dem Einfluss eines Reizes anfangen konnte zu strömen. Wird ein derartiges Blatt nun in Stücke zerschnitten, dann reizt diese Wunde an sich das Protoplasma schon gehörig, was durch Reiben noch verstärkt werden kann, und das kann in annähernd allen Zellen das Auftreten von Rotation zur Folge haben. Zuerst sieht man diese in den grossen, rechteckigen Mesophyllzellen, häufig jedoch auch in den nahezu isodiametrischen Epidermiszellen. Ein derartiges Blatt werde ich im Folgenden „rotierend“ nennen. Dem stelle ich „ruhige“ Blätter gegenüber, m. a. W. Blätter ohne Rotation. Es ist schwer, vollständig ruhige Blätter zu bekommen; oft rotiert in einer einzelnen Zelle das Protoplasma noch ein wenig, und deshalb bin ich den Linien gefolgt, die FITTING um die Gebiete der rotierenden und ruhigen Blätter (S. 329) gezogen hat. FITTING behauptet (S. 292), dass Vallisneriablätter, die abgepflückt und reingemacht worden sind, meistens Rotation zeigen, und dass diese unbedingt auftritt, nachdem die Blätter in Stücke von einigen cm. Länge geschnitten worden sind. Werden solche Blattstücke in Petrischalen mit reinem Wasser gelegt, bei konstanter Temperatur, Dunkelheit und zweimaligem, täglichem Wasserwechsel, dann ist die Rotation meistens nach zwei Tagen wieder verschwunden, während in dem Blattstück noch keine Krankheitserscheinungen aufgetreten sind. Das „reine“ Wasser erhält er, indem er destilliertes Wasser noch einmal destilliert, wobei er einen Destillationsapparat (5) verwendet, der ganz aus Jenaglas Nr. 20 (S. 430—439) besteht. Bringt man solche ruhigen Blätter in Wasser, dem ein organischer oder anorganischer Stoff zugesetzt ist, dann wird in vielen Fällen die Rotation wieder ausgelöst. Er kann also sowohl ruhige Blätter erhalten, als auch in ruhigen Blättern die Rotation wieder auslösen.

Methodik :

Die Versuche wurden gemacht bei konstanter Temperatur in einem dunklen Zimmer. BIERBERGS Verfahren war folgendes (S. 57) : Ein Stück Vallisneriablatt, das erst mittels Filtrierpapier abgetrocknet worden war, wurde auf einen Objektträger gelegt, und rechtwinklig darüber ein schmales, rechteckiges Deckglas, das an der Unterseite mit Vaseline eingefettet worden ist (Fig. 1). Indem man dieses Glas leicht aufdrückt, wird der Objektträger in zwei nicht kommunizierende Teile geschieden. Auf die eine Seite wird nun H₂O, auf die andere der Transportstoff

gebracht, und man kann beobachten, in wie weit dieser in gewisser Zeit und unter bestimmten Umständen durch das Blatt transportiert wird.

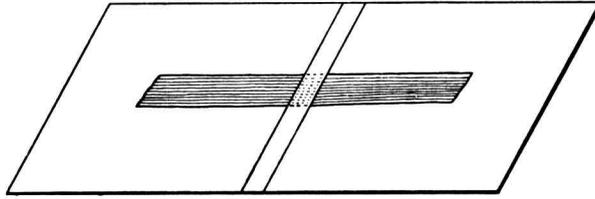


Fig. 1.

BIERBERG lässt 3 Stoffe eindringen (KNO_3 , $\text{Li}_2 \text{CO}_3$ und NaCl), welche offenbar mit gleicher Geschwindigkeit transportiert werden, denn später spricht er nur noch vom „Transportstoff“ und nicht mehr von den einzelnen Salzen, während doch die Konzentration dieser Salze von $\frac{1}{2}$ bis 2 % variiert und auch die Beweglichkeit des NO_3' , Li' und Cl' verschieden ist. Mit KNO_3 habe ich keine Versuche angestellt, da manchmal in den Blättern schon Nitrats vorhanden sind.

Meine erste Versuchsanstellung, bei der ich von BIERBERGS Gedanken ausging, war wie folgt: Zwei Petrischalen, P_1 und P_2 , wurden in ein-

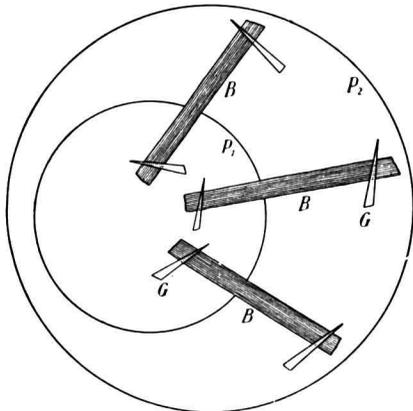


Fig. 2.

andergesetzt. In der kleineren P_1 (Durchmesser 14 cm.) hatte ich beim Übergang vom Boden in den Rand drei Löcher schleifen lassen, wodurch man die Blattstücke B stecken konnte (Fig. 2). Diese wurden nun in den Löchern mit Paraffin (Schmelzpunkt 45°C) festgeklebt, wobei ein Blattstück von $\pm 3 \text{ mm}$. Länge in das Paraffin eingeschmolzen wurde. Die Blattenden wurden durch Glasplättchen G unter die Flüssigkeit gehalten. Stehen die so hergerichteten Blattstücke 2 Tage bei konstanter Tempera-

tur und täglich zweimaligem Wasserwechsel im Dunkeln, dann hat in den meisten Fällen die Rotation aufgehört. Stellt man sie aber erst $1\frac{1}{2}$ Tag mit Wasser fort und ersetzt dieses dann noch einige Stunden durch 0,0001 % CuSO_4 , dann herrscht im ganzen Blatt gewöhnlich Rotation. Bei den ruhigen Blättern setzt man dann der kleinen Schale 1 % LiNO_3 zu und in der grossen bleibt H_2O , während man bei den rotierenden Blättern die kleine Schale mit 1 % $\text{LiNO}_3 + 0,0001 \text{ % CuSO}_4$ füllt und die grosse Schale mit 0,0001 % CuSO_4 . Um Verdampfen zu verhüten, deckt man das Ganze mit dem Deckel der grossen Schale zu. Während der nun folgenden 18 Stunden bleibt das Plasma der ruhigen Blätter ruhig und das der rotierenden in Bewegung, folglich kann man dann den Abstand, den die Li' zurückgelegt haben, messen, und dabei feststellen, ob der

Abstand bei den rotierenden Blättern grösser ist als bei den ruhigen. Zur Kontrolle überzeugt man sich, dass die grosse Schale kein Nitrat enthält, da sonst Kommunikation zwischen den beiden Schalen stattfinden würde und die konstatierte Transportgeschwindigkeit der Li^+ nicht richtig wäre.

Später habe ich das Verfahren geändert, da mehrere kleine Mängel dabei auftraten, z.B. konnte das CuSO_4 , da es etwas giftig ist, die Permeabilität verändern; der in Paraffin eingeschmolzene Blattteil musste O_2 entbehren; die Extrameabilität des LiNO_3 usw. Die zweite Reihe Versuchen ist denn auch folgendermassen durchgeführt (Fig. 3).

Auf einem Objektträger werden an der linken Seite 2 Stückchen Agar mit LiNO_3 (2 % Agar + 1 % LiNO_3) oder Agar mit Kaffein (gleichfalls

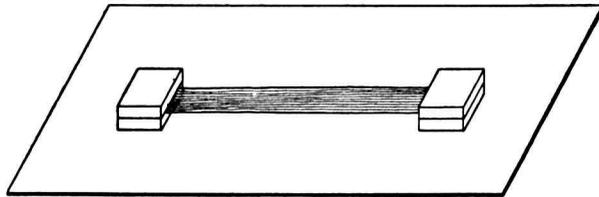


Fig. 3.

1 %) auf einandergelegt, jedes $6 \times 6 \times 1.5$ mm., an der andern Seite 2 Stückchen Agar von derselben Grösse, und dazwischen ein 4 cm. langes Vallisneriablattstück, so dass die beiden Blattenden oben und unten von einem Agarwürfel mit oder ohne Transportstoff umschlossen werden. Das Ganze legt man in eine zugedeckte Petrischale mit feuchtem Filtrierpapier, sodass ein Austrocknen des Blattstückes, wodurch Aufsaugen des Transportstoffes auftreten könnte, ausgeschlossen ist. Die vorher in dem Objekt durch Reiben und Schneiden hervorgerufene Rotation hält während der ganzen Zeit, die der Versuch beansprucht, an. Wenn in dem Agar ausserdem 0.0001 % CuSO_4 aufgelöst worden war, wodurch das eine Blattende von Agar mit $\text{LiNO}_3 + \text{CuSO}_4$, das andere von Agar mit CuSO_4 umgeben wurde, dann war die Rotation nicht merkbar schneller. Wurde ein derartiges Ganzes jedoch in eine Schale gelegt, worin sich ausser dem feuchten Filtrierpapier auch noch $\frac{1}{12}$ % Aether befand, und man sorgte dafür, dass der Aether nicht entweichen konnte, dann hatte nach $2\frac{1}{2}$ —3 Stunden die Rotation in dem Blatt aufgehört. Der Aether wirkt hier narkotisierend, denn wurde ein Blatt, nachdem es 18 Stunden in so einer Schale verbracht hatte, ohne Aether ins Licht gestellt, dann trat nach einer Stunde die Rotation wieder ziemlich allgemein auf, und ausserdem konnten die Zellen noch plasmolysiert werden.

Das Vorhandensein der Li^+ wurde bei der ersten Reihe von Versuchen nachgewiesen, indem das Blattstück, das teilweise in Paraffin eingeschmolzen war und übrigens in Wasser oder 0.0001 % CuSO_4 lag, in Stücke von 5 mm. verteilt, und diese Stücke spektroskopisch auf das Vorhandensein von Lithium hin untersucht wurden. Die Grösse dieser Stücke wurde bei der zweiten Reihe von Versuchen auf 3 mm. reduziert,

während das erste Stück (das also an den Blatteil zwischen den Stückchen Agar + LiNO_3 grenzt) 1, 2 oder 3 mm. lang genommen wurde. Auf diese Weise erhielt ich also 3 Gruppen, nämlich :

- in Gruppe I ist : bis 1, 4, 7 mm., usw. diffundiert,
- in Gruppe II ist : bis 2, 5, 8 mm., usw. diffundiert und
- in Gruppe III ist : bis 3, 6, 9 mm., usw. diffundiert.

Alle 3 Gruppen sind zu einer Tabelle zusammengefügt. In solcher Weise konnte eine grössere Genauigkeit erzielt werden, als wenn ich mich mit einer Gruppe begnügt hätte, da schliesslich wieder der Mittelwert all dieser Beobachtungen berechnet wurde.

Um den Abstand zu finden, *den das Kaffein zurücklegt*, wird das Blatt in Stücke von 1 mm. zerschnitten und darauf reagiert wie AMELINK (6) angibt. 5 % AuCl_3 gibt nämlich, wenn es $\pm \frac{1}{2}$ Minute in einer 1 %-igen salzsauren Lösung mit Kaffein gestanden hat, einen kristallinischen, gelben Niederschlag. Es sind doppelbrechende Nadeln, meist sternförmig gruppiert, welche gerade auslöschten und eine Additionsfarbe in der Längsrichtung zeigen. Die Empfindlichkeit geht bis zu 0.1 % Kaffeinlösung.

Als jedoch auf obige Weise die Abstände, die die Li^+ oder die Kaffeinmoleküle zurückgelegt hatten, festgestellt wurden, zeigte es sich, dass diese untereinander ziemlich verschieden waren. Und nicht nur war der durchschnittliche Abstand bei dem einen Blatt anders als bei dem andern, es stellte sich ausserdem heraus, dass die Entfernungen, die der Stoff bei den verschiedenen Teilen desselben Blattes zurücklegte, nicht gleich waren. Die *Breite des Blattes* spielte hierbei eine wichtige Rolle. Denn ein Streifen von einem mm. eines breiten Blattes ist wohl reaktionsfähig, ein gleich langer Streifen eines schmalen Blattes nicht, während beide pro Volumeneinheit doch gleichviel Transportstoff enthalten. Auch konstatierte ich, dass der Transport in dem der Basis zunächstliegenden, häufig weissgrünen Teil, häufig schneller vor sich ging als in dem mehr apikalen. Der Transport durch die alleruntersten 5 cm. ist zwar nicht in die Tabellen aufgenommen worden, aber eine kontinuierliche Abnahme der Transportgeschwindigkeit von der Basis nach der Spitze lässt sich nicht leugnen. Dies alles trägt dazu bei, dass ein ziemlich grosses Variationsgebiet auftritt, wodurch ein einzelner Versuch nicht genügt.

Es ist denn auch der Durchschnitt von 100 Beobachtungen genommen worden, um die Transportgeschwindigkeit der Li^+ festzustellen. Für Kaffein ist die Anzahl Versuche geringer, da dieses sich ebenso verhielt wie LiNO_3 .

Auch ist der Einfluss der Polarität des Blattes auf den Stofftransport noch untersucht worden ; es ergab sich, dass dieser nicht bestand.

Ergebnisse :

Bei der *ersten Reihe von Versuchen* wurden also mit einander verglichen :

- I. Durch reines H_2O und Dunkelheit zur Ruhe gebrachte Blätter.
- II. Rotierende Blätter mit 0.0001 % CuSO_4 .

Das eine Blattende befand sich in LiNO_3 , das andere in reinem Wasser (bei II. war ausserdem CuSO_4 hinzugefügt).

Bei 30°C . ergab sich bei einer Versuchsdauer von 18 Stunden, Folgendes:

TABELLE 1.

	n	M	σ	m
I	61	8.77	5.1	0.65
II	159	8.62	6.1	0.48

n = Anzahl der Versuche.

M = Durchschnittlicher Abstand, den der Stoff zurücklegt, in mm.

σ = Standardabweichung.

m = Mittlerer Fehler des Mittelwertes.

Die Mittelwerte gehen hier ziemlich wenig auseinander, und bei Berechnung von $\frac{M_I - M_{II}}{m_{diff.}}$ (wobei $m_{diff.}$ = der mittlere Fehler von $M_I - M_{II}$ ist) zeigt es sich, dass dieser Quotient = 0.19, d.i. < 3 ist, m.a.W. dass kein reeller Unterschied zwischen M_I und M_{II} besteht. Das heisst also, dass der Transport der Li^+ bei ruhigen Blättern und bei rotierenden Blättern hier gleich schnell stattfindet.

Da hier Blattstreifen von 5 mm. Länge untersucht wurden, braucht es uns nicht zu wundern, dass der mittlere Fehler ziemlich gross ist, was der Zuverlässigkeit des Mittelwertes nicht zugute kommt. Dieser Übelstand ist bei der zweiten Reihe von Versuchen einigermaßen beseitigt worden.

Diese zweite Reihe von Versuchen wurde nach der Methode BIERBERG angestellt, indem mit Aether die Rotation aufgehoben wurde. Das LiNO_3 kommt dann also durch Diffusion aus einem Agarstückchen in das Blatt. — Diese Versuche dauerten ebenfalls 18 Stunden.

Bei 30°C . ist:

TABELLE 2.

	n	M	σ	m
I	222	6.29	1.85	0.125
II	112	5.29	2.04	0.192
III	100	7.01	1.6	0.16
IV	100	6.27	1.61	0.161

$$\frac{M_I - M_{II}}{m_{diff.}} = 4.4$$

$$\frac{M_{III} - M_{IV}}{m_{diff.}} = 3.2$$

Hierbei ist: I. LiNO_3 ; II. $\text{LiNO}_3 + \text{Aether}$; III. $\text{LiNO}_3 + \text{CuSO}_4$,
und IV. $\text{LiNO}_3 + \text{CuSO}_4 + \text{Aether}$.

Vergleicht man I. mit II. und III. mit IV., so sieht man, dass zwischen
den Mittelwerten ein reeller Unterschied besteht.

Bei 20°C . ist :

TABELLE 3.

	n	M	σ	m
I	100	4.34	1.61	0.161
II	100	4.42	1.74	0.174
III	100	4.53	1.46	0.146
IV	100	4.46	1.58	0.158

$$\frac{M_{II} - M_I}{m_{diff.}} = 0.34$$

$$\frac{M_{III} - M_{IV}}{m_{diff.}} = 0.32$$

I, II, III, IV wieder wie oben. Der Unterschied zwischen den Mittel-
werten fehlt hier.

Aber bei 0°C . ist :

TABELLE 4.

	n	M	σ	m
I	100	3.31	1.45	0.145
II	100	2.36	1.31	0.131
III	100	3.48	1.65	0.165
IV	100	3.11	1.56	0.156

$$\frac{M_I - M_{II}}{m_{diff.}} = 4.9$$

$$\frac{M_{III} - M_{IV}}{m_{diff.}} = 1.6$$

I, II, III, IV haben wieder dieselbe Bedeutung wie oben. Bei I. und II.
tritt abermals ein reeller Unterschied in der Transportgeschwindigkeit bei
den narkotisierten und den nicht-narkotisierten Blättern auf.

Bei 0°C . kann dieses unmöglich eine Folge des Umstandes sein, dass
bei den narkotisierten Blättern die Plasmaströmung ruht, und bei den
nicht-narkotisierten das Plasma rotiert, denn die niedrige Temperatur
schliesst Rotation aus. Hier muss die Verzögerung der Transportgeschwin-
digkeit der Li^+ also ausschliesslich dem Einfluss des Aethers zugeschrieben
werden, und da der Unterschied zwischen den Mittelwerten bei 30°C .
noch kleiner ist, wird auch da das Narkotikum wahrscheinlich die Ursache

sein, und ist der schnellere Transport nicht der Plasmaströmung zuzuschreiben.

Da der Abstand, der bei dem Transport bei 0° C. zurückgelegt wurde, sehr gering ist, kann ein kleiner Beobachtungsfehler schon eine beträchtliche Abweichung in den Ergebnissen herbeiführen, und hierin ist vermutlich auch der Grund zu suchen, dass bei LiNO₃ bei 0° C. das Narkotikum die Transportgeschwindigkeit wohl verändert, bei LiNO₃ + CuSO₄ bei 0° C. dagegen nicht.

Es ist sonderbar, dass bei 20° C. die Transportgeschwindigkeit der Li' durch Aether nicht verändert. Eine Erklärung habe ich hierfür noch nicht gefunden. Nur möchte ich darauf hinweisen, dass ROMIJN (7) bei ± 22° C. ein Viskositätsmaximum des Protoplasmas bei *Nitella flexilis* findet, im Gegensatz zu LAMBERS (8), welcher feststellt, dass Temperatur und Viskosität sich in gleichem Sinne ändern.

Aus diesen 3 Gruppen ergibt sich unzweifelhaft, dass Plasmaströmung den Transport von Li' durch Blattstücke von Vallisneria spiralis nicht beschleunigt.

Aber ausserdem kann man mittels dieser Tabellen feststellen, ob CuSO₄ den Transport von LiNO₃ beeinflusst.

Bei 30° C. ergibt sich :

Für LiNO₃ (I) und LiNO₃ + CuSO₄ (III) : $\frac{M_{III}-M_I}{m_{diff.}} = 3.5$ und
für LiNO₃ + Aether (II) und LiNO₃ + CuSO₄ + Aether (IV) :
 $\frac{M_{IV}-M_{II}}{m_{diff.}} = 3.9.$

Hieraus erhellt, dass CuSO₄ sowohl bei narkotisierten als auch bei nicht-narkotisierten Blättern den Transport der Li' etwas beschleunigt.

Bei 20° C. finden wir :

Für LiNO₃ (I) und LiNO₃ + CuSO₄ (III) : $\frac{M_{III}-M_I}{m_{diff.}} = 0.9$ und
für LiNO₃ + Aether (II) und LiNO₃ + CuSO₄ + Aether (IV) :
 $\frac{M_{IV}-M_{II}}{m_{diff.}} = 0.17.$

Hier ändert das CuSO₄ die Transportgeschwindigkeit der Li' nicht und wie der Einfluss des Aethers bei 20° C., so weicht auch der Einfluss des CuSO₄ bei 20° C. ab von dem bei 0° C. und bei 30° C.

Denn bei 0° C. ist :

Für LiNO₃ (I) und LiNO₃ + CuSO₄ (III) : $\frac{M_{III}-M_I}{m_{diff.}} = 0.8$ und
für LiNO₃ + Aether (II) und LiNO₃ + CuSO₄ + Aether (IV) :
 $\frac{M_{IV}-M_{II}}{m_{diff.}} = 3.7.$

Aber auch hier möchte ich in Bezug auf 0° C. wieder, wie an der Stelle, wo der Einfluss des Aethers festgestellt wurde, dieselbe Bemerkung

machen, nämlich : durch geringe Beobachtungsfehler können hier schon grosse Abweichungen entstehen, da die gefundenen Werte so klein sind.

Bei der ersten Reihe von Versuchen war Rotation durch Hinzufügung von CuSO_4 ausgelöst worden. Aus der zweiten Reihe von Versuchen ergibt sich, dass CuSO_4 *entweder keinen Einfluss auf den Transport ausübt, oder dessen Geschwindigkeit etwas erhöht*. Das CuSO_4 kann also nicht die Ursache gewesen sein, dass in der ersten Reihe kein Unterschied zwischen ruhigen und rotierenden Blättern ermittelt wurde, und war also keine Fehlerquelle.

Es ist nun also auf zweierlei Weise nachgewiesen worden, dass Plasmaströmung den Transport von Li^+ durch ein Vallisneriabblattstück nicht beschleunigt, und zwar indem

a. normale ruhige Blätter mit Blättern verglichen wurden, in deren Protoplast durch CuSO_4 Rotation entstanden war,

b. normale rotierende Blätter mit narkotisierten verglichen wurden.

Es erwies sich als unmöglich, die Versuche ohne Zuhilfenahme von CuSO_4 oder Aether durchzuführen ; bei dem ersten Verfahren hielt nämlich die Rotation ohne Hinzufügung von CuSO_4 nicht lang genug an, bei dem zweiten Verfahren dauerte es ohne Anwendung von Aether zu lang, ehe die Plasmaströmung aufgehört hatte. Die ruhigen Blätter von Tabelle 1. (I) und die rotierenden von Tabelle 2. (I), obwohl beide bei 30°C. , gestatten selbstredend keinen Vergleich, da sowohl die Methode als auch die Genauigkeit des Nachweises hier verschieden sind.

Ausser LiNO_3 ist auch Kaffein als Transportstoff gebraucht worden.

Es wurde zu diesem Zweck 1 % Kaffein in dem Agar aufgelöst, der die linke Seite des Vallisneriabblattes umschloss. Mit Kaffein habe ich weniger Versuche angestellt als mit LiNO_3 , da hier unverkennbar dieselbe Erscheinung auftrat.

TABELLE 5.

	Temp.	n	M	σ	m
I	30°C.	44	8.39	1.2	0.18
II		47	8.19	1.32	0.19
I	20°C.	37	3.97	1.4	0.23
II		25	4.6	1.3	0.26
I	0°C.	28	1.11	0.65	0.12
II		18	0.94	0.91	0.21

Bei 30°C. ist :

$$\frac{M_I - M_{II}}{m_{diff.}} = 0.8$$

Bei 20°C. ist :

$$\frac{M_{II} - M_I}{m_{diff.}} = 1.8$$

Bei 0°C. ist :

$$\frac{M_I - M_{II}}{m_{diff.}} = 0.7$$

I. Kaffein ; II. Kaffein + Aether.

Obige Tabellen zeigen, dass die Mittelwerte ziemlich wenig auseinandergehen und dass ein reeller Unterschied sogar überhaupt nicht besteht. *Also tritt hier nicht nur keine Beschleunigung durch Rotation auf, sondern ebensowenig bemerkt man, dass der Transport der Kaffeinmoleküle durch den Aether verlangsamt wird.*

Besprechung der Resultate :

Wenn man die hier ermittelten Tatsachen mit BIERBERG'S Ergebnissen vergleicht, so zeigt sich ein grosser Unterschied. BIERBERG experimentierte nur mit anorganischen Salzen und teilt mit, dass die Plasmarotation den Transport $3.63 \times$ beschleunigt. Um dies zu berechnen, rechnet er die Transportgeschwindigkeit, die bei einfacher Diffusion 3 mm. in 2 Stunden beträgt, zu einem Wert von 20 mm. in 800 Minuten um. Da aber der Weg nicht, wie BIERBERG annimmt, der Zeit proportional ist, sondern der Wurzel der Zeit, wird Diffusion über einen Abstand von 20 mm. erst in ± 5333 Minuten stattfinden. Bei rotierendem Plasma stellt er einen Transport von 20 mm. in 220 Minuten fest, also ist bei Rotation der Transport nicht 3.63 , sondern $\pm 24 \times$ so schnell.

Es ist mir nicht möglich gewesen, bei rotierendem Plasma einen so schnellen Transport festzustellen wie BIERBERG. Da meine Versuchsanstellung einigermaßen von der seinigen abwich, habe ich mich bemüht, seine Versuche in der von ihm angegebenen Weise zu wiederholen. Das war aber schwer durch die unvollständigen Angaben, wobei u.a. die Temperatur, bei der er arbeitet, manchmal nicht angegeben ist, ebensowenig wie die genaue Aetherkonzentration.

Weder bei Vallisneria, noch bei Blättern von Elodea densa konnte bei 20° C. oder 30° C. eine Beeinflussung durch Rotation konstatiert werden.

Auch habe ich zweistündige Versuche bei 42° C. angestellt, und ermittelte für Li_2CO_3 eine Transportgeschwindigkeit von ± 4 mm. Wegen des ziemlich niedrigen Schmelzpunktes der Vaseline ist Paraffin verwendet worden (Schmelzpunkt 52° C.). Der Abstand, den die Li' bei dem Transport zurücklegten, bleibt also immer kleiner als der von BIERBERG festgestellte. Die Ursache davon habe ich noch nicht gefunden. Es wäre denkbar, dass die Temperatur derartig war, dass der Protoplast stark permeabel geworden war und die Li' sich durch Diffusion so schnell fortbewegten. Dieser Abstand ist bei der Anwendung von Li_2CO_3 allerdings etwas grösser als bei LiNO_3 , aber das ist ein geringer Unterschied.

Bei Versuchen, wobei LiNO_3 bei 45° C. 18 Stunden diffundieren konnte, (zweite Versuchsanstellung) waren alle Blätter abgestorben. Der Abstand war sowohl mit als auch ohne Narkose ± 21 mm. Das deutet darauf hin, dass in während des Versuches abgestorbenen Blättern der Transport schneller vor sich geht. Ich werde hierauf noch zurückkommen.

Wir wollen jedoch erst noch ermitteln, welcher Abstand bei einem Transport durch Diffusion in einer Flüssigkeit zurückgelegt werden würde.

Aus den Versuchen von GRAHAM berechnete STEFAN (9), dass 1 mg. NaCl 319 Tage nötig hat um aus einer 10 %-igen Lösung 1 m. durch Wasser zu diffundieren. Dann wird in den ersten 18 Stunden das NaCl also einen Weg von 48 mm. zurücklegen. Hieraus kann für eine 1 %-ige Lösung nach STEFAN (vgl. auch MÜNCH (10)) berechnet werden $0.61 \times 48 = 29$ mm. Der Wert, den BIERBERG für rotierendes Plasma in 18 Stunden ermittelt hatte, betrug 44 mm., wobei aber eine viel kleinere Menge Salz schon nachgewiesen werden konnte. Der von BIERBERG gefundene Wert bei Rotation bei 45° C. liegt also nicht weit ausser dem Bereich des Diffusionsprozesses.

Die von mir konstatierten Transportgeschwindigkeiten sind viel kleiner, als bei einem reinen Diffusionsprozess zu erwarten wäre. Diffusion wird also in der Pflanze erschwert.

Die leitungsfähige Oberfläche, durch welche Diffusion Platz greifen kann, ist in der Pflanze die Zellwand, das Protoplasma und die Vakuole. In der Vakuole liegt der Widerstand nicht, offenbar ist die geringe Durchlässigkeit des Protoplasmas die Ursache, dass eine Diffusion durch Pflanzengewebe äusserst langsam vor sich geht. Diesen Gedanken legt auch der folgenden Versuch nahe: Bei einem Vallisneriablattstück wurden die Interzellularen mit Wasser injiziert, wodurch der Transport beschleunigt wurde. 1 % LiNO_3 diffundiert dann bei 30° C. in 18 Stunden 15.5 mm. und bei normalen Blättern 6.29 mm. Auch das oben erwähnte Ergebnis, wobei bei während des Versuches abgestorbenen Blättern bei 45° C. die Diffusion in 18 Stunden 21.6 mm. betrug, stimmt hiermit überein. Der Protoplast ist durch die hohe Temperatur und durch das Absterben permeabel geworden. Bei in heissem Wasser getöteten Blättern war die Diffusion bei 30° C. sogar 35 mm. Diese Versuche bestätigen also die Ergebnisse von BIRCH—HIRSCHFELD (11).

Meine Versuche haben ferner gelehrt, dass Aether den Transport in geringem Masse verlangsamt. Es ist sehr wahrscheinlich, dass dieses auf einen Einfluss des Aethers auf die Permeabilität zurückzuführen ist, da es bekannt ist, dass letztere durch Aether verringert wird.

Man könnte geneigt sein, den Einfluss des CuSO_4 , das den Transport um ein geringes beschleunigt, einer Veränderung der Permeabilität zuzuschreiben.

Aus den hier besprochenen Versuchen darf man also die Schlussfolgerung ziehen, dass der Transport von Stoffen (Li salze und Kaffein) durch Vallisneriablätter mit einer Geschwindigkeit vor sich geht, die geringer ist als bei Diffusion durch eine Flüssigkeit. Die Diffusion wird beeinträchtigt, da die Stoffe schwer durch das Protoplasma permeieren.

Rotation des Plasmas ist in den von mir untersuchten Fällen ohne Einfluss.

Aether verlangsamt den Transport in geringem Masse. Das kommt nicht daher, weil die Rotation aufhört, sondern weil die Durchlässigkeit des Protoplasmas geringer wird.

Die Wirkung von CuSO_4 ist umgekehrt.

Die Temperatur übt einen beschleunigenden Einfluss auf den Diffusionsprozess aus. Als Temperaturkoeffizient ergab sich ± 1.4 .

Diese Versuche sind in dem Botanischen Laboratorium in Groningen gemacht worden. Ich möchte an dieser Stelle Herrn Prof. ARISZ meinen aufrichtigen Dank aussprechen für freundliche Förderung und für das unermüdliche Interesse, welches er dieser Untersuchung entgegenbrachte.

L I T E R A T U R.

1. DE VRIES, H. Über die Bedeutung der Zirkulation und Rotation des Protoplasma für den Stofftransport in der Pflanze. Bot. Zeitung 1885.
 2. BIERBERG, W. Die Bedeutung der Protoplasmarotation für den Stofftransport in den Pflanzen. Flora 99. Band 1909.
 3. WENT, F. Wuchsstoff und Wachstum. Recueil d. trav. bot. néerl. 25, 1928.
 4. FITTING, H. Untersuchungen über die Auslösung von Protoplasmaströmung. Jahrb. f. wiss. Bot. Bd. 64 1925.
 5. FITTING, H. Untersuchungen über Chemodinese bei Vallisneria. Jahrb. f. wiss. Bot. Bd. 67 1928.
 6. AMELINK. Schema voor microchemische identificatie van alkaloiden. Dissertatie Utrecht 1928.
 7. ROMIJN, C. Über den Einfluss der Temperatur auf die Protoplasmaströmung bei *Nitella flexilis*. Proc. K. Acad. v. Wetensch. Amsterdam, Vol. 34, N^o. 2.
 8. LAMBERS, M. H. R. Temperatuur en protoplasmastrooming. Diss. Utrecht 1926.
 9. STEFAN, J. Sitzungsber. d. K. Wiener Akad. 1879, Bd. 79, II. Abt.
 10. MÜNCH, E. Die Stoffbewegungen in der Pflanze. Jena 1930.
 11. BIRCH-HIRSCHFELD, L. Untersuchungen über die Ausbreitungsgeschwindigkeit gelöster Stoffe in der Pflanze. Jahrb. f. wiss. Bot. 1920, Bd. 59 .
-